



عنوان پروژه: مکان‌یابی بهینه واحدهای تولید پراکنده و کلیدهای جداکننده با هدف افزایش انعطاف‌پذیری شبکه توزیع از منظر پدافند غیرعامل

کارفرما: شرکت توزیع برق خوزستان

تیم پژوهشگر: الهه مشهور، پیمان دارخال، حسین فرزین

ناظر: عبدالرضا زارعی

زمان شروع پروژه: ۹۷/۱۰/۱

زمان خاتمه پروژه: ۹۸/۱۰/۱

مدت زمان اجرای پروژه: یک سال

وضعیت نهایی پروژه (درصد انجام پروژه): خاتمه یافته

مبلغ قرارداد (میلیون ریال):

قیمت نمونه خارجی (در صورت داشتن نمونه خارجی):

میزان صرفه‌جویی و اثربخشی:

آیا نتایج تست میدانی/تحت استاندارد مشخص را دارد (ذکر نوع گزارش تست، محل انجام آن، تاریخ شروع و مدت زمان انجام آن)؟ اعتبار سنجی از طریق مقایسه بخشی از مدل پیشنهادی (که امکان مقایسه برای آن وجود داشت) با کار محققین دیگر انجام شده و در گزارش نهایی نتایج آن ارائه شده است. این مقایسه، صحت نتایج حاصله در این پژوهش را تأیید می‌نماید. همچنین تحلیل‌های سناریو و نتایج حاصله تأییدی بر کارایی مدل و اعتبار نتایج حاصله می‌باشد.

آیا امکان تجاری‌سازی در این مرحله وجود دارد و یا نیازمند انجام فازهای تکمیلی قبل از تجاری‌سازی می‌باشد؟ در صورت سهولت دسترسی به دیتای شبکه، امکان تجاری‌سازی آن وجود دارد.

تعریف مسئله (مشکلات موجود که منجر به ضرورت اجرای پروژه شده است):

در طول سالیان متمادی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از کلیه زیرساخت‌های اساسی زندگی بشر در حوزه‌های مختلف مانند آب، برق، گاز، ارتباطات و ... به‌گونه‌ای صورت گرفته است که زیر ساخت‌های مورد اشاره در برابر رخداد‌های شناخته شده‌ی جزئی دارای قابلیت اعتماد قابل قبولی باشند. برای مثال در حوزه‌ی برق، در سرتاسر دنیا، به شکل سنتی سیستم‌های قدرت بر مبنای اصول کلی قابلیت اعتماد یعنی امنیت و کفایت طراحی و بهره‌برداری شده‌اند و این اصول می‌توانند با خطاهای جزئی شناخته شده سیستم مانند یک اتصال کوتاه جزئی، خرابی یک تجهیز و ... به خوبی مقابله نمایند. اما در چند سال اخیر رخداد‌های شدید در ابعاد بزرگ زیرساخت‌های زندگی بشر را تهدید نموده است. این تهدیدات می‌توانند دارای منشاء طبیعی باشند که از آن جمله می‌توان زلزله، سیل، طوفان، ریزگرد و ... اشاره نمود، یا اینکه می‌توانند دارای منشاء غیرطبیعی باشند که از آن جمله می‌توان به تهدیدات تروریستی اشاره نمود. اگر چه این تهدیدات دارای احتمال وقوع کمی هستند، اما در صورت وقوع شدت تأثیر آن‌ها بر زیرساخت‌های اصلی زندگی قابل توجه است و می‌توانند تبعات منفی اقتصادی، اجتماعی و امنیتی زیادی را به همراه داشته باشد. لذا پدافند غیر عامل به عنوان یک راهبرد پیشگیرانه و بازدارنده در برابر هر تهدیدات فوق مورد توجه سیاستمداران و دولتمردان در سرتاسر دنیا قرار گرفته است. به زبان ساده پدافند غیر عامل به کلیه فعالیت‌ها و اقداماتی اطلاق می‌شود که بدون استفاده از ابزار و امکانات نظامی و تسلیحات جنگی بتوان از وارد شدن خسارات و صدمات به مردم، تجهیزات و امکانات موجود در یک منطقه جلوگیری کرده و یا شدت آن‌ها را به حداقل رساند. یکی از راهکارهای این راهبرد کلان افزایش قابلیت انعطاف زیرساخت‌های اساسی زندگی بشر در برابر حوادث شدید و کم احتمال می‌باشد. انعطاف‌پذیری از کلمه انگلیسی " Resilience " گرفته شده است که در واقع به توانایی یک شیء برای بازگشت به شکل یا موقعیت اصلی خود (پیش از تنش) اشاره دارد. در سیستم‌های قدرت الکتریکی منظور از انعطاف‌پذیری توانایی سیستم جهت مقاومت مؤثر در برابر حوادث کم احتمال اما پرخطر است به گونه‌ای که احتمال ایجاد وقفه در تغذیه‌ی انرژی الکتریکی حداقل باشد و علاوه بر آن امکان ترمیم و بازیابی سریع سیستم به حالت عادی فراهم شده باشد. انعطاف‌پذیری سیستم قدرت را می‌توان با اقدامات استحکام بخش (در طراحی و اجرا) و همچنین اتخاذ اقدامات بهره‌برداری مناسب ارتقاء داد. همه‌ی اقداماتی که مرتبط با تغییرات توپولوژی و ساختاری سیستم بوده و می‌توانند استحکام آن را در مواجهه با حوادث پرخطر افزایش دهند، می‌توانند در گروه اقدامات استحکام‌دهنده به حساب آیند. از جمله‌ی این اقدامات می‌توان به زیرزمینی کردن خطوط توزیع و انتقال، تقویت تیرها و برج‌های حامل خطوط با استفاده از مواد دارای مقاومت بیشتر، تقویت ایزولاسیون‌های شبکه، مسیریابی مجدد خطوط انتقال از نواحی امن‌تر اشاره کرد. از جمله اقدامات بهره‌برداری می‌توان استفاده از راهبردهای کنترلی غیرمتمرکز و بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع به صورت ریزشبکه اشاره نمود. اگر چه هر دوی اقدامات استحکام بخش و اقدامات بهره‌برداری برای افزایش انعطاف‌پذیری سیستم قدرت ضروری هستند، تمرکز این پژوهش (پایان‌نامه) بر اقدامات استحکام بخش می‌باشد. اما از منظر پدافند غیر عامل،

یک جنبه مهم در افزایش انعطاف‌پذیری زیرساخت‌ها تمرکز زدایی از سیستم تولید می‌باشد. علت این است که در تولید متمرکز مبتنی بر سوخت فسیلی، بخش‌های کلیدی زنجیره عرضه (بندرگاه‌ها، خطوط لوله، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها و خطوط انتقال) به صورت متمرکز هستند و قطع هر یک از مؤلفه‌های کلیدی زیرساخت مربوطه می‌تواند منجر به وقفه‌های شدید عرضه شود. این در حالی است که در تولید غیر متمرکز، یک رخداد محلی یا حادثه طبیعی یا غیر طبیعی تأثیر کمی روی کل سیستم دارد. تمرکز زدایی از سیستم تولید و بکارگیری منابع تولید پراکنده (DG) در شبکه توزیع موضوع جدیدی نیست و محققان زیادی مسأله مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده را با دیدگاه سنتی مورد توجه قرار داده‌اند. در این میان، استفاده از واحدهای تولید پراکنده جهت افزایش انعطاف‌پذیری شبکه توزیع اخیراً در کانون توجه محققین قرار گرفته است. از جمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به طراحی ریزشبکه‌ها و بهره‌گیری از آن‌ها در هنگام وقوع خاموشی‌های گسترده اشاره نمود. برای این منظور در صورت وقوع خاموشی عمده در شبکه توزیع یا از دست رفتن شبکه بالادست، هر ریزشبکه ابتدا وارد عملکرد جزیره‌ای می‌شود و سپس با بهره‌گیری از توان مازاد ریزشبکه‌ها، جزیره‌ها توسعه می‌یابند و بخش‌هایی از شبکه بازیابی می‌شوند. لذا لازم است مکان‌یابی DG ها به عنوان یک اقدام استحکام بخش در شبکه انجام شود و از ملزومات آن این است که ملاحظات بهره‌برداری در مسأله مکان‌یابی در نظر گرفته شود. برای این منظور باید مجموعه‌ای از DGها و کلیدهای جداکننده در شبکه بازیابی شوند، به گونه‌ای که در صورت وقوع یک تهدید امکان استفاده از قابلیت DG ها جهت بازیابی شبکه از قبل فراهم شده باشد. بر این اساس در این پژوهش، مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه DG ها به همراه مکان بهینه کلیدهای جداکننده با هدف افزایش قابلیت انعطاف شبکه توزیع مورد توجه می‌باشد. شایان ذکر است بر خلاف قابلیت اطمینان شبکه که توسط شاخص‌های معینی از جمله انرژی تأمین نشده مورد انتظار (EENS)، متوسط تعداد خاموشی به ازاء یک مشترک (SAIFI) و متوسط زمان خاموشی به ازاء یک مشترک (SAIDI) ارزیابی می‌شود، برای سنجش قابلیت انعطاف سیستم قدرت شاخص کمی واحدی وجود ندارد. بدیهی است برای اقدامات استحکام بخش، لازم است میزان مقاومت شبکه در برابر رخدادها معین ارزیابی شود. برای اقدامات بهره‌برداری، متداول‌ترین شاخص‌های مطرح شده شامل سرعت بازیابی شبکه، میزان بارهای اولویت دار بازیابی شده و انرژی حذف شده‌ی مورد انتظار مطرح شده‌اند. از آنجا که در این پژوهش افزایش استحکام شبکه با ملاحظات بهره‌برداری صورت می‌گیرد، می‌توان از شاخص‌های بهره‌برداری جهت سنجش قابلیت انعطاف شبکه استفاده نمود.

**هدف از اجرای پروژه (حداکثر ۳ خط):** هدف این پژوهش، تعیین مکان و ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده به همراه تعیین مکان کلیدهای جداکننده در شبکه توزیع با هدف افزایش قابلیت انعطاف شبکه از منظر پدافند غیر عامل می‌باشد. از آنجا که پدافند غیر عامل یک راهبرد مختص دولت‌ها می‌باشد، مکان‌یابی از دید بهره‌بردار شبکه توزیع و با رویکرد بهبود بازیابی شبکه هنگام خاموش شدن شبکه بالادست صورت می‌پذیرد.

#### **خلاصه گزارش پروژه (مراحل انجام کار و نتایج کسب شده) (حداکثر ۶ خط):**

هدف این پروژه مکان‌یابی بهینه واحدهای تولید پراکنده و کلیدهای جداکننده شبکه به منظور افزایش انعطاف‌پذیری شبکه توزیع از منظر پدافند غیر عامل می‌باشد. لذا مکان‌یابی با این فرض انجام شده است که در صورت وقوع یک تهدید بزرگ (به طور خاص از دست رفتن شبکه بالادست)، بتوان حداکثر مقدار بارهای اولویت دار را از طریق ایجاد تعدادی جزیره در شبکه توزیع بازیابی نمود. با در نظر گرفتن دیدگاه‌های اقتصادی، مسئله مورد نظر به صورت یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه فرمول‌بندی شده است و توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) حل گردیده است. توابع هدف مسئله شامل کمینه‌سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بیشینه‌سازی مقدار بار بازیابی شده در صورت از دست رفتن شبکه بالادست می‌باشد. از جمله قیود مسئله می‌توان به محدودیت ولتاژ شین‌ها، قید ظرفیت خطوط و قید محدودیت توان تولیدی DGها اشاره نمود که در دو حالت کارکرد عادی شبکه و هنگام بروز خاموشی گسترده مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. مسئله مورد نظر از دسته مسائل استاتیکی است و برای ارزیابی اقتصادی از روش ارزش خالص فعلی استفاده شده است. به منظور در نظر گرفتن واقعیت‌های شبکه عملی، الگوهای بار روزانه مطابق با الگوی بار مصرف‌کنندگان واقعی در استان خوزستان فرض شده است. شایان ذکر است بارهای شبکه به صورت دو دسته بارهای معمولی و بارهای بحرانی با ضریب اهمیت متفاوت در نظر گرفته شده‌اند. مدل پیشنهادی بر روی یک سیستم تست ۳۳ شینه و همچنین یک سیستم تست عملی (۳۲۷ شینه) واقع در استان خوزستان تحت سناریوهای مختلف اجرا شده و نتایج تحلیل شده‌اند. نتایج حاصله کارآمدی روش پیشنهادی را تأیید می‌نمایند.

#### **ویژگی‌ها و مزایای (فنی و زیست محیطی) دستاورد پژوهشی:**

در بهمن ماه سال ۱۳۹۵ در استان خوزستان پدیده‌ای طوفان مانند تحت عنوان "پدیده ریزگردها" رخ داد که منجر به بروز آسیب‌های چشمگیر اقتصادی، اجتماعی و فیزیکی گردید و خاموشی‌های وسیعی را در سطح استان موجب گردید. برای مثال، بر اساس اطلاعات ثبت شده در سیستم حوادث و اتفاقات شرکت توزیع برق اهواز، میزان انرژی تأمین نشده ناشی از وقوع خاموشی‌های گسترده فقط در شهرستان اهواز در پی بروز پدیده ریزگردها در بهمن ماه سال ۱۳۹۵، معادل ۶۰۳۷ مگاوات ساعت بوده است. این در حالی است که کل انرژی تأمین نشده شهرستان اهواز در ده ماهه اول سال ۱۳۹۵ ناشی از خاموشی‌های جزئی ۶۳۳۸ مگاوات ساعت بوده است. نکته قابل توجه این است که عمده خاموشی‌های رخ داده در ده ماهه نخست سال مربوط به دوره گرم سال بوده است که در آن شبکه توزیع بسیار پر بار بوده و نزدیک به محدوده‌های مجاز، بهره‌برداری می‌شده است. به علاوه بررسی منحنی‌های بار شبکه‌های توزیع در استان خوزستان نشان می‌دهد که پیک بار دوره گرم سال بین ۳-۴ برابر پیک بار دوره معتدل سال (زمستان) است. با توجه به پایین بودن میزان مصرف در ماه بهمن، نزدیکی مقدار انرژی تأمین نشده شهرستان اهواز در نتیجه وقوع ریزگردها در بهمن ۱۳۹۵ به کل انرژی تأمین نشده ناشی از خاموشی‌های جزئی ده ماهه شهرستان اهواز در سال مذکور، وسعت خاموشی ناشی از ریزگردها را نشان می‌دهد. وضعیت در سایر شهرستان‌های استان خوزستان از جمله شهرستانهای جنوبی و جنوب شرق استان نیز مشابه شهر اهواز می‌باشد. از آنجا که این پدیده

همچنان دامن گیر بخش‌هایی از کشور ایران و به ویژه استان خوزستان می‌باشد، ضروری است نسبت به راه‌های تعدیل خسارات ناشی از آن تحقیقات جامع صورت گیرد. بدیهی است تحقیق و مطالعه پیرامون این موضوع از جنبه‌های مختلف از جمله جنبه‌های زیست محیطی، پیشگیری وقوع و همچنین درمان، لازم و ضروری است. مطالعات پیشگیری و درمان در حوزه صنعت برق حول محور مقاوم‌سازی شبکه متمرکز می‌باشد. مقاوم‌سازی از طریق اقدامات استحکام‌دهنده و اقدامات بهره‌برداری محقق می‌شود. اقدامات استحکام‌دهنده در دسته اقدامات پیشگیرانه و اقدامات بهره‌برداری در دسته اقدامات درمانی جای می‌گیرند. اگرچه هر دو نوع اقدامات فوق جهت کاهش خسارت ناشی از ریزگردها ضروری و مهم هستند، تمرکز این پژوهش (پایان نامه) بر اقدامات استحکام‌دهنده و به‌طور خاص بر استفاده از DGها و کلیدهای جداکننده می‌باشد، به گونه ای که بتوان در خاموشی‌های گسترده، با ایجاد جزیره‌ها، بخشی از بار را تامین نمود و از خسارت به مشترکین و همچنین تبعات منفی اقتصادی و اجتماعی خاموشی‌های گسترده اجتناب نمود.

## نحوه انتشار دانش تحقیقاتی حاصله (مقاله، کتاب و سمینار): گزارش پایان نامه

### عکس پروژه (حداقل ۴ عکس از محصول و نتایج نهایی):

در این پروژه، مسئله مکان‌یابی بهینه واحدهای تولید پراکنده و کلیدهای جداکننده به صورت یک مسئله دوهدفه، مدل‌سازی و حل گردید. توابع هدف شامل کمینه‌سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری (هزینه‌های خرید، نصب، جابجایی و تعمیر و نگهداری کلیدها) و بیشینه‌سازی بارهای بازیابی شده شبکه می‌باشد. مدل پیشنهادی بر روی یک شبکه تست ۳۳ شینه و همچنین یک شبکه تست عملی واقع در استان خوزستان تحت سناریوهای مختلف اجرا و تحلیل گردید. به منظور در نظر گرفتن واقعیت‌های شبکه‌های عملی، الگوی مصرف برای دو دوره معتدل و گرم سال در نظر گرفته شد. از جمله نتایج حاصله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- با فرض مکان‌های کاندید ثابت برای نصب کلید و ضریب اهمیت یکسان برای بارهای بحرانی، با افزایش ضریب اهمیت بارهای بحرانی، بارهای بزرگتر در اولویت بازیابی قرار می‌گیرند و درصد بار بیشتری بازیابی می‌شود.
- با فرض ضریب اهمیت یکسان برای بارهای بحرانی و مکان‌های کاندید متغیر برای کلیدها، هر چه مکان‌های کاندید از بارهای بحرانی دورتر باشند، درصد بار کمتری بازیابی می‌شود. این در حالی است که بر اساس نتایج حاصله، هزینه سرمایه‌گذاری بیشتر شده است. به بیان دیگر با تعداد کلید بیشتر، درصد بار کمتری بازیابی شده است که نشان‌دهنده اهمیت تعیین مناسب مکان‌های کاندید می‌باشد.
- با فرض مکان‌های کاندید ثابت و ضریب اهمیت متفاوت برای بارهای بحرانی، ممکن است بعضی از بارهای بحرانی (حتی با درجه اهمیت بالا)، به دلیل فاصله از مکان‌های کاندید بازیابی نشوند.
- برای تأمین همه بارهای بحرانی، نیاز است که نقاط کاندید در مکان‌های مناسبی نسبت به بارها قرار داشته باشند. همچنین به ظرفیت بیشتری از تولیدات پراکنده نیاز می‌باشد و در این حالت، هزینه سرمایه‌گذاری نیز افزایش می‌یابد.
- در شبکه عملی با وجود گستردگی شبکه، به دلیل اینکه عمده بار شبکه، در قسمت انتهایی آن متمرکز شده است، در هر دو پاسخ پارتو، یک جزیره بزرگ در انتهای شبکه تشکیل شده است. با این حال به دلیل اینکه در چند گره ابتدایی شبکه، ۷ بار بحرانی با درجه اهمیت بالا وجود دارد، در پاسخ بهینه پارتوی دوم، یک جزیره نیز در ابتدای شبکه تشکیل شده است تا این بارها بازیابی شوند.