طراحی منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع با هدف بهبود تاب‌آوری

نوع مطالعه: پژوهشی

رضا صابری[۱] ، دانشجوی دکتری، حمید فلقی[۲]، دانشیار ، مصطفی اسماعیلی[۳] ، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران-saberi@birjand.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران-falaghi@birjand.ac.ir

۳- دانشکده مهندسی کامپیوتر و صنایع- دانشگاه صنعتی بیرجند - بیرجند- ایران-esmaeeli@birjandut.ac.ir

چکیده: **حوادث رخ‌داده با احتمال وقوع پایین و تأثیر بالا، که سالانه خسارات بالایی وارد می‌کنند، سلامت شبکه‌های توزیع را به صورت جدی تهدید می‌کنند. از این رو در سراسرجهان لزوم توجه به بحث افزایش تاب‌آوری شبکه و تداوم تأمین برق بیش از پیش احساس می‌شود. در شبکه-های توزیع مدرن با توجه به حضور روز افزون منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، یک روش جایگزین برای تأمین بار هنگام خرابی در سمت شبکه‌ی اصلی و بهبود تاب‌آوری شبکه، استفاده از منابع تولید پراکنده می‌باشد. در این مقاله ابتدا مفهوم تاب‌آوری شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده و نحوه مدل‌سازی حوادث طبیعی متداول مانند سیل و طوفان ارائه می‌گردد. سپس به منظور بررسی تأثیر منابع تولید پراکنده بر تاب‌آوری شبکه توزیع، شاخصی جدید بر اساس تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار و تاب‌آوری منابع تولید پراکنده شامل سلول‌های خورشیدی و منابع گازسوز متداول، فرموله‌بندی شده و شاخص تاب‌آوری کل شبکه در حضور این منابع بدست می‌آید. در نهایت با استفاده از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه‌سازی با هدف بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع به حل مسأله‌ی طراحی بهینه منابع تولید پراکنده که شامل تعیین نوع و مکان بهینه-ی ظرفیت موجود این منابع در شبکه است، پرداخته می‌شود و با انجام مطالعات عددی بر روی یک شبکه‌ی توزیع واقعی کارایی روش پیشنهادی نشان داده می‌شود.**

واژه های کلیدی: **شبکه توزیع، تاب‌آوری، منابع تولید پراکنده، الگوریتم ژنتیک، طراحی بهینه.**

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۸/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۹/۰۶/۰۸

نام نویسنده‌ی مسئول : حمید فلقی

نشانی نویسنده‌ی مسئول : بیرجند، انتهای بلوار دانشگاه، دانشگاه بیرجند، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]

[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

۱- مقدمه

تاب‌آوری به صورت توانایی سیستم برای حفظ یک سطح قابل قبول از عملکرد در برابر یک اغتشاش شدید و بازگشت در یک دوره‌ی زمانی مناسب تعریف می‌گردد[۱]. حوادث رخداده با احتمال وقوع پایین و تأثیر بالا، که سالانه خسارات بالایی وارد می‌کنند، سلامت شبکه توزیع را به صورت جدی تهدید می‌کنند. در چند دهه اخیر افزایش قطعی-های گسترده ناشی از حوادث غیرمترقبه از جمله سیل و طوفان باعث دوچندان شدن اهمیت مطالعات تاب‌آوری در شبکه‌های توزیع برق گردیده است. برای مثال طوفان سندی در سال ۲۰۱۲ پس از برخورد با سواحل شرقی ایالت متحده، باعث قطع برق ۷/۵ میلیون مشترک در ۱۵ ایالت از جمله واشنگتن دی سی شد. در تابستان بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱، در استرالیا آب‌گرفتگی و سیلاب وسیعی رخ داد که باعث آسیب‌دیدگی چندین تیر برق، ترانسفورماتور و سیم‌های هوایی شد. این آب‌گرفتگی باعث قطع برق حدود ۱۵۰۰۰۰ مشترک گردید [۲-۴]. علاوه بر این انتظار می‌رود بدلیل تغییرات اقلیمی تعداد و شدت حوادث غیرمترقبه در آینده افزایش یابد. از این رو در سراسر جهان لزوم توجه به بحث افزایش تاب‌آوری شبکه و تداوم تأمین برق با توجه به تبعات مختلف ناشی از خاموشی در سطوح اجتماعی، سیاسی و اقتصادی بیش از پیش احساس می‌شود.

در شرایط عادی هنگام وقوع خطا در شبکه‌های توزیع، معمولاً با جداسازی محل خطا به کمک کلیدهای دستی یا اتوماتیک و تغییر آرایش شبکه توزیع از طریق خطوط مانور، حداکثر بار ممکن بازیابی می‌شود. ولی هنگامی که یک حادثه غیرمترقبه رخ می‌دهد، ممکن است پست‌های توزیع و شبکه‌ی تغذیه اصلی بدون برق شده و امکان تأمین بار از طریق شبکه‌ی اصلی امکان‌پذیر نباشد و یا بدلیل خسارات وارده به تجهیزات شبکه توزیع، نواحی ایزوله شده و بدون برق در شبکه توزیع ایجاد شود. بنابراین در این موارد روش‌های بازیابی سنتی شبکه‌های توزیع نمی‌توانند تأمین انرژی مشترکین را بعد از وقوع حادثه تضمین کنند[۵].

در شبکه‌های توزیع مدرن با توجه به حضور روز افزون منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، یک روش جایگزین برای تأمین بار هنگام خرابی در سمت شبکه‌ی اصلی و بهبود تاب‌آوری شبکه، استفاده از منابع تولید پراکنده می‌باشد. به این ترتیب که هنگام وقوع خطای ناشی از حوادث غیرمترقبه در شبکه توزیع، با ایزوله‌کردن محل‌های خطا و با تأمین برق مشترکین با استفاد از منابع تولیدپراکنده، می‌توان هزینه‌های مربوط به قطعی را به طور چشم‌گیری کاهش داد و تاب-آوری شبکه را بهبود بخشید[۶].

یکی از مهم‌ترین موضوعات در طراحی شبکه‌های توزیع تعیین مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه می‌باشد، در غیر این صورت امکان استفاده بهینه از ظرفیت این منابع ایجاد نخواهد شد. به عنوان نمونه تمرکز ظرفیت زیادی از منابع تولید پراکنده در یک مکان خاص، سبب می‌شود در صورت از دست دادن شبکه توزیع مربوطه، امکان استفاده از حجم وسیع توان منابع تولید پراکنده وجود نداشته باشد[۷].

مسأله اساسی این است که چگونه می‌توان میزان تأثیر منابع تولید پراکنده بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع را با استفاده از شاخصی مناسب به صورت کمی مورد ارزیابی قرار داده، تا در نهایت بتوان با استفاده از منابع مالی محدود و استفاده بهینه از ظرفیت منابع تولید پراکنده، در جهت داشتن یک شبکه توزیع تاب‌آور گام برداشت و تاب‌آوری شبکه توزیع را بهبود بخشید.

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه تاب‌آوری شبکه توزیع و روش-های بهبود آن انجام شده است. در مرجع [۱] با مروری بر انواع حوادث طبیعی و مقایسه درصد وقوع آن‌ها، انواع مدل‌سازی مختلف برای این رویدادها آورده شده و تأثیر راهکارهای سخت‌کردن تجهیزات شبکه و منابع تولید پراکنده بر روی بهبود تاب‌آوری شبکه به صورت کیفی مورد بحث قرار گرفته است. در مرجع [۸] با استفاده از یک مدل آماری چند متغیره به ارزیابی استراتژی‌های ارتقاء تاب‌آوری شبکه توزیع پرداخته شده است. در مرجع [۹] با استفاده از شاخص‌های قابلیت اطمینان و اصلاح و بازبینی این شاخص‌ها برای مطالعات تاب-آوری، با استفاده از شبکه‌های هوشمند و تبدیل شبکه توزیع به جزایر پایدار در جهت بهبود تاب‌آوری شبکه تلاش می‌شود.

در مرجع [۱۰] با استفاده از نظریه‌ی گراف و با در نظر گرفتن معیارهای مختلف برای تاب‌آوری با استفاده از الگوریتم تجمع شاخص-ها و با در نظر گرفتن ضریب وزنی برای هر شاخص، یک معیار کمی جهت محاسبه تاب‌آوری شبکه معرفی می‌گردد.

در مرجع [۱۱] با مدل‌سازی طوفان و با استفاده از مدل مهاجم و مدافع در جهت بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع با سخت‌کردن اجزای آن در حضور منابع تولید پراکنده گام بر می‌دارد. شناسایی خطوط آسیب پذیر شبکه توزیع با هدف کمینه کردن بار از دست داده شده و انتخاب استراتژی‌های سخت کردن پایه‌ها و مدیریت پوشش گیاهی با استفاده از یک مدل سه سطحی در جهت بهبود تاب‌آوری، در [۱۲] مورد مطالعه قرار گرفته است.

مسأله بهینه‌سازی استفاده از واحدهای ذخیره انرژی الکتریکی به عنوان یک منبع پشتیبان قوی، برای بهبود تاب‌آوری سیستم‌های توزیع در مرجع [۱۳] ارائه گردیده است. در مرجع [۱۴] ابتدا به مدل-سازی تأثیرات طوفان بر روی شبکه توزیع پرداخته و سپس به یافتن مکان بهینه کلیدها در شبکه توزیع دارای منابع تولید پراکنده در جهت بهبود تاب آوری شبکه پرداخته شده است.

کفایت منابع به عنوان یکی دیگر از عوامل مهم تاب‌آوری شبکه در [۱۵] مورد بحث قرارگرفته است، در این مرجع با معرفی شاخص در دسترس بودن منابع تولید پراکنده در حوادث شدید و با بهینه‌سازی اندازه و مکان این منابع در جهت بهبود این شاخص تلاش می‌گردد. و یک رویکرد قطعی بر اساس میزان کفایت منابع برای بررسی بهبود تاب‌آوری شبکه در برابر یک رویداد شدید اتخاذ می‌شود.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]

[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

در این مقاله پس از ارائه مفهوم تاب‌آوری شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده، در ادامه با مدل‌سازی حوادث طبیعی متداول مانند سیل و طوفان، به ارزیابی تأثیر این رویدادهای آب و هوایی با استفاده از احتمال شکست تجهیزات، بر روی تاب‌آوری شبکه‌های توزیع پرداخته شده است. سپس به منظور بررسی تأثیر منابع تولید پراکنده بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع، تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار و تاب‌آوری منابع تولید پراکنده (سلول‌های خورشیدی و منابع گازسوز متداول) به صورت مستقل از هم با ارائه شاخص جدید، محاسبه و در نهایت شاخص تاب‌آوری کل شبکه در حضور این منابع بدست می‌آید. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی، به حل مسأله‌ی طراحی بهینه منابع تولید پراکنده یعنی تعیین نوع و مکان بهینه ظرفیت در دسترس این منابع در شبکه، با هدف بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع پرداخته و عملکرد روش بیان شده با انجام مطالعات عددی بر روی یک شبکه‌ی توزیع واقعی نشان داده شده است.

۲- تاب‌آوری شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده

توسعه شبکه‌های توزیع به روش سنتی، به کمک معیارهای قابلیت اطمینان انجام می‌شود. با استفاده از این معیارها، سیستم‌های قدرت توانایی مواجهه با تهدیدات از پیش تعریف شده و همچنین تأمین توان با کیفیت بالا برای مصرف‌کنندگان را دارند[۱۶]. اما با توجه به خاموشی‌های گسترده‌ای که در چند دهه اخیر روی داده است و بدلیل تغییرات اقلیمی، تعداد و شدت حوادث غیرمترقبه در حال افزایش است، می‌توان گفت که برای تأمین برق مشترکین باید علاوه بر معیارهای سنتی قابلیت اطمینان، معیارهای دیگری را نیز در نظر گرفت. در واقع حوادث رخداده با احتمال وقوع پایین و تأثیر بالا، که سالانه خسارات بالایی وارد می‌کنند، سلامت شبکه توزیع را به صورت جدی تهدید می‌کنند و ضرورت توسعه شبکه توزیع با هدف بهبود تاب‌آوری روزبه‌روز بیشتر آشکار می‌گردد. بنابراین برای بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع سعی می‌شود راهکارهای اساسی در این حوزه شناخته شده و با معرفی شاخص‌ها، در جهت توسعه شبکه توزیع به منظور بهبود تاب‌آوری گام برداشت.

با توجه به تجدید ساختار صنعت برق و گسترش و نفوذ منابع تولید پراکنده در سطح شبکه‌های توزیع، تولید انرژی در نزدیکی محل مصرف که به عنوان تولید پراکنده انرژی شناخته می‌شود، مزایای فراوانی برای مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند. در جامعه‌ی کنونی نیاز به انرژی الکتریکی کافی و امن نه‌تنها باید در کمترین سطح قیمت بلکه باید در پایین‌ترین سطح آلودگی باشد. از این جهت در سال‌های اخیر توجه به تکنولوژی‌های متنوع تولید پراکنده انرژی، به عنوان راهکاری برای تأمین نیاز روز افزون برق به صورت کارآمدتر، پاک‌تر و با قابلیت اطمینان بالاتر، گسترش یافته است. در سال‌های اخیر، مشکلاتی از قبیل تاب‌آوری سیستم‌های قدرت، افزایش هزینه‌ها از جمله هزینه‌های انتقال انرژی، قابلیت اطمینان سیستم، تلفات سیستم‌ها، کاهش منابع فسیلی و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی، منجر به مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی استفاده از تولیدات پراکنده شده است[۱۷-۱۹].

منابع تولید پراکنده به عنوان یک روش جایگزین برای تأمین بار هنگام خرابی در سمت شبکه‌ی اصلی، با تأمین مصرف‌کنندگان از طریق یک منبع در دسترس و ایمن، توانایی آماده کردن شبکه برای پاسخ سریع به حوادث غیرمترقبه و در نتیجه بهبود تاب‌آوری شبکه را دارند. بدین ترتیب که با جداسازی محل‌های خطا و تغذیه مشترکین با استفاد از منابع تولیدپراکنده، می‌توان هزینه‌های مربوط به قطعی را به طور چشم‌گیری کاهش داد و تاب‌آوری شبکه را بهبود بخشید[۶].

ورود منابع تولیدپراکنده در شبکه‌های توزیع که بین بار و شبکه توزیع قراردارند، به طور قطع اثرات متنوعی بر روی شاخص‌های تاب-آوری در شبکه‌های توزیع به دنبال دارد و چالش‌های عمده‌ای برای توسعه شبکه توزیع در آینده مطرح می‌شود، که در پی آن بسیاری از مطالعات مرسوم تحلیل، طراحی و برنامه‌ریزی در این شبکه‌ها کارآیی خود را از دست داده و می‌بایست به جهت مدل نمودن تأثیرات متقابل سیستم‌های تولید پراکنده و شبکه، به همراه نحوه اثرگذاری آن بر روی تاب‌آوری شبکه اصلاح و بازبینی شوند.

در واقع تعیین نوع، مکان و اندازه بهینه‌ی تولیدات پراکنده تأثیر بسزایی بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع دارد. به گونه‌ای که به کارگیری این منابع در مکان و اندازه نامناسب، نه‌تنها موجب بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع نمی‌شود، بلکه باعث افزایش تلفات و هزینه‌ی سیستم خواهد گردید. در این مقاله با معرفی شاخص جدید، نحوه اثرگذاری نوع، مکان واندازه بهینه‌ی تولیدات پراکنده بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع به صورت کمی بررسی گردیده و مسأله طراحی بهینه منابع تولید پراکنده در جهت بهبود تاب‌آوری شبکه مورد مطالعه قرار می-گیرد.

۳- مدل‌سازی حوادث طبیعی

بلایای طبیعی معمولاً رویدادهای بسیار نامطمئن هستند. بنابراین تخمین، مدل‌سازی و پیش‌بینی آن‌ها دشوار است. بسیاری از تلاش‌ها برای افزایش آگاهی ما از بلایای طبیعی بر اساس داده‌های تاریخی و آموزش‌هایی که یاد گرفته‌ایم پایه‌گذاری شده است. پیش‌بینی یک فاجعه طبیعی اغلب بر اساس مدل‌های آماری یا مدل‌های شبیه‌سازی شده بررسی می‌شود[۱۱]. جهت ارزیابی خسارت ناشی از رویدادهای آب و هوایی بر روی شبکه توزیع، باید تأثیر این رویدادها بر روی تجهیزات شبکه توزیع تخمین زده شود. برای نشان دادن احتمال شکست تجهیزات شبکه توزیع در مقابل رویدادهای آب و هوایی، می-توان از مدل‌های مختلف مانند مدل توزیع دوتایی منفی خطی شده[۱]، مدل در دسترس بودن تجهیز در سطوح مختلف رویداد[۱۵] و مدل توزیع لگاریتمی نرمال استفاده کرد[۹]. در این مقاله از منحنی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]

[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

توزیع لگاریتمی نرمال که یکی از مرسوم‌ترین روش‌های مدل‌سازی می‌باشد، احتمال شکست تجهیزات شبکه توزیع در مقابل رویدادهای آب و هوایی (طوفان وسیلاب) محاسبه می‌گردد. از روی این منحنی که به منحنی شکنندگی معروف است[۹]، احتمال شکست تجهیز در قبال یک سطح مشخصی از رویداد (سرعت باد یا سیلاب) بدست می‌آید. رابطه (۱) نشان دهنده شکل کلی منحنی شکنندگی می‌باشد.

(۱)

$$P(damage/x)=\int_{x}^{-\infty}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\times\exp(\frac{-(\ln x-\mu)^2}{2\sigma^2})dx$$

در رابطه فوق $P(damage/x)$ احتمال شکست تجهیز در قبال سطح مشخص رویداد x و پارامترهای μ و σ نشان دهنده میانگین لگاریتمی و انحراف استاندارد منحنی شکنندگی می‌باشند، که از روی اطلاعات آماری در طول یک دوره مشخص محاسبه می‌گردند.

یک نمونه منحنی شکنندگی عمومی به صورت احتمال شکست تجهیز شبکه بسته به شدت رویداد آب و هوایی، در شکل (۱) آورده شده است.

شکل (۱): منحنی شکنندگی تجهیز[۹]

منحنی‌های شکنندگی در مطالعاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که هدف ارزیابی تأثیر یک رویداد آب و هوایی یا یک خطر طبیعی بر روی تاب‌آوری شبکه‌های انتقال یا توزیع می‌باشد[۹].

با داشتن مشخصات آب و هوایی منطقه مورد مطالعه (به عنوان مثال سرعت باد و شدت سیلاب) و همچنین وابستگی احتمال شکست تجهیزات شبکه با شدت رویداد آب و هوایی که می‌توان از روی سوابق آماری استخراج کرد، منحنی‌های شکنندگی برای اجزای شبکه بدست می‌آیند. این منحنی‌ها به ما کمک می‌کنند که اجزایی از شبکه که در معرض خطرات بالایی ناشی از رویدادهای آب و هوایی می‌باشند، شناسایی گردیده و در ارزیابی تاب‌آوری مورد توجه قرار گیرند. با پیروی از این رویکرد، می‌توان تأثیر رویداد آب و هوایی در وضعیت عملیاتی هر یک اجزای شبکه را مدل‌سازی کرد[۹].

در این مقاله حوادث طبیعی متداول بر روی شبکه‌های توزیع، یعنی طوفان و سیلاب مورد مطالعه قرار گرفته است. به طور خلاصه مراحل مدل‌سازی تأثیرات طوفان و سیلاب بر روی تجهیزات شبکه توزیع را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- استفاده از اطلاعات آماری جهت پیش‌بینی مسیر طوفان و سیلاب، زیرا این رویدادها اغلب دنبال مسیری هستند که از آن تشکیل شده‌اند.
- تقسیم‌بندی شبکه‌ی توزیع به چند منطقه آب و هوایی بر اساس مسیر طوفان و سیلاب و با توجه به مشخص بودن سرعت باد و سیلاب در هر ناحیه
- استفاده از منحنی‌های شکنندگی برای محاسبه احتمال شکست تجهیزات در نواحی مختلف آب و هوایی فوق

۴- فرموله‌بندی ریاضی

در این مقاله از شاخص DRI (Distribution Risk Index) برای ارزیابی تاب‌آوری در شبکه‌های توزیع استفاده گردیده است. مهم‌ترین ویژگی این شاخص در نظرگرفتن تاب‌آوری منابع تولید پراکنده در کنار شاخص تاب‌آوری بار جهت بدست آوردن تاب‌آوری کل شبکه می‌باشد. با توجه به این‌که جهت افزایش تاب‌آوری شبکه، استفاده از منابع تولید پراکنده اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنابراین ضروری است در دسترس بودن خود این منابع در زمان وقوع حوادث، مورد توجه قرار گیرد. بدین جهت در این مقاله شاخص تاب‌آوری منابع تولید پراکنده به عنوان بخشی از شاخص تاب‌آوری کل شبکه لحاظ گردیده است. مقدار این شاخص با رابطه (۲) قابل محاسبه می‌باشد.

(۲)

$$DRI=DRI_{load}-GRI_{DG}$$

در رابطه فوق DRI_{load} نشان دهنده ریسک شبکه در قبال تأمین بار می‌باشد. این شاخص بیان کننده مقدار بار از دست رفته در شبکه توزیع در هنگام وقوع حوادث غیر مترقبه می‌باشد. در واقع هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار بیشتر خواهد بود.

با توجه به حضور منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع که به‌عنوان جایگزین منبع تغذیه اصلی در هنگام وقوع حوادث غیر مترقبه می‌باشند، بنابراین در دسترس بودن خود این منابع در هنگام وقوع حوادث از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و بر روی تاب‌آوری شبکه تأثیرگذار خواهد بود[۱۵]. در بسیاری از موارد هنگام وقوع حادثه غیر مترقبه ممکن است بخشی از شبکه سالم مانده باشد و بتوان قسمتی از بار را تغذیه کرد، اما بدلیل عدم در دسترس بودن منابع تولید پراکنده، امکان تغذیه بار فراهم نمی‌گردد. در نظر گرفتن تاب‌آوری منابع تولید پراکنده در کنار شاخص تاب‌آوری بار جهت بدست آوردن تاب‌آوری کل شبکه منجر به استفاده بهینه از ظرفیت این منابع و صرفه‌جویی در هزینه‌های احداث آن‌ها در هنگام وقوع حوادث می‌شود. در این حالت جهت افزایش تاب‌آوری علاوه بر

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

اینکه باید بخشی از شبکه برای تغذیه بار مربوطه سالم باشد، بلکه توان منابع تولید پراکنده نیز باید جهت تأمین بار در دسترس باشند.

شاخص (Geneation Resiliency Index) GRI_{DG} که نشان دهنده مقدار تولید در دسترس منابع تولید پراکنده می‌باشد، به عنوان شاخص تاب‌آوری منابع تولید پراکنده در هنگام وقوع حوادث غیرمترقبه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع هر چه مقدار این شاخص بزرگتر باشد تاب‌آوری شبکه بیشتر می‌باشد. بنابراین به‌منظور بررسی تأثیر منابع تولید پراکنده بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع، باید تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار و تاب‌آوری منابع تولید پراکنده به صورت مستقل از هم محاسبه و در نهایت شاخص تاب‌آوری کل شبکه در حضور این منابع بدست آید. با توجه به اینکه شاخص DRI_{load} متناسب با مقدار بار از دست رفته و شاخص GRI_{DG} متناسب با مقدار تولید در دسترس در هنگام وقوع حوادث می‌باشند. و هرچه مقدار شاخص تاب‌آوری تولید بیشتر و شاخص ریسک شبکه در قبال تأمین بار کمتر باشد، تاب‌آوری کل شبکه بهبود می‌یابد. بنابراین این دو شاخص در جهت عکس یکدیگر عمل نموده و برای محاسبه تاب‌آوری شبکه باید این دو شاخص را از یکدیگر تفریق نمود. در رابطه (۲) هر چه مقدار شاخص DRI کمتر باشد، تاب‌آوری شبکه بیشتر خواهد بود. در ادامه به نحوه محاسبه این شاخص‌ها پرداخته شده است.

۱-۴- شاخص تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار

شاخص ریسک شبکه در قبال تأمین بار (DRI_{load}) برای هر سکشن (نقاطی از شبکه توزیع می‌باشند که هادی در آن محل برش خورده باشد) به عوامل: ۱- مقدار بار از دست داده شده در صورت شکست سکشن، ۲- احتمال شکست سکشن در اثر وقوع طوفان و سیلاب، ۳- اولویت بار سکشن مربوطه، وابسته می‌باشد. بنابراین برای محاسبه شاخص DRI_{load} می‌توان از رابطه (۳) استفاده کرد[۹].

(۳)

$$DRI_{load} = \sum_{sec=1}^{k} LS_{sec} \times P_{sec}(W,F) \times S_{sec}$$

در رابطه فوق، $P_{sec}(W,F)$ احتمال شکست سکشن در اثر وقوع طوفان یا سیلاب می‌باشد و LS_{sec} مقدار بار از دست داده شده در صورت شکست سکشن و S_{sec} ضریب حساسیت که بر اساس ارزش یا اولویت بار به سکشن مربوطه داده می‌شود و K تعداد کل سکشن‌های شبکه توزیع مورد مطالعه می‌باشد.

بار از دست داده شده در اثر شکست سکشن از مجموع بارهای تأمین نشده در اثر شکست سکشن در طول دوره مطالعه پس از وقوع حادثه و تقسیم آن بر دوره مورد مطالعه پس از وقوع حادثه حاصل می‌گردد. که برای محاسبه آن می‌توان از رابطه (۴) استفاده کرد. شرایط آب و هوایی و حوادث فصلی، الگوی مصرف بار سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. خوشبختانه، بسیاری از این وقایع به صورت تکراری برای یک سال اتفاق می‌افتند، بنابراین رفتار بارهای سیستم قدرت دارای یک الگوی مکرر می‌باشد. در این مطالعه برای ساخت یک مدل بار، اطلاعات به‌صورت عامل وزن ماهانه و ساعتی مدل شده‌اند و برای محاسبه میزان بار در زمان مورد نظر می‌توان از رابطه (۵) استفاده کرد [۱۹]. در این رابطه از ضرب ضرایب وزنی (ماهانه و ساعتی بار) در مقدار پیک بار می‌توان برای یافتن مقدار بار در هر زمان دلخواه استفاده کرد.

(۴)

$$LS_{sec} = \frac{\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{n} Load(t)_{l,sec}}{T}$$

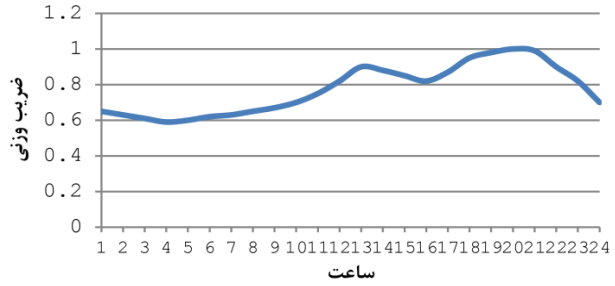
(۵)

$$Load(t)_{l,sec} = w(h) \times w(m) \times Load(p)_{l,sec}$$

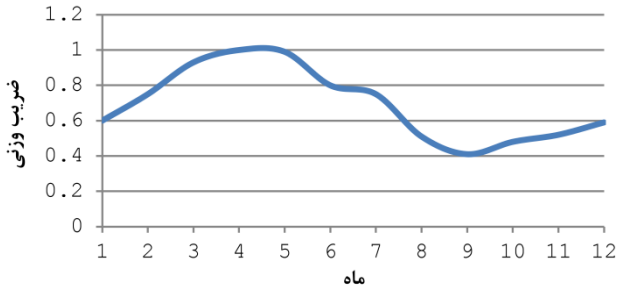
در رابطه (۴)، $Load(t)_{l,sec}$ مقدار بار l ام در سکشن در زمان t، n تعداد بارهایی که در اثر از دست دادن سکشن دچار خاموشی گردیده‌اند و T دوره مورد مطالعه پس از وقوع حادثه می‌باشد.

در رابطه (۵)، $w(h)$ ضریب وزنی ساعتی و $w(m)$ ضریب وزنی ماهانه و $Load(p)_{l,sec}$ بار پیک l ام در سکشن می‌باشد. شکل‌های (۲) تا (۴) به ترتیب منحنی ساعتی، منحنی ماهانه و بار پیک باس‌های شبکه را نشان می‌دهد.

از آنجایی که در این مقاله حوادث طبیعی طوفان و سیلاب مورد مطالعه می‌باشند، جهت محاسبه احتمال شکست سکشن در اثر وقوع این حوادث طبیعی از روابط (۶) تا (۹) استفاده می‌گردد[۹].

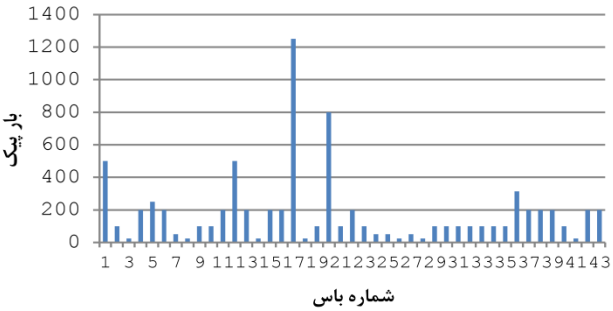


شکل (۲): منحنی ضریب ساعتی بار



شکل (۳): منحنی ضریب ماهانه بار

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]



شکل (۴): مقدار بار پیک باس‌ها

$$P_{\sec}(W,F) = P_{\sec}(W) + P_{\sec}(F) - P_{\sec}(W)P_{\sec}(F) \quad (۶)$$

$$P_{\sec}(F) = 1-(1-P_{T.single}(F))^{NTF} \quad (۷)$$

$$P_{\sec.T}(W) = 1-(1-P_{T.single}(W))^{NT} \quad (۸)$$

$$P_{\sec}(W) = P_{\sec.c}(W) + P_{\sec.T}(W) - P_{\sec.c}(W)P_{\sec.T}(W) \quad (۹)$$

در رابطه (۶)، $P_{\sec}(F)$ احتمال شکست سکشن بر اثر وقوع سیلاب و $P_{\sec}(W)$ احتمال شکست سکشن ناشی از وقوع طوفان می‌باشد.

تأثیر عمده خطر سیلاب، مربوط به پایه‌های شبکه توزیع می‌باشد[۱۱]. در واقع برخورد سیلاب به پایه‌های شبکه توزیع می‌تواند منجر به شکست پایه‌ها و در نتیجه شکست سکشن مربوطه گردد. برای پایه‌هایی از شبکه توزیع که در مجاورت نواحی ساحلی یا در مسیر رودخانه‌ها قرار دارند، یکی از مهم‌ترین عوامل شکست سکشن، خطر وقوع سیلاب می‌باشد. بنابراین برای پایه‌های قرار گرفته در این نواحی برای ارزیابی تاب‌آوری باید از مدل مناسبی برای وقوع سیلاب استفاده کرد. برای این کار ابتدا با استفاده از اطلاعات آماری از سوابق گذشته منحنی شکنندگی مربوط به سیلاب، که بیانگراحتمال شکست پایه بر حسب سرعت سیلاب می‌باشد، برای منطقه مورد مطالعه استخراج گردیده و سپس برای پایه‌هایی که در معرض خطر سیلاب قرار دارند، از روی منحنی شکنندگی مربوطه احتمال شکست پایه در اثر وقوع سیلاب بدست می‌آید. و در نهایت با استفاده از رابطه (۷) می‌توان احتمال شکست سکشن بر اثر وقوع سیلاب را به صورت تابعی از سرعت سیلاب محاسبه کرد. در این رابطه $P_{T.single}(F)$ احتمال شکست هر پایه در اثر وقوع سیلاب به صورت تابعی از سرعت سیلاب و NTF تعداد پایه‌هایی از سکشن مورد نظر که در معرض خطر سیلاب قرار دارند، می‌باشد. در صورتی که شبکه مورد مطالعه در معرض وقوع سیلاب نباشد، بر اساس رابطه (۶) احتمال شکست سکشن تنها به حوادث ناشی از بادهای شدید و طوفان وابسته خواهد بود.

بر اساس [۲] حدود ۹۰ درصد خروج تجهیزات در شبکه مربوط به حوادث ناشی از بادهای شدید و طوفان می‌باشد. تأثیرات ناشی از بادهای شدید و طوفان بر روی دو قسمت عمده یعنی هادی‌ها و پایه‌های شبکه توزیع تمرکز دارد. و شکست هر سکشن در اثر وقوع حوادث مربوط به باد و طوفان به دو عامل شکست پایه و شکست هادی در اثر این حوادث بستگی دارد.

از آنجایی که در هر سکشن از شبکه توزیع چندین پایه می‌تواند حضور داشته باشد که بصورت سری به هم وصل می‌باشند، بنابراین شکست هر پایه به تنهایی منجر به شکست سکشن مربوطه خواهد گردید. با توجه به مستقل بودن شکست پایه‌ها از یکدیگر و با فرض یکسان بودن احتمال شکست پایه‌ها در یک سکشن، از رابطه (۹) می‌توان برای محاسبه احتمال شکست سکشن ناشی از شکست پایه استفاده کرد. در این رابطه $P_{\sec.T}(W)$ احتمال شکست سکشن ناشی از شکست پایه در اثر سرعت باد و $P_{T.single}(W)$ احتمال شکست هر پایه به‌تنهایی در اثر سرعت باد و NT تعداد پایه‌های موجود در سکشن می‌باشد.

با توجه به این‌که شکست پایه یا شکست هادی منجر به از دست دادن سکشن می‌گردد، بنابراین احتمال شکست یک سکشن را می‌توان با رابطه (۱۰) بیان کرد. در این رابطه $P_{\sec.c}(W)$ احتمال شکست سکشن ناشی از شکست هادی به صورت تابعی از سرعت باد می‌باشد. لازم به ذکر است مقدار $P_{T.single}(W)$ از روی منحنی شکنندگی مربوط به پایه و مقدار $P_{\sec.c}(W)$ از روی منحنی شکنندگی مربوط به هادی شبکه توزیع بدست می‌آید.

از آن‌جایی که در هنگام وقوع حوادث غیر مترقبه تأمین بارهای حساس در اولویت می‌باشند[۵]. بنابراین خاموشی یک بار حساس تاب‌آوری شبکه را به شدت کاهش خواهد داد. برای این منظور از ضریب حساسیت بار در محاسبه شاخص تاب‌آوری استفاده گردیده است، تا بارهای با حساسیت بالا تأثیر بیشتری بر روی تاب‌آوری شبکه داشته باشند. هنگامی که شبکه توزیع در معرض یک رویداد شدید مانند سیل و طوفان قرار می‌گیرد، باید بارهایی که دارای حساسیت بالایی در مقابل خاموشی می‌باشند، در اولویت برقدار ماندن قرار گیرند. بر این اساس بارها با توجه به حساسیت آن‌ها نسبت به خاموشی به دسته‌های مختلف تقسیم‌بندی گردیده، که ضریب حساسیت آن‌ها $S_{\sec}$ با یکدیگر متفاوت می‌باشد.

مراحل روش پیشنهادی برای ارزیابی شبکه توزیع در قبال تأمین بار را می‌توان به صورت مراحل نشان داده شده در شکل (۵) خلاصه کرد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

شکل (۵): مراحل ارزیابی تاب‌آوری شبکه توزیع در قبال تأمین بار

۲-۴- شاخص تاب‌آوری منابع تولید پراکنده

از آن‌جایی که منابع تولیدپراکنده یک روش جایگزین برای تأمین مصرف‌کنندگان هنگام خرابی در سمت شبکه‌ی اصلی می‌باشند، بنابراین این منابع در هنگام وقوع حوادث باید در دسترس و ایمن بوده تا توانایی آماده‌کردن شبکه برای پاسخ سریع به حوادث غیرمترقبه و در نتیجه بهبود تاب‌آوری شبکه را داشته باشند. بنابراین تاب‌آوری منابع تولید پراکنده که بیان کننده در دسترس بودن تولید این منابع می‌باشد، باید در تاب‌آوری شبکه لحاظ گردد[۱۵].

در این مقاله برای محاسبه شاخص تاب‌آوری منابع تولید پراکنده از شاخص میزان در دسترس بودن ظرفیت منابع تولید پراکنده در هنگام وقوع حوادث شدید استفاده می‌گردد. در واقع این شاخص نشان دهنده میزان تولید در دسترس، در شبکه توزیع می‌باشد که در هنگام وقوع حوادث با احتمال وقوع کم و تاثیر زیاد، می‌توان جهت تغذیه بار از آن استفاده کرد. در واقع شاخص ظرفیت در دسترس منابع تولید پراکنده به ۲ عامل بستگی دارد: ۱- اندازه ظرفیت موجود منابع، ۲- دسترسی به این ظرفیت[۱۵].

با توجه به اینکه در این مقاله، سلول‌های خورشیدی و منابع گازسوز متداول به عنوان منابع تولید پراکنده، مورد مطالعه قرار گرفته است، برای محاسبه شاخص تاب‌آوری منابع تولید پراکنده می‌توان از روابط (۱۰) تا (۱۲) استفاده کرد[۱۵].

(۱۰)

$$GRI_{DG}=\frac{\sum_{t=1}^{T}\sum_{k\in bus}(P_{pv}^{k}A_{pv}^{k}(t)+P_{gen}^{k}A_{gen}^{k}(t))\sum_{n\in bus}R_{k-n}}{T}$$

(۱۱)

$$R_{k-n}=1-P_{k-n}(W,F)$$

(۱۲)

$$P_{k-n}(W,F)=\sum_{\sec\in(k-n)}P_{\sec}(W,F)$$

در رابطه (۱۰)، P_{pv}^{k} و P_{gen}^{k} به‌ترتیب مقادیر نامی توان تولیدی سلول‌های خورشیدی و منابع گاز سوز متداول و مقادیر $A_{pv}^{k}(t)$ و $A_{gen}^{k}(t)$ به‌ترتیب ضریب در دسترس بودن توان سلول‌های خورشیدی و منابع گاز سوز متداول نصب شده در باس k ام در زمان t مورد مطالعه می‌باشند، که با شرایط محیطی مختلف مقدار آن‌ها تغییر می‌کند و T دوره مورد مطالعه پس از وقوع حادثه می‌باشد.

مقدار R_{k-n} میزان در دسترس‌پذیر بودن شبکه بین باس k و n و $P_{k-n}(W,F)$ احتمال شکست شبکه بین باس k و n می‌باشد، که از مجموع احتمال شکست کلیه سکشن‌های بین این دو باس طبق رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد.

میزان تابش نور خورشید و درجه هوای محیطی که سلول‌های خورشیدی در آن قرار دارند، باعث متغییر بودن ظرفیت در دسترس منابع تولید توان خورشیدی می‌شوند[۲۱-۲۳]. جهت محاسبه ضریب در دسترس بودن توان سلول‌های خورشیدی می‌توان از رابطه (۱۳) استفاده کرد که در آن توان تولیدی سلول‌های خورشیدی را تحت شرایط محیطی مختلف نشان می‌دهد، که بر اساس آن با تغییر زاویه تابش خورشید و درجه حرارت محیط، توان تولیدی سلول‌های خورشیدی تغییر می‌کند[۲۳].

(۱۳)

$$A_{pv}^{k}(t)=\frac{G_{ING}(t)}{G_{STG}}\times(1+k(T_c(t)-T_{ref}))$$

در رابطه فوق G_{STG} و $G_{ING}(t)$ به ترتیب میزان تابش خورشید در شرایط استاندارد (۱۰۰۰ وات بر متر مربع) و میزان تابش خورشید در شرایط محیطی مورد مطالعه در زمان t می‌باشند. k ضریب حرارتی توان تولیدی تحت شرایط نامی بوده و $T_c(t)$ و T_{ref} به‌ترتیب دمای اطراف سلول در شرایط محیطی مورد مطالعه در زمان t و دمای استاندارد می‌باشند[۲۴].

با توجه به شرایط وقوع حوادث طبیعی(طوفان و سیلاب) و با توجه به شرایط دمای محیط و تابش خورشید در زمان وقوع حادثه، می‌توان از رابطه (۱۳) برای تعیین ضریب در دسترس بودن توان خروجی نیروگاه خورشیدی در زمان مورد مطالعه استفاده نمود.

منابع گاز سوز متداول از دسته منابع تولیدات پراکنده با توان خروجی ثابت می‌باشند. که با توجه به مسائلی مانند یکسان بودن سوخت، قابلیت اطمینان بالا، سرمایه‌گذاری اولیه پایین و نیز امکان راه‌اندازی سریع، به طور گسترده‌ای در شبکه‌های توزیع برق استفاده می‌شوند. قدرت خروجی این منابع قابل پیش بینی است، بنابراین برای برنامه‌ریزی شبکه مدل توان آن‌ها ساده است.

میزان تولید منابع گازسوز متداول تحت تأثیر عوامل محیطی و جغرافیایی تغییر می‌کند. ارتفاع و دمای محیط مهمترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد منابع گازسوز متداول می‌باشند، به‌طوری که هر ۱۰۰۰ فوت افزایش ارتفاع، راندمان این منابع را ۳ درصد و توان حداکثر خروجی آن‌ها را ۳,۸ درصد کاهش می‌دهد. همچنین هر ۱۰ درجه فارنهایت افزایش در دمای محیط موجب کاهش ۱ درصد راندمان این

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

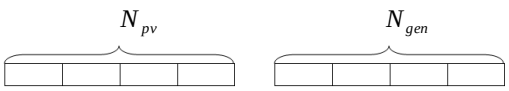
منابع می‌گردد[۲۵]. بنابراین با داشتن اطلاعات مربوط به دما و ارتفاع محل نصب این منابع در زمان وقوع رویدادهای آب و هوایی، به سادگی میزان توان در دسترس منابع گازسوز متداول $A_{gen}^{k}(t)$ در زمان مورد مطالعه بدست می‌آید.

۵- الگوریتم پیشنهادی

بهینه‌سازی منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع با هدف بهبود تاب-آوری را می‌توان به صورت یک مسأله‌ی بهینه‌سازی غیرخطی بیان کرد. الگوریتم ژنتیک (Genetic Algoritm) روشی برای حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد که از طبیعت الهام گرفته و فرایندهای آن بر اساس تکامل زیستی انجام می‌شود. این الگوریتم در هر جمعیتی راه-حل‌های منفرد مسأله را تغییر می‌دهد که از این تغییرات تحت عنوان تکامل یاد می‌شود. در هر گام از این تکامل دو عضو از جمعیت را به طور تصادفی به عنوان والدین انتخاب کرده و فرزند آن‌ها را به عنوان نسل بعدی در نظر می‌گیرد، به این ترتیب جمعیت به سمت یک راه-حل بهینه تکامل می‌یابد. با استفاده از این الگوریتم می‌توان بسیاری از مسائل بهینه‌سازی را که با الگوریتم‌های استاندارد بهینه‌سازی حل نمی‌شوند، حل نمود. از جمله این مسائل می‌توان به مسائلی که تابع هدف در آن‌ها گسسته و غیر خطی است، اشاره نمود[۲۶-۲۸]. در واقع برای تعیین نوع، مکان و اندازه بهینه منابع تولید پراکنده جهت دست-یابی به یک شبکه توزیع تاب‌آور یک فن بهینه‌سازی مناسب، استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

برای حل مسأله‌ی طراحی بهینه منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری متغیرهای گسسته‌ی تصمیم (نوع، مکان و اندازه بهینه منابع) توسط الگوریتم ژنتیک تولید و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. مراحل اصلی روش بهینه‌سازی در زیر شرح داده شده است.

موضوع اولی که باید مورد بررسی قرار گرد نوع کدبندی که قرار است برای حل مسأله استفاده شود. به‌طوری‌که هر کروموزوم شامل اطلاعاتی در مورد متغیرهای تصمیم گسسته است و یک کاندید حل مسأله را نشان می‌دهد و دارای ۲ بخش به صورت نشان داده شده در شکل (۶) می باشد.



شکل (۶): ساختار کروموزم

بخش اول شامل اطلاعات تصمیم در مورد مکان و اندازه‌ی نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد و N_{pv} ژن دارد که تعداد مکان‌های کاندید برای نصب نیروگاه‌های خورشیدی را نشان می‌دهد. مقدار مربوط به هر ژن، مقدار ظرفیت نیروگاه خورشیدی که باید درآن مکان کاندید نصب شود را نشان می‌دهد و مقدار صفر در هر ژن نشان می-دهد که در مکان کاندید مربوطه نیروگاه خورشیدی نصب نشده است.

بخش دوم نشان دهنده‌ی محل و ظرفیت نیروگاه‌های گاز سوز مرسوم در مکان‌های کاندید سیستم می‌باشد. و دارای N_{gen} ژن است که نشان دهنده‌ی تعداد مکان‌های کاندید برای نصب نیروگاه‌های گاز سوز می‌باشد. در این بخش هر ژن که مقدار صفر دارد یعنی هیچ نیروگاه گاز سوزی در مکان متناظر نصب نشده است و یک عدد صحیح مخالف صفر مقدار ظرفیت نیروگاه گاز سوز انتخاب شده در مکان متناظر را نشان می‌دهد.

الگوریتم با تولید یک جمعیت آغازین تصادفی کار خود را آغاز می‌کند و در هر تکرار الگوریتم ژنتیک با استفاده از سه عملگر انتخاب، تقاطع و جهش از جمعیت موجود برای ایجاد فرزندان نسل بعدی استفاده می‌کند. عملگر انتخاب افراد دارای شایستگی بیشتر از جمعیت قبلی را به عنوان والدین جمعیت جدید که برای تولید نسل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند، انتخاب می‌کند. معیار انتخاب کروموزوم‌ها بر اساس مقدار برآزندگی آن‌ها می‌باشد. هر چه مقدار برآزندگی یک کروموزوم بیشتر باشد شانس انتخاب آن بیشتر می‌گردد[۱۷]. جهت محاسبه‌ی برآزندگی ابتدا بر اساس اطلاعات کروموزوم‌ها وضعیت شبکه از نظر مکان، نوع و ظرفیت منابع تولید پراکنده تعیین و سپس شاخص DRI که نشان دهنده میزان برآزندگی هر کروموزوم می‌باشد، با استفاده از مدل ارائه شده محاسبه می‌گردد.

از طریق عملگر تقاطع، ۲ کروموزومی که به صورت تصادفی از جمعیت موجود انتخاب شده است، برای ایجاد ۲ یا تعداد بیشتر کروموزوم‌های جدید با هم ترکیب می‌شوند. با این کار بهترین اطلاعات والدین به فرزندان نسل جدید منتقل می‌شود. در حل این مسأله عملگر تقاطع به روش جایگزینی انجام می‌شود، یعنی اعضای بین دو نقطه برش از والد اول در فرزند دوم و اعضای بین دو نقطه برش از والد دوم در فرزند اول کپی می‌گردد.

جهت اجتناب از، از دست‌دادن بعضی ژن‌های مهم و افزایش تغییرات در جمعیت‌ها از عملگر جهش استفاده می‌شود[۱۷]. این عملگر یک تغییر تصادفی را بر روی افراد اعمال کرده و افراد جدیدی را در جمعیت تولید می‌نماید. در این عملگر برای هر ژن یک عدد تصادفی یکنواخت در فاصله‌ی (۱و۰) تولید می‌شود. اگر این عدد کمتر از نرخ جهش باشد مقدار متناظر ژن موجود با مقدار تصادفی دیگری در بازه‌ی مشخص تعویض می‌شود. در نهایت الگوریتم ژنتیک بعد از چند تکرار که از قبل تعیین شده بهترین راه حل برای مسأله‌ی طراحی بهینه منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری شبکه را بر می-گرداند.

۶- مطالعات عددی

۶-۱- شبکه مورد مطالعه

جهت نشان دادن کارآیی روش پیشنهادی در حل مسأله‌ی طراحی بهینه منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری، مدل پیشنهادی فوق بر روی یک شبکه توزیع واقعی اعمال شده است. این شبکه همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، یک شبکه‌ی توزیع

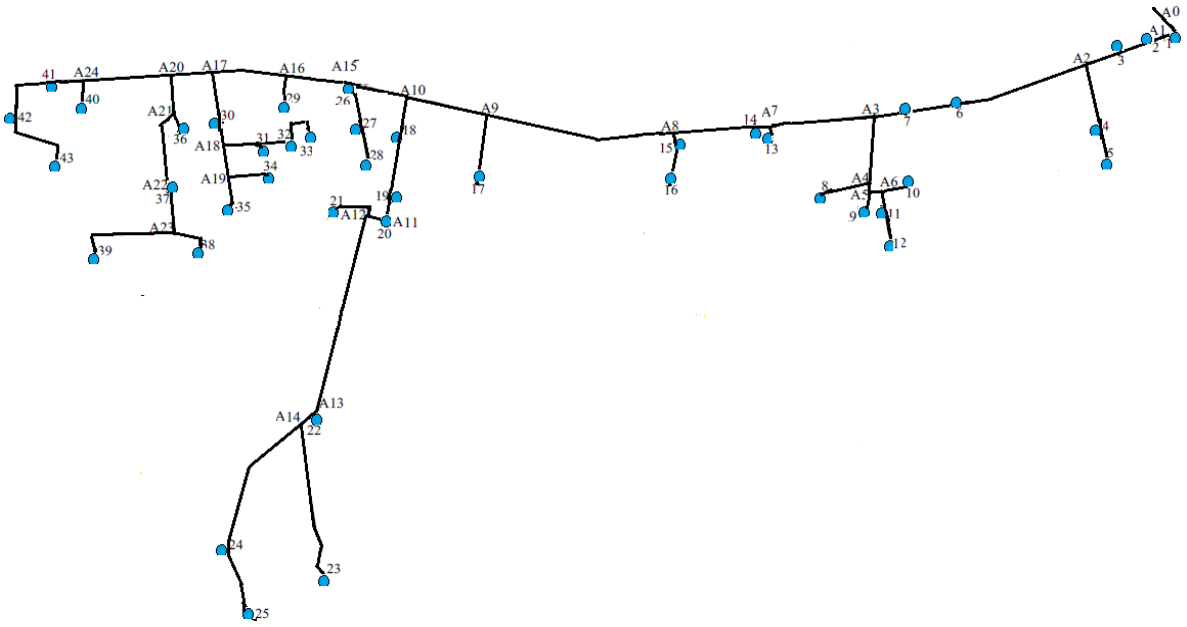
[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

۲۰ KV و ۴۴ باسه مربوط به فیدر مرمر شبکه توزیع برق خراسان جنوبی می‌باشد. این فیدر از پست فوق توزیع۱۳۲ KV شروع شده و دارای ۴۳ نقطه بار در طول مسیر و در مجموع دارای بار کلی ۷۷۹۰KVA می‌باشد. نقطه A0 به عنوان باس مرجع و شروع فیدر که در محل پست فوق توزیع قرار دارد و نقاط A1 تا A24 محل‌های انشعاب‌گیری از فیدر اصلی می‌باشند. اطلاعات مربوط به نقاط بار و سکشن‌های شبکه در جدول (۱) آورده شده است.

انتخاب نقاط کاندید برای نیروگاه‌های خورشیدی و منابع گازسوز متداول با توجه شرایط خاص محیطی که هر کدام از این منابع به آن نیاز دارند، انجام گردیده است. در این مقاله نقاط کاندید برای نیروگاه-های خورشیدی بر اساس واجد شرایط بودن محیط نصب نیروگاه (داشتن فضای کافی- عدم سایه اندازی) و برای نیروگاه‌های گازسوز متداول با توجه به در دسترس بودن گاز طبیعی انتخاب گردیده‌اند. در شکل (۸) اطلاعات مربوط به مکان‌های کاندید نیروگاه‌های خورشیدی و نیروگاه‌های گازسوز متداول بر روی شبکه مورد مطالعه نشان داده شده است.

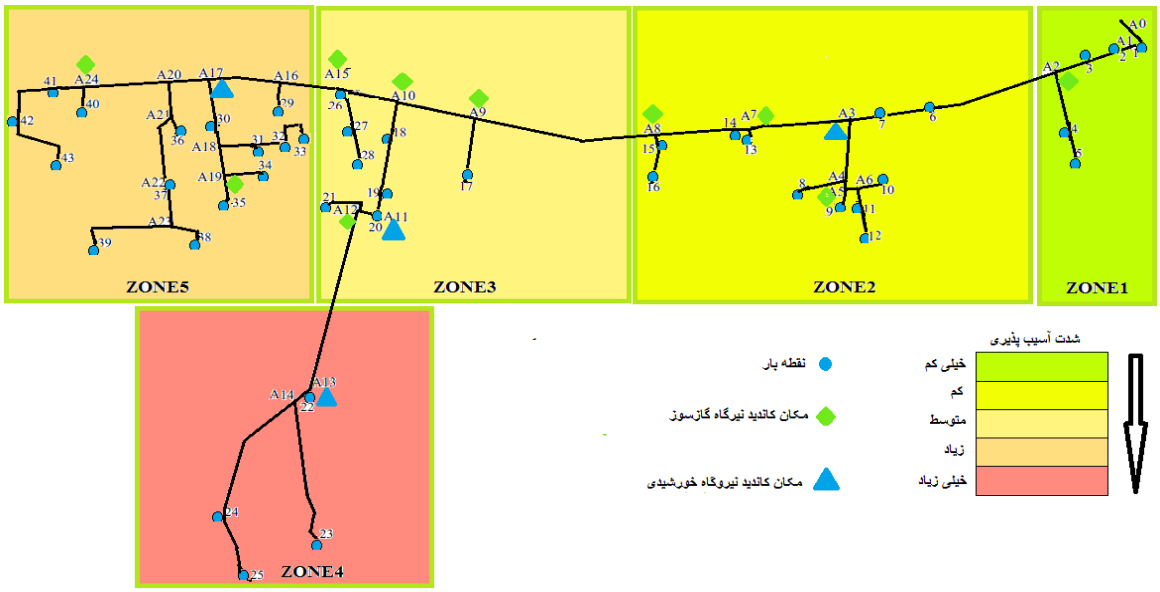
برای مدل‌سازی اثرات طوفان و سیلاب، شبکه توزیع مورد مطالعه بر اساس مسیر طوفان که از روی پروفیل‌های باد در منطقه مورد مطالعه قابل استخراج و محل‌های با احتمال وقوع سیلاب با توجه به مکان‌های جغرافیایی پایه‌های خطوط برق، به ۵ ناحیه مطابق شکل (۸) تقسیم‌بندی شده است. با فرض یکسان بودن شرایط آب و هوایی در یک ناحیه مشخص کلیه‌ی اجزای شبکه توزیع درون هر ناحیه در معرض شرایط مشابه آب و هوایی قرار دارند. و این بدین معنی است که شکنندگی اجزای شبکه توزیع از جمله پایه‌ها و هادی‌ها در هر ناحیه یکسان است.

بر اساس این تقسیم‌بندی ناحیه ۱ بخشی از شبکه توزیع را پوشش می‌دهد که در داخل شهر قرار داشته و بدلیل محصور بودن و وجود بافت شهری و ساخت و سازهای اطراف شبکه، باد و طوفان به طور کلی تأثیر کمی بر روی هادی‌ها و پایه‌های شبکه توزیع می‌گذارد. ناحیه ۲ مربوط به بخشی از شبکه که از یک طرف محصور بوده و تأثیر باد وطوفان نسبت به حالت قبل بیشتر می‌باشد. در ناحیه ۳ شبکه از هیچ سمتی محصور نبوده و کاملا در فضای باز قرار دارد. بنابراین در این ناحیه تاثیر باد و طوفان زیاد می‌باشد. ناحیه ۴ مربوط به قسمتی از شبکه توزیع است که پایه‌های شبکه در رودخانه واقع گردیده است و برای این ناحیه تأثیر باد و طوفان ناچیز بوده اما خطر وقوع سیلاب می‌تواند به طور جدی بر روی پایه‌های شبکه تأثیر گذار باشد. در ناحیه ۵ پایه‌های شبکه در نواحی کوهستانی قرار گرفته بنابراین خطوط برق در این ناحیه به طور جدی از تأثیرات طوفان در طول دوره رنج خواهند برد. اطلاعات مربوط به حداکثر سرعت باد و سیلاب در نواحی مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است.



شکل (۷): شبکه توزیع ۴۴ باسه مورد مطالعه

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]



شکل (۸): تقسیم‌بندی شبکه توزیع به چند ناحیه آب و هوایی

جدول ۱: اطلاعات سکشن‌ها

اطلاعات نقاط بار		اطلاعات سکشن‌ها			
شماره نقطه بار	بار (KVA)	شماره سکشن	سکشن‌ها	طول (m)	تعداد تیر در هر سکشن
۱	۵۰۰	۱	A0-A1	۱۵۵	۳
۲	۱۰۰	۲	A1-2	۲۹	۱
۳	۲۵	۳	A1-3	۶۰	۱
۴	۲۰۰	۴	3--4	۵۶۴	۱۰
۵	۲۵۰	۵	4-A2	۲۶۸	۵
۶	۲۰۰	۶	A2-5	۵۰۲	۹
۷	۵۰	۷	5-6	۲۰۲	۴
۸	۲۵	۸	A2-7	۹۶۱	۱۶
۹	۱۰۰	۹	7--8	۳۷۵	۷
۱۰	۱۰۰	۱۰	8-A3	۲۳۶	۴
۱۱	۲۰۰	۱۱	A3-A4	۵۰۴	۵
۱۲	۵۰۰	۱۲	A4-9	۳۳۳	۶
۱۳	۲۰۰	۱۳	A4-A5	۵۷	۱
۱۴	۲۵	۱۴	A5-10	۸۶	۲
۱۵	۲۰۰	۱۵	A5-A6	۸۷	۲
شماره نقطه بار	بار (KVA)	شماره سکشن	سکشن‌ها	طول (m)	تعداد تیر در هر سکشن
۱۶	۲۰۰	۱۶	A6-11	۱۹۴	۴
۱۷	۱۲۵۰	۱۷	A6-12	۱۰۱	۲
۱۸	۲۵	۱۸	12--13	۲۹۸	۵
۱۹	۱۰۰	۱۹	A3-A7	۷۵۶	۱۳
۲۰	۸۰۰	۲۰	A7-14	۱۲۱	۲
۲۱	۱۰۰	۲۱	A7-15	۷۸	۲
۲۲	۲۰۰	۲۲	15-A8	۶۹۲	۱۲
۲۳	۱۰۰	۲۳	A8-16	۶۷	۲
۲۴	۵۰	۲۴	16--17	۳۱۲	۶
۲۵	۵۰	۲۵	A8-A9	۱۳۷۵	۲۲
۲۶	۲۵	۲۶	A9-18	۵۰۰	۹
۲۷	۵۰	۲۷	A9-A10	۵۹۰	۱۰
۲۸	۲۵	۲۸	A10-19	۲۸۰	۵
۲۹	۱۰۰	۲۹	19--20	۴۹۹	۹
۳۰	۱۰۰	۳۰	20-A11	۱۵۳	۳
۳۱	۱۰۰	۳۱	A11-21	۳۰	۱
۳۲	۱۰۰	۳۲	A11-A12	۱۴۱	۳
۳۳	۱۰۰	۳۳	A12-22	۳۹۰	۷
۳۴	۱۰۰	۳۴	A12-A13	۱۴۴۶	۲۵
۳۵	۱۰۰	۳۵	A13-23	۶۸	۲
۳۶	۳۱۵	۳۶	A13-A14	۱۴۵	۳
۳۷	۲۰۰	۳۷	A14-24	۱۱۴۰	۲۰
۳۸	۲۰۰	۳۸	A14-25	۱۱۰۶	۱۹
۳۹	۲۰۰	۳۹	25--26	۵۶۸	۱۰
۴۰	۱۰۰	۴۰	A10-27	۳۷۰	۷
۴۱	۲۵	۴۱	27-A15	۲۰	۱
۴۲	۲۰۰	۴۲	A15-28	۳۱۶	۶
۴۳	۲۰۰	۴۳	28—29	۲۳۹	۴
		۴۴	A15-A16	۴۹۶	۹
		۴۵	A16-30	۱۷۴	۳
		۴۶	A16-A17	۵۳۷	۹
		۴۷	A17-31	۳۷۲	۷
		۴۸	31-A18	۸۱	۲
		۴۹	A18-32	۲۵۵	۵
		۵۰	32--33	۲۴۷	۵
		۵۱	33--34	۴۶۹	۸
		۵۲	A18-A19	۲۴۰	۴
		۵۳	A19-35	۲۸۲	۵
		۵۴	A19-36	۲۲۴	۴
		۵۵	A17-A20	۳۲۰	۶
		۵۶	A20-A21	۳۰۲	۵
		۵۷	A21-37	۵۹	۱
		۵۸	A21-A22	۵۷۴	۱۰
		۵۹	A22-38	۳۱	۱
		۶۰	A22-A23	۳۷۴	۷
		۶۱	A23-39	۲۴۴	۴
		۶۲	A23-40	۷۴۷	۱۳
		۶۳	A20-A24	۴۶۴	۸
		۶۴	A24-41	۱۵۸	۳
		۶۵	A24-42	۲۶۰	۵
		۶۷	42--43	۴۶۲	۸
		۶۷	43--44	۵۱۸	۹

جدول (۲): مشخصات نواحی مورد مطالعه

شماره ناحیه	حداکثر سرعت باد (m/sec)	سرعت سیلاب (m/sec)
۱	۲۶	–
۲	۲۸	–
۳	۳۰	–
۴	۲۸	۲۰
۵	۳۶	–

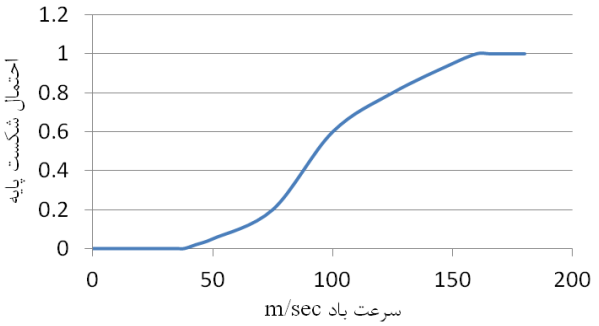
چارچوب مدل پیشنهادی بر روی تأثیرات شدید طوفان و سیلاب بر روی پایه‌ها و هادی‌های شبکه توزیع تمرکز دارد. با توجه به

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

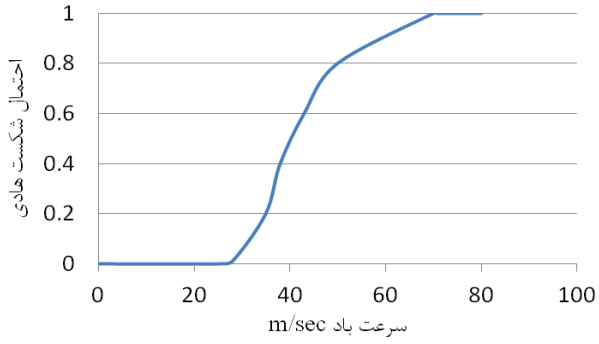
اطلاعات بدست آمده از شرایط آب وهوایی نواحی مورد مطالعه و وابستگی احتمال شکست تجهیزات شبکه با شدت رویداد آب و هوایی، که می‌توان از روی سوابق و بررسی یک مطالعه آماری مربوط به احتمال شکست تجهیزات با سرعت باد و سیلاب در منطقه مورد مطالعه استخراج کرد، منحنی‌های شکنندگی را می‌توان بدست آورد. شکل (۹) منحنی‌های شکنندگی پایه در مقابل باد، هادی در مقابل باد و پایه در مقابل سیلاب را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

در اینجا فرض بر این است که پایه‌های شبکه توزیع از نوع بتنی چهارگوش بوده و به ازای هر ۶۰ متر یک پایه وجود دارد، که در طول یک سکشن به صورت سری متصل می‌شوند، بنابراین فروریختن یک پایه به‌تنهایی منجر به شکست کل سکشن خواهد گردید.

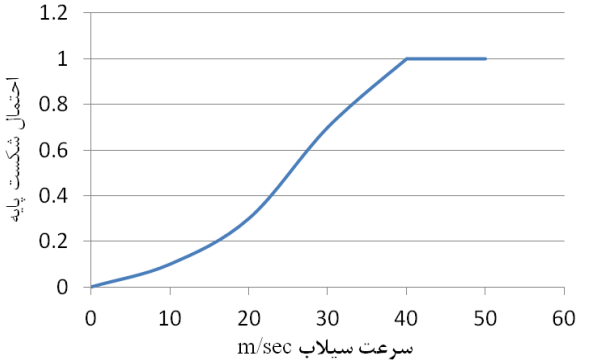
با استفاده از منحنی‌های فوق می‌توان با در دست داشتن سرعت باد و سیلاب در نواحی مختلف مورد مطالعه، احتمال شکست هادی‌ها و پایه‌های شبکه توزیع را بدست آورد و به محاسبه احتمال شکست هر سکشن شبکه توزیع در اثر وقوع طوفان یا سیلاب پرداخت.



(الف)



(ب)

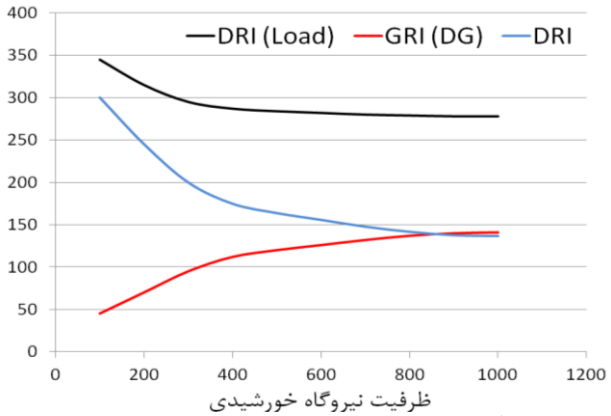


(ج)

شکل (۹): منحنی‌های شکنندگی
الف-پایه در مقابل باد، ب-هادی در مقابل باد،
ج-پایه در مقابل سیلاب

۲-۶- تأثیر منابع تولید پراکنده بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع

در بخش اول ارزیابی تاب‌آوری شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده، با استفاده از مدل پیشنهادی برای یک دوره ۲۴ ساعته پس از وقوع حادثه مورد مطالعه قرار گرفته است. در شکل (۱۰) تأثیر افزایش ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی بر شاخص تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار و شاخص تاب‌آوری منابع تولید پراکنده و تأثیر آن‌ها بر روی شاخص کلی به طور جداگانه نشان داده شده است. از نتایج بدست آمده مشاهده می‌گردد که با افزایش ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی، شاخص ریسک شبکه در قبال تأمین بار کاهش (افزایش تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار) و شاخص تاب‌آوری منابع تولید پراکنده افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی، هر دو شاخص تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار و تاب‌آوری منابع تولید پراکنده در جهت بهبود تاب‌آوری کلی شبکه عمل می‌نمایند.

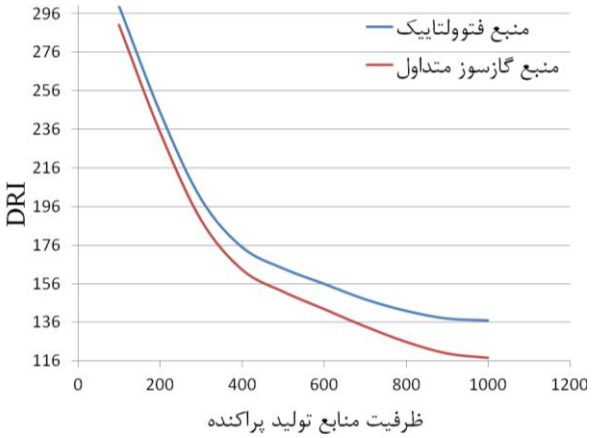


شکل (۱۰): تأثیر افزایش ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی بر روی شاخص‌های تاب‌آوری

شکل (۱۱) تأثیر افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده بر روی شاخص DRI در دو حالت مختلف (الف- در حضور منبع فتوولتاییک ب- در حضور منبع گازسوز متداول) و با فرض نصب منابع در یک مکان کاندید مشخص، نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد مقدار شاخص و در نتیجه تاب‌آوری شبکه وابسته به نوع و ظرفیت منابع تولید پراکنده می‌باشد. و با تغییر ظرفیت و نوع منابع تولید پراکنده میزان تاب‌آوری شبکه متفاوت خواهد بود. به طوری که در صورت استفاده از منابع گاز سوز متداول که دارای توان خروجی ثابت می‌باشند، در مقایسه با منابع فتوولتاییک، میزان تاب‌آوری شبکه بیشتر بهبود می‌یابد. علاوه بر این با افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده تا حد معینی، مقدار شاخص DRI کاهش و در نتیجه تاب‌آوری شبکه افزایش می‌یابد. اما نرخ افزایش تاب‌آوری در ابتدا (ظرفیت‌های کم) بسیار زیاد بوده و با افزایش ظرفیت منابع، این نرخ کاهش می‌یابد. به

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

طوری که اگر میزان ظرفیت منابع از حد معینی افزایش یابد تأثیر آن بر روی تاب‌آوری شبکه بسیار ناچیز خواهد بود. این نتیجه حاصله به این شکل قابل تحلیل است که در هنگام وقوع حادثه طبیعی بخش زیادی از تجهیزات شبکه و سکشن‌های مربوطه دچار شکست می‌گردند. بنابراین مسیر انتقال توان برای تغذیه بسیاری از بارها مسدود می‌گردد. در مورد ظرفیت‌های پایین منابع تولید پراکنده با قراردادن آن‌ها در مکان مناسب، با تغذیه بیشترین بارهای قابل دسترس، استفاده بهینه از ظرفیت منابع در تأمین بار انجام می‌گردد و در نتیجه بیشترین اثر در افزایش تاب‌آوری شبکه حاصل می‌گردد. اما با افزایش ظرفیت منابع از میزان مشخصی، ممکن است نتوان از کل ظرفیت منابع در جهت تأمین بارها بدلیل عدم دسترسی به بارها و در نتیجه افزایش تاب‌آوری شبکه استفاده کرد. در واقع ظرفیت تولید پراکنده در دسترس می‌باشد، اما امکان استفاده از آن جهت تغذیه بار وجود ندارد. به همین دلیل اثر آن بر روی شاخص تاب‌آوری بسیار ناچیز می‌باشد.



شکل (۱۱): تأثیر نوع و ظرفیت منابع تولید پراکنده بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع

۳-۶- بهینه‌سازی

در این بخش به حل مسأله بهینه‌سازی طراحی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری، با استفاده از الگوریتم ژنتیک در MATLAB پرداخته شده است. لازم به ذکر است جهت حل این مسأله فرض می‌گردد مقدار ظرفیت‌های منابع تولید پراکنده که جهت بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد، در شبکه موجود بوده و به همین علت از هزینه‌های احداث آن‌ها صرف نظر گردیده است. و طراحی منابع تولید پراکنده جهت تعیین نوع و مکان این منابع تنها با هدف بهبود تاب‌آوری شبکه مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

انتخاب نوع و مکان نصب نیروگاه‌ها بر اساس مقادیر ژن‌های کروموزوم در پاسخ نهایی الگوریتم ژنتیک که دارای بیشترین برآزندگی (بیشترین تاب‌آوری شبکه) می‌باشد، تعیین گردیده‌اند.

پاسخ بهینه مسأله طراحی منابع تولید پراکنده با اجرای چندین بار مراحل مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک برای هر حالت بر روی شبکه نمونه و به‌دست آوردن بهترین نتایج در اجراهای مختلف، اطمینان حاصل گردیده که جواب بدست آمده بهینه خواهد بود. در این مقاله پاسخ‌های بهینه بعد از انجام ۵۰ تکرار در الگوریتم ژنتیک، با تعداد جمعیت اولیه‌ی ۲۰ و نرخ جهش ۰/۳ حاصل می‌گردند. فرض می‌شود حداکثر ظرفیت قابل نصب منبع تولید پراکنده در هر مکان کاندید ۱۰۰ کیلووات است. مسأله بهینه‌سازی طراحی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری بر روی شبکه نمونه در دو حالت زیر مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱-۳-۶- چند مرحله‌ای

در این حالت فرض بر این است که به صورت چند مرحله‌ای یعنی در چند بازه‌ی زمانی مختلف نسبت به نصب منابع تولید پراکنده اقدام می‌گردد، در این حالت پس از بدست آمدن طرح بهینه در هر دوره، نوع و مکان نصب منبع تولید پراکنده ثابت فرض می‌گردد و بهینه‌سازی برای پیدا کردن نوع و مکان منبع برای دوره بعدی ادامه می‌یابد.

۲-۳-۶- تک مرحله‌ای

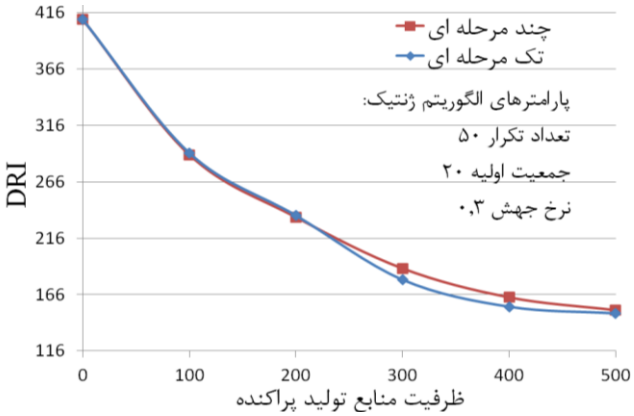
در این حالت، بهینه‌سازی نوع و مکان منابع تولید پراکنده به صورت تک مرحله‌ای انجام می‌گردد. یعنی برای هر ظرفیت موجود از منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع مسأله بهینه‌سازی به صورت مستقل حل می‌گردد.

شکل (۱۲) اثر افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع در دو حالت مورد مطالعه بر روی شاخص DRI شبکه توزیع را نشان می‌دهد. شکل (۱۳) طرح‌های بهینه با اضافه شدن پله‌های ۱۰۰ کیلوواتی از منابع تولید پراکنده در ۵ دوره زمانی و حداکثر ظرفیت تا ۵۰۰ کیلووات برای کل شبکه را نشان می‌دهند. شکل (۱۴) طرح‌های بهینه بدست آمده با فرض ظرفیت‌های در دسترس منابع تولید پراکنده از ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلووات برای کل شبکه را نشان می‌دهند.

برای نشان دادن اهمیت موضوع بهینه‌سازی طراحی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری، مسأله جایابی بهینه منبع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات (بهبود پروفیل ولتاژ) نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت این کار منبع تولید پراکنده با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات از نوع گاز سوز در مکان‌های مختلف کاندید قرار داده شده و با استفاده از نرم افزار DIGSILENT محلی که دارای کمترین تلفات و بهترین پروفیل ولتاژی می‌باشد، به‌عنوان محل بهینه جهت نصب بدست آمده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که محل بهینه برای منبع تولید پراکنده با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات با هدف بهبود تاب‌آوری شبکه مکان A9 می‌باشد، در صورتی که مکان بهینه نصب با هدف کاهش تلفات مکان A12 می‌باشد. به عبارت دیگر مسأله طراحی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری و هدف کاهش تلفات دارای نتایج متفاوت می باشند. شکل (۱۵) محل بهینه نصب منبع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات (بهبود پروفیل ولتاژ) را نشان می دهد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

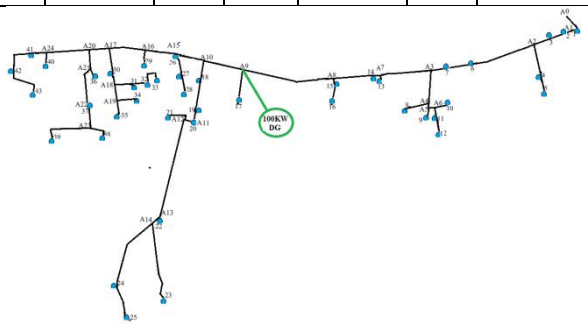
مقدار شاخص DRI و نوع منبع تولید پراکنده در دو حالت مختلف مورد مطالعه و با افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنـده، در جـدول (۳) آورده شده است.



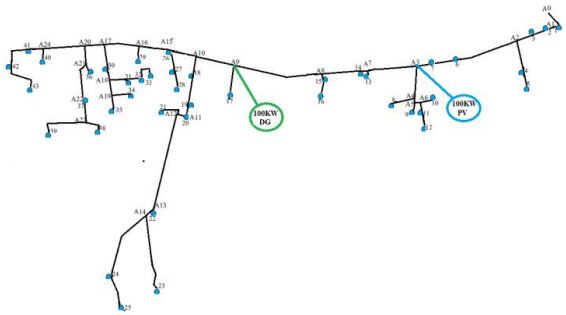
شکل (۱۲): اثر افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده بر روش شاخص تاب-آوری شبکه توزیع در دو حالت مورد مطالعه

جدول (۳): مقدار شاخص DRI و نوع منبع تولید پراکنده با افزایش ظرفیت منابع در دو حالت مختلف مورد مطالعه

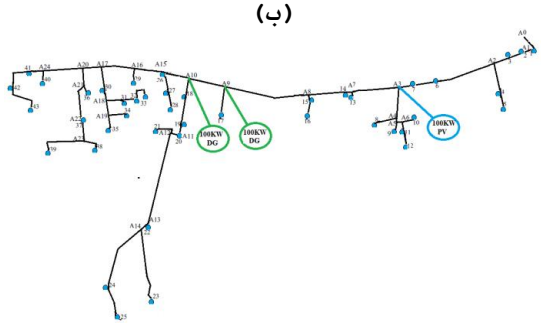
ظرفیت منابع (KW)	چند مرحله‌ای			تک مرحله‌ای		
	نوع	محل نصب	DRI	نوع	محل نصب	DRI
۰	-	-	۴۱۰	-	-	۴۱۰
۱۰۰	1DG	A9	۲۹۱,۵	1DG	A9	۲۹۱,۵
۲۰۰	1DG	A9	۲۳۶	1DG	A9	۲۳۶
	1PV	A3		1PV	A3	
۳۰۰	2DG	A9-A10	۱۹۰	2DG	A8-A10	۱۸۸
	1PV	A3		1PV	A3	
۴۰۰	3DG	A9-A10-A12	۱۶۴	3DG	A9-A12-A15	۱۵۹
	1PV	A3		1PV	A3	
۵۰۰	3DG	A9-A10-A12	۱۵۲	3DG	A8-A10-A12	۱۵۱
	2PV	A3-A17		2PV	A3-A17	



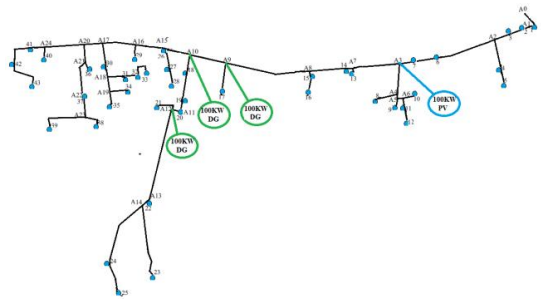
(الـف)



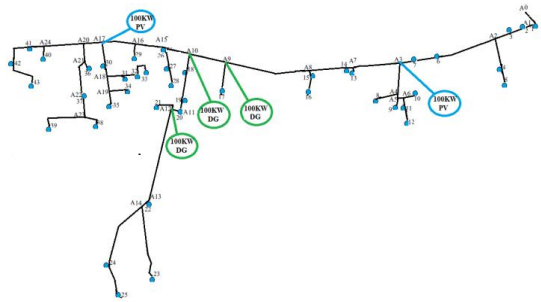
(ب)



(ج)



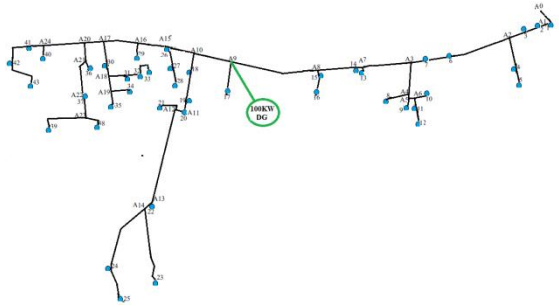
(د)



(ه)

شکل (۱۳): طرح‌های بهینه حالت چند مرحله‌ای

الف- KW ۱۰۰، ب-KW ۲۰۰، ج-KW ۳۰۰، د-KW ۴۰۰، ه-KW ۵۰۰

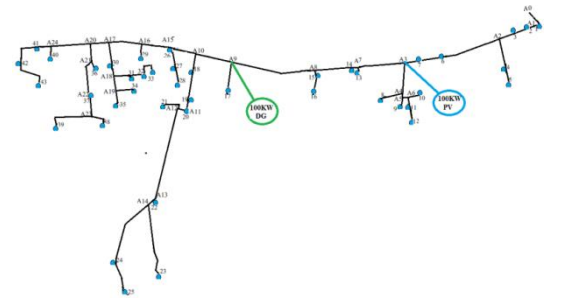


(الف)

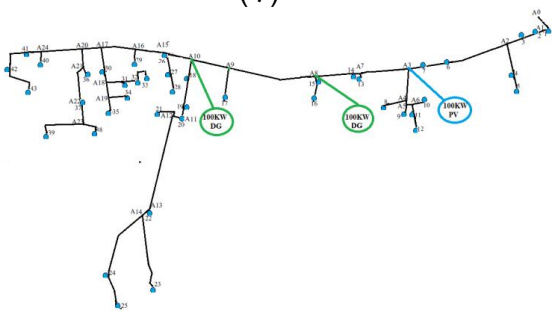
[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]

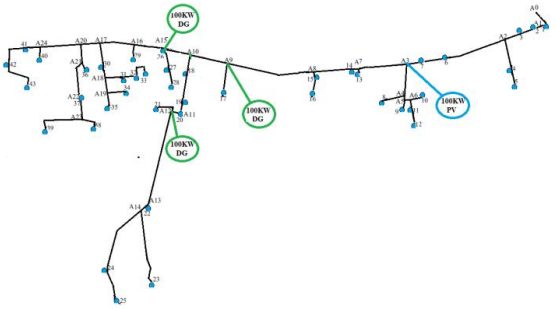
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]



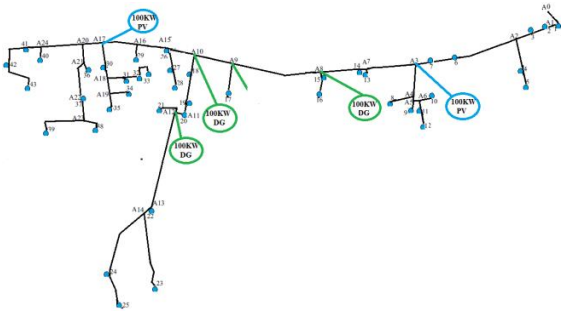
(ب)



(ج)



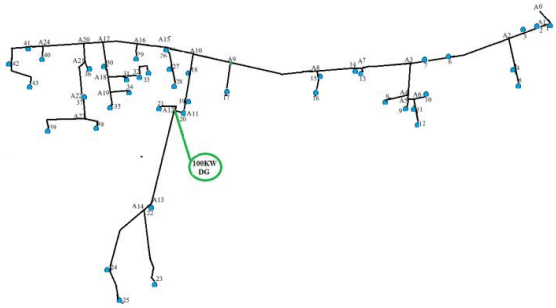
(د)



(ه)

شکل (۱۴): طرح‌های بهینه حالت تک مرحله‌ای

الف- ۱۰۰ KW، ب- ۲۰۰ KW، ج- ۳۰۰ KW، د- ۴۰۰ KW، ه- ۵۰۰ KW



شکل (۱۵): طرح بهینه با هدف کاهش تلفات

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌گردد حضور منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع علاوه بر این که موجب بهبود تاب‌آوری شبکه می‌گردد، بلکه جهت داشتن بیشترین سطح تاب‌آوری در شبکه توزیع با ظرفیت موجود منابع تولید پراکنده، باید مسأله طراحی بهینه نوع و مکان این منابع در شبکه مورد توجه ویژه قرار گیرد. علاوه بر این مسأله بهینه‌سازی طراحی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری و هدف کاهش تلفات نتایج متفاوتی را به‌دنبال خواهد داشت. و این امر نشان می‌دهد طرح‌هایی از شبکه توزیع که با هدف بهینه تلفات بدست می‌آیند، نمی‌توانند تاب‌آوری شبکه را تضمین نمایند. همچنین طراحی منابع تولید پراکنده به صورت تک مرحله‌ای منجر به بهبود بیشتر سطح تاب‌آوری شبکه توزیع نسبت به حالت چند مرحله‌ای می‌گردد.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی گردید با ارائه مفهوم تاب‌آوری شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده به نحوه مدل‌سازی حوادث طبیعی متداول مانند سیل و طوفان پرداخته و سپس به منظور بررسی تأثیر این منابع بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع با ارائه شاخص جدید، تاب‌آوری شبکه در قبال تأمین بار و تاب‌آوری منابع تولید پراکنده (سلول‌های خورشیدی و منابع گازسوز متداول) به صورت مستقل از هم، فرموله‌بندی ریاضی گردید. در ادامه به مطالعه تأثیر نوع و ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی و منابع گازسوز متداول بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع پرداخته و در نهایت با استفاده از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی به حل مسأله‌ی طراحی بهینه منابع تولید پراکنده با هدف بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع پرداخته شد. نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی بر روی یک شبکه‌ی نمونه واقعی نشان می‌دهد، میزان تاب‌آوری شبکه وابسته به نوع و ظرفیت منابع تولید پراکنده مورد استفاده در شبکه می‌باشد، به طوری که در صورت استفاده از منابع گاز سوز متداول دارای توان خروجی ثابت، در مقایسه با منابع فتوولتاییک، میزان تاب‌آوری شبکه بیشتر افزایش می‌یابد. همچنین نرخ افزایش شاخص تاب‌آوری با افزایش ظرفیت منابع تولید پراکنده در ابتدا زیاد بوده و با افزایش ظرفیت منابع از میزان مشخصی، این نرخ کاهش می‌یابد. علاوه بر این جهت داشتن بیشترین سطح تاب‌آوری در شبکه توزیع و استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود منابع تولید پراکنده، پیشنهاد می‌گردد مسأله طراحی بهینه نوع و مکان این منابع در امر طراحی و توسعه شبکه مورد توجه ویژه قرار گیرد. همچنین طراحی منابع تولید پراکنده به صورت تک مرحله‌ای منجر به نتایج بهتری در سطح تاب‌آوری شبکه توزیع نسبت به حالت چند مرحله‌ای می‌گردد. در این مقاله با استفاده از مدل جدید ارائه شده به طراحی منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع با هدف بهبود تاب‌آوری پرداخته شد. در مطالعات بعدی تلاش خواهد گردید با استفاده از مدل ارائه شده، به مسأله طراحی جامع شبکه توزیع یعنی طراحی هر یک از اجزای

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]
[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]

سیستم (پست توزیع، فیدر و منابع تولید پراکنده) در کنار یکدیگر و به صورت همزمان با هدف بهبود تاب‌آوری پرداخته شود.

مراجع

[1] Y. Wang, C. Chen, J. Wang and R. Baldick, *"Research on resilience of power systems under natural disasters-a review"*, IEEE Trans. Power Syst., vol. 31, no. 2, pp. 1604–1613, Mar. 2016

[2] R. J. Campbell, *"Weather-related power outages and electric system resiliency"*, Congressional Research Service, Library of Congress, 2012.

[3] A. Khodaei, *"Resiliency-oriented microgrid optimal scheduling"*, IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 4, pp. 1584-1591, July 2014.

[4] M. Panteli and P. Mancarella, *"Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: impacts and possible mitigation strategies"*, Electric Power Systems Research, vol. 127, pp. 259–270, Oct. 2015.

[5] H. Gao, Y. Chen, Y. Xu, and C.-C. Liu, *"Resilience-oriented critical load restoration using microgrids in distribution systems"*, IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2837-2848, Nov. 2016.

[6] C. Chen, J. Wang, F. Qiu, and D. Zhao, *"Resilient distribution system by microgrids formation after natural disasters"*, IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 958–966, Mar. 2016.

[7] A. Yazdaninejadi, A. Hamidi, S. Golshannavaz, F. Aminifar, S. Teimourzadeh, *"Impact of Inverter-based DERs Integration on Protection, Control, Operation, and Planning of Electrical Distribution Grids"*, The Electricity Journal, vol. 32, no. 6, pp. 43–56, 2019.

[8] R. Nateghi, *"Multi-Dimensional Infrastructure Resilience Modeling: An Application to Hurricane-Prone Electric Power Distribution Systems"*, vol. 9, no. 4, pp. 2918 – 2929, July 2018.

[9] M. Panteli, D. N. Trakas, P. Mancarella, and N. D. Hatziargyriou, *"Boosting the Power Grid Resilience to Extreme Weather Events Using Defensive Islanding"*, IEEE Trans. Smart Grid, Vol. 7, no. 6, pp. 2913 – 2922, Nov. 2016.

[10] P. Bajpai, S. Chanda, K. Srivastava, *"A Novel Metric to Quantify and Enable Resilient Distribution System using Graph Theory and Choquet Integral"*, IEEE Trans. Smart Grid, Vol. 9, no. 4, pp. 2918 – 2929, July 2018.

[11] W. Yuan, J. Wang, F. Qiu,C. Chen, C. Kang and B. Zeng, *"Robust Optimization-Based Resilient Distribution Network Planning Against Natural Disasters"*, IEEE Trans. Smart Grid, Vol. 7 , no. 6 , pp. 2817 – 2826, Nov. 2016.

[12] S. Ma, B. Chen, Z.Wang, *"Resilience Enhancement Strategy for Distribution Systems under Extreme Weather Events"*, IEEE Trans. Smart Grid, Vol. 9, no. 2, pp. 1442 – 1451, March 2018.

[13] J. Kim, Y. Dvorkin, *"Enhancing Distribution System Resilience with Mobile Energy Storage and Microgrids"*, IEEE Trans. Smart Grid, vol. 10, no. 5, pp. 4996-5006, Sept. 2019.

[14] M. Bahramabadi, A. Abbaspour, M. Fotuhi, M. Aghtaie, *"Resilience-based framework for switch placement problem in power distribution"*, IET Gener. Transm. Distrib. Vol. 12 no. 5, pp. 1223-1230, 2018.

[15] B. Zhang, P. Dehghanian and M. Kezunovic, *"Optimal Allocation of PV Generation and Battery Storage for Enhanced Resilience"*, IEEE Trans. Smart Grid, vol. 10, no. 1, pp. 535-545, Jan. 2019.

[16] S. Wang, Z. Li, L.Wu, M.Shahidehpour and Z. Li, *" New metrics for assessing the reliability and economics of microgrids in distribution systems"*, IEEE Trans.Power Syst., vol. 28, no. 3, pp. 2852-2861, Aug. 2013.

[17] H. Falaghi, C. Singh, M.-R. Haghifam, M. Ramezani, *"DG integrated multistage distribution system expansion planning"*, Electrical Power and Energy Systems, vol. 33, pp. 1489–1497, 2011.

[18] Zhaoyu Wang, Bokan Chen, Jianhui Wang, *"Robust optimization based optimal DG placement in microgrids"*, IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 5, pp. 2173-2182, Sept. 2014

[19] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani and C. Marnay, *"Microgrids"*, IEEE Power and Energy Magazine, vol. 5, no. 4, pp. 78–94, 2007.

[20] M. Al-Muhaini, Gerald T. Heydt, *"Evaluating future power distribution system reliability including distributed generation"*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, no. 4, pp. 2264-2272, 2013.

[21] W. Caisheng and M. Hashem Nehrir, *"Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Energy System"*, IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 23, no. 3, pp. 957-967, Sept. 2008.

[22] Mohammad saad Alam and David, *"Modeling and Analysis of a Wind/PV/Fuel Cell Hybrid Power System in HOMER"*, Proc. Int. Conf. on Industrial Electronics and Applications, PP.1594-1599, 2007.

[23] M. Rahman, M. Hasanuzzaman and N.A. Rahim, *"Effects of Various Parameters on PV-Module Power and Efficiency"*, Energy Conversion and Management, Vol. 103, pp. 348-358, 2015.

[24] D. Torres-Lobera, and S. Valkealahti, *"Inclusive Dynamic Thermal and Electric Simulation Model of Solar PV Systems under Varying Atmospheric Conditions"*, Solar Energy, 105, pp. 632-647, 2014.

[25] Energy Nexus Group, *"Technology characterization–microturbine"*, USA Environmental Protection Agency, 2002.

[26] V. Camargo, M. Lavorato, R. Romero, *"Specialized genetic algorithm to solve the electrical distribution system expansion planning"*, IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES), pp. 1-5, 2013.

[27] D.T.C. Wang, L.F. Ochoa, G.P. Harrison, *"Modified GA and data envelopment analysis for multistage distribution network expansion planning under uncertainty"*, IEEE Transactions on Power Systems, vol.26, no.2, pp.897-904, 2011.

[28] E. Carrano, L. Soares, R. Takahashi, R. Saldanha and O. Neto, *"Electric distribution network multiobjective design using a problem-specific genetic algorithm"*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, no. 2, pp. 995–1005, April 2006.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2024-04-16]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1399.9.4.4.8]

[DOI: 10.29252/ieijqp.9.4.35]