چکیده:

این پژوهش تحت عنوان «جایابی بهینه منابع تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم ایمنی مصنوعی و با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ» و در هفت فصل ارائه شده است.

با توجه به گسترش روزافزون استفاده از منابع تولید پراکنده در جهان، جایابی این منابع نیز مورد توجه محققین قرار گرفته است. در صورتی که نیروگاههای تولید پراکنده به صورت مناسب جایابی نشوند، ممکن است مشکلات بسیار پیچیده ای را ایجاد کنند. برای مثال می توان به افزایش ولتاژ در انتهای فیدر، عدم تعادل سمت تقاضا در حالت بروز خطا، کاهش کیفیت توان یا اعوجاج ولتاژ در سمت تقاضا، افزایش تلفات توان و کاهش سطح قابلیت اطمینان اشاره کرد.

راه حل قطعی ودقیق جایابی واحدهای تولید پراکنده از طریق یکایک شماری تمام ترکیبات ممکن مکانها و ظرفیتهای موجود این واحدها در شبکه بدست می آید.

از بسیاری از روشهای کلاسیک مانند روشهای گرادیان، برنامه نویسی خطی، برنامه نویسی غیر خطی درجه دوم و برنامه نویسی دینامیک برای حل مسائل بهینه سازی در سیستمهای قدرت در مراحل طراحی، بهره برداری و... استفاده شده است، ولی با توجه به پیچیدگی برخی مسائل، این روشها ممکن است قادر به یافتن راه حلهای بهینه مطلق نباشند. امروزه از روشهای هوش مصنوعی مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی تابو، الگوریتم جمعیت مورچه ها و... جهت حل مسائل بهینه سازی استفاده می شود.

در این پایان نامه از الگوریتمهای مبتنی بر ایمنی مصنوعی جهت جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و با دو هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ انجام شده است. با اعمال روش پیشنهادی بر روی شبکه نمونه سرعت همگرایی الگوریتم به خوبی آشکار می شود. نتایج نشان می دهد که جایابی بهینه منابع تولید پراکنده تاثیر بسزایی بر بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات خواهد داشت.

شایان ذکر است جایابی منابع تولید پراکنده با روش مبتنی بر سیستمهای ایمنی مصنوعی اولین بار در این تحقیق ارائه شده است.

واژگان کلیدی: منابع تولید پراکنده، جایابی بهینه، سیستمهای ایمنی مصنوعی، کاهش تلفات، پروفیل ولتاژ.

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق

گرایش قدرت

عنوان

جایابی بهینه منابع تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم ایمنی مصنوعی و با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ

استاد راهنما

دکترمحمد رضا آقاابراهیمی

استاد مشاور

دکتر سید حمید ظهیری

نگارش

میثم امیری

آذرماه ۸۸

کلیه مزایا اعم از چاپ، تکثیر، نسخه برداری، اقتباس و ... از پایان نامه کارشناسی ارشد برای دانشگاه بیرجند محفوظ می باشد. نقل مطالب با ذکر منابع بلامانع است.

تقدیم به:

پدر و مادرم

که همواره تکیه گاهم هستند

و همسرم

که آینده را بی او تصوری نیست.

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش خداوند بزرگ را که توفیق کسب علم را به من عطا فرمود.
بر خود لازم می دانم تا از زحمات استادان بزرگوارم جناب آقای دکتر محمدرضا آقاابراهیمی و جناب آقای دکتر سید حمید ظهیری که انجام این کار بدون زحمات ایشان امکان پذیر نبود سپاسگذاری نمایم.

فهرست مطالب صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مزایا ومعایب واحدهای تولید پراکنده ۳

فصل دوم: جایابی منابع تولید پراکنده ۵

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- معرفی مساله ۶

۲-۳- روشهای جایابی منابع تولید پراکنده ۷

۲-۳-۱- روشهای کلاسیک ۷

۲-۳-۲- روشهای مبتنی بر هوش مصنوعی ۱۷

۲-۳-۲-۱- بررسی روشهای مبتنی بر هوش مصنوعی ۱۷

۲-۳-۲-۱-۱- الگوریتم ژنتیک ۱۷

۲-۳-۲-۱-۲- الگوریتم جستجوی تابو ۱۹

۲-۳-۲-۱-۳- سرد شدن تدریجی فلزات ۲۰

۲-۳-۲-۱-۴- تئوری فازی ۲۱

۲-۳-۲-۱-۵- الگوریتم بهینه سازی تجمع ذرات ۲۳

۲-۳-۲-۲- بررسی مقالات مبتنی بر هوش مصنوعی ۲۴

۲-۴- نتیجه گیری ۴۷

فصل سوم: الگوریتم ایمنی مصنوعی ۴۸

۳-۱- مقدمه ۴۹

۳-۲- بررسی دلایل استفاده از سیستم ایمنی مصنوعی در محاسبات ۵۰

۳-۳- زیر بنای بیولوژیکی سیستم های ایمنی مصنوعی ۵۰

۳-۳-۱- تئوری انتخاب کلونی ۵۱

۳-۳-۲- انتخاب منفی ۵۱

۳-۳-۳- شبکه های ایمنی ۵۲

۳- ۴- خلاصه کوتاهی از سیستم های ایمنی مصنوعی ۵۲

۳- ۵ - مبانی سیستم های ایمنی مصنوعی ۵۳

۳-۵-۱- فضای شکل ۵۴

۳-۵-۲- الگوریتم های انتخاب کلونی ۵۷

۳-۵-۲-۱- الگوریتم ساده انتخاب کلونی ۵۷

۳-۵-۲-۲- الگوریتم سلول B ۵۸

۳-۵-۳- الگوریتم انتخاب منفی ۵۸

۳-۵-۴- پیشرفتهای تئوریک در سیستم های ایمنی مصنوعی ۵۹

فصل چهارم: یک رویکرد مستقیم برای پخش بار شبکه های توزیع ۶۱

۴-۱- مقدمه ۶۲
۴-۲- مدل خط سه فاز نامتعادل ۶۳
۴-۳- ارائه الگوریتم ۶۳
۴-۳-۱- معرفی ماتریس وابستگی (ارتباط) ۶۴
۴-۳-۲- معرفی ساختار فرمولاسیون ۶۶
۴-۳-۳- معرفی تکنیک حل مساله ۶۷
۴-۴- نحوه اعمال روش به شبکه های دارای بهم پیوستگی ضعیف ۶۷
۴-۴-۱- اصلاح ماتریس BIBC ۶۷
۴-۴-۲- اصلاح ماتریس BCBV ۶۹
۴-۴-۳- اصلاح تکنیک حل مساله ۷۰
فصل پنجم: معرفی الگوریتم ارائه شده و روش حل مساله ۷۱
۵-۱- مقدمه ۷۲
۵-۲- فرمول بندی مساله ۷۲
۵-۳- معرفی توابع هدف ۷۳
۵-۳-۱- حل مساله با هدف بهبود پروفیل ولتاژ ۷۳
۵-۳-۲- حل مساله با هدف کمینه کردن تلفات توان ۷۴
۵-۴- معرفی الگوریتم مبتنی بر سیستم های ایمنی مصنوعی ۷۵
۵-۴-۱- معرفی خصوصیات الگوریتم های ایمنی ۷۵
۵-۴-۱-۱- سیستم ایمنی ۷۵
۵-۴-۱-۲- معرفی نحوه ایجاد تنوع و محاسبات قرابت ۷۷
۵-۴-۱-۳- عملگرهای ژنتیکی ۷۸
۵-۴-۲- معرفی سیستم الگوریتم ایمنی به کار رفته در این تحقیق ۷۸
۵-۴-۲-۱- کدگذاری آنتی ژن ورودی ۸۰
۵-۴-۲-۲- فرمول بندی آنتی بادی ها ۸۰
۵-۴-۲-۳- محاسبه میزان قرابتها ۸۰
۵-۴-۲-۴- کنترل تولید آنتی بادی ها ۸۱
۵-۴-۲-۵- عملگرهای ژنتیکی ۸۱
۵-۴-۲-۶- سناریوهای تصمیم گیری ۸۱
فصل ششم: نتایج الگوریتم ارائه شده بر روی شبکه نمونه ۸۳
۶-۱- معرفی شبکه نمونه ۸۴
۶-۲- اعمال روش مورد نظر بر شبکه نمونه با هدف بهبود پروفیل ولتاژ ۸۵
۶-۲-۱- نتیجه گیری ۹۱
۶-۳- اعمال روش مورد نظر بر شبکه نمونه با هدف کمینه کردن تلفات توان ۹۱

۶-۳-۱- نتیجه گیری ۹۵
فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۶
۷-۱- مقدمه ۹۷
۷-۲- نتیجه گیری ۹۸
۷-۳- پیشنهادات ۹۸
منابع و مراجع ۹۹

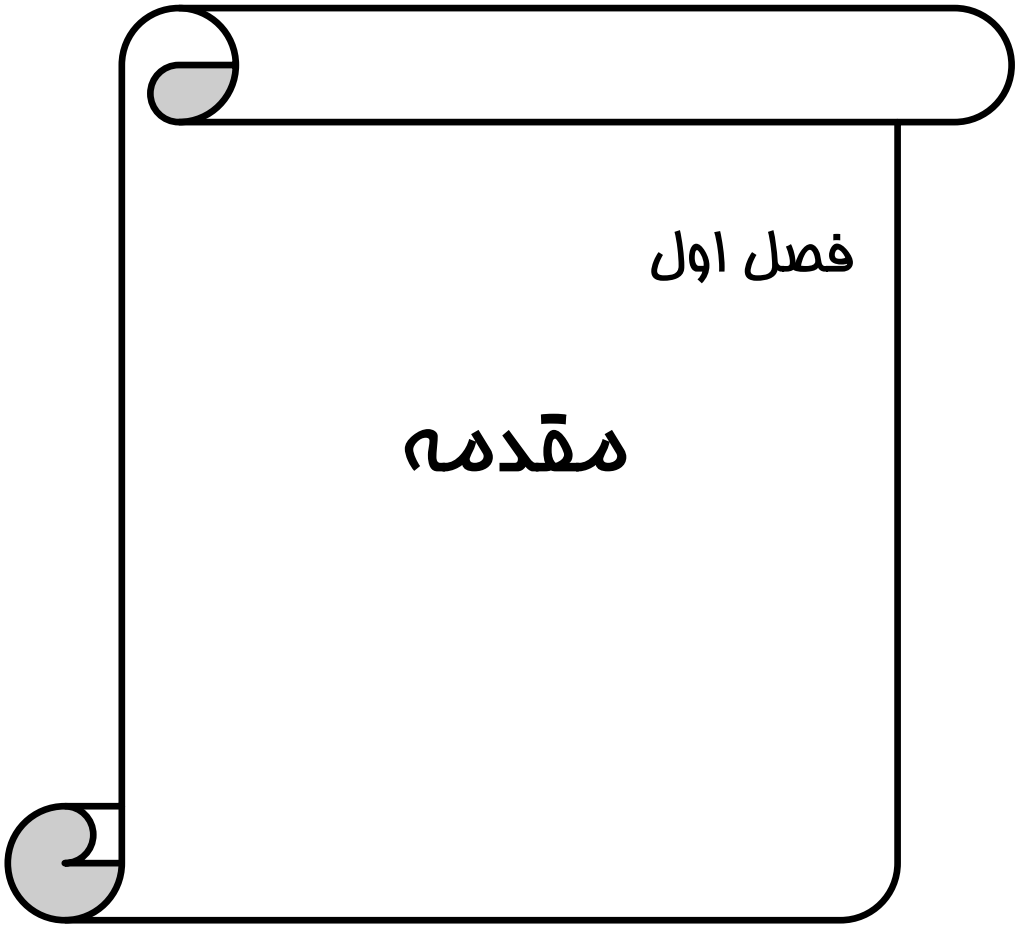
فهرست شکل ها

شکل(۲-۱)- نمودار سیلان توان در حالت بدون DG و حالتی که خروجی DG کمتر از بار پایین دست آن است.
شکل(۲-۲) - نمودار سیلان توان در حالتی که خروجی DG بیشتر از بار پایین دست آن است.
شکل(۲-۳) - نمونه ای از اعمال قاعده دوسوم در نصب DG
شکل(۲-۴) - عملگر برش
شکل(۲-۵) - عملگر جهش
شکل(۲-۶) - تابع عضویت رابطه (۱۵)
شکل(۲-۷) - اندازه های فازی قد افراد
شکل(۲-۸) - تابع عضویت قد افراد
شکل(۲-۹) - نمودار تلفات بر حسب اندازه DG (سمت راست) و مکان DG (سمت چپ)
شکل(۲-۱۰) - شکل مربوط به اعمال تئوری مجموعه ها
شکل(۲-۱۱) - تابع عضویت متریک PVD
شکل(۲-۱۲) - تابع عضویت متریک SCC
شکل(۲-۱۳) - تابع عضویت متریک PL
شکل(۲-۱۴) - تابع عضویت متریک C(P)
شکل(۳-۱) - یک روش لایه لایه برای گسترش یک AIS
شکل(۳-۲) - دو فضای شکل همینگ با حروف الفبای متفاوت
شکل(۳-۳) - ایده اصلی الگوریتم انتخاب منفی
شکل(۴-۱) – مدل یک سکشن خط سه فاز
شکل(۴-۲) – یک سیستم ساده توزیع
شکل(۴-۳) – یک سیستم ساده توزیع با یک حلقه
شکل(۵-۱) – شمای مکانیسم یک سیستم ایمنی
شکل (۵-۲) الگوریتم محاسباتی به کار رفته در این تحقیق
شکل (۶-۱)- شبکه نمونه مورد مطالعه
شکل (۶-۲)- مقایسه پروفیل ولتاژ در حالت پایه و پس از نصب یک واحد DG
شکل (۶-۳)- مقایسه پروفیل ولتاژ در حالت پایه، نصب یک واحد و دو واحد DG
شکل (۶-۴)- پروفیل ولتاژ پس از نصب سه واحد DG
شکل (۶-۵)- فرآیند همگرایی الگوریتم برای نصب یک واحد DG
شکل(۶-۶)- فرآیند همگرایی الگوریتم برای نصب دو واحد DG
شکل (۶-۷)- فرآیند همگرایی الگوریتم برای نصب سه واحد DG
شکل (۶-۸) فرآیند همگرایی الگوریتم برای جایابی یک واحد DG

شکل (۶-۹) فرایند همگرایی الگوریتم برای جایابی دو واحد DG
شکل (۶-۱۰) فرایند همگرایی الگوریتم برای جایابی سه واحد DG

فهرست جدول ها

جدول(۱-۱)- وضعیت فعلی و آینده منابع تولید پراکنده
جدول (۶-۱)- اطلاعات مربوط به خطوط شبکه مورد مطالعه
جدول (۶-۲)- اطلاعات مربوط به باسهای شبکه مورد مطالعه
جدول (۶-۳)- شرایط اولیه پروفیل ولتاژ شبکه مورد مطالعه
جدول (۶-۴)- مقایسه پروفیل ولتاژ در حالتهای مختلف
جدول (۶-۵) مقایسه تلفات توان در حالات مختلف بحث شده


فصل اول
مقدمه

فصل اول

مقدمه

به هر واحد نیروگاهی که در محل بار یا نزدیک به آن واقع شده باشد، منبع تولید پراکنده اطلاق می شود[۳]. از این واحدها می توان به صورت مستقل(جزیره ای) یا به صورت اتصال به شبکه استفاده کرد.

در حالت کلی می توان منابع تولید پراکنده را به دو دسته تجدید پذیر و تجدید ناپذیر تقسیم کرد. واحدهای تجدید ناپذیر شامل موتورهای رفت و برگشتی[۱]، توربینهای گازی، میکرو- توربین ها، سلولهای سوختی و ... می باشد. توربینهای بادی، واحدهای کوچک آبی[۲] ، واحدهای زیست توده[۳]، واحدهای خورشیدی، واحدهای زمین گرمایی و ... ، واحدهای تجدید پذیر را تشکیل می دهند.

در سالهای اخیر استفاده از منابع تولید پراکنده روند افزایشی قابل توجهی پیدا کرده است و پیش بینی می شود این روند در سالهای آینده سریعتر گردد. جدول زیر این موضوع را نشان می دهد[۲۶]:

جدول(۱-۱)- وضعیت فعلی و آینده منابع تولید پراکنده

سال	۲۰۰۰	۲۰۰۶	پیش بینی ۲۰۱۰
ظرفیت منصوبه و در حال نصب منابع تولید برق در جهان (GW)	۳۲۶۵	۳۶۵۰	۴۱۵۰
سیر افزایشی تولید انرژی برق در جهان (GW)	۱۱۱	۱۱۶	۱۲۱
سیر افزایشی منابع تولید پراکنده در جهان (GW)	۱۱	۲۵	۴۶
سهم تولید پراکنده	٪۹	٪۲۲	٪۳۸

سوالهایی که ممکن است در مورد نیروگاههای تولید پراکنده مطرح شود، به قرار زیر است:

۱- مزایا و معایب نصب این واحدها چیست؟

[۱] Reciprocating Engines
[۲] small-hydro energy
[۳] Biomass

۲- چگونه می توان محل نصب و ظرفیت مناسب این نیروگاهها را بدست آورد؟

در این فصل به پاسخ سوال اول می پردازیم و پاسخ سوال دوم در فصل بعد ارائه خواهد شد.

۱-۱- مزایا ومعایب واحدهای تولید پراکنده

دلایل اصلی استفاده از نیروگاههای تولید پراکنده را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- واحدهای تولید پراکنده به مشترکین نزدیکترند، بنابراین می توان با نصب این واحدها هزینه های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی را کاهش داد.
- فناوریهای جدید باعث شده است که امروزه واحدهایی با راندمان بالا و دارای تنوع ظرفیت از ۱۰KW تا ۱۵MW در دسترس باشد.
- یافتن محلهای مناسب جهت نصب این واحدها بسیار آسانتر از نیروگاههای با ظرفیت بالا است.
- در این واحدها می توان از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده کرد که با توجه به قیمت نسبتاً ثابت و در دسترس بودن آن در اکثر نقاط، بسیار مناسب است.
- معمولاً زمان نصب این واحدها کوتاه است و ریسک سرمایه گذاری نیز پایین است.
- راندمان این واحدها نسبتاً مناسب است.
- بر خلاف هزینه های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، هزینه های این واحدها رو به کاهش است، بنابراین صرفه اقتصادی در نصب این واحدها است.
- با به کارگیری این واحدها با توجه به تکثر انواع این واحدها و تولید کنندگان آنها، می توان قابلیت اطمینان مناسب را با توجه به هزینه بدست آورد.
- می توان از این واحدها به عنوان سیستم پشتیبان در زمان خروج واحد اصلی برای تجهیزاتی که باید دائماً به شبکه متصل باشند بهره برد.
- می توان از این واحدها برای کنترل توان راکتیو بهره برد.
- از واحدهای تولید پراکنده می توان برای تامین بار پایه سیستم، بار اضطراری و کاهش بار پیک سیستم استفاده کرد. در این موارد استفاده از این واحدها بسیار اقتصادی است.

- ورود و خروج این واحدها به سیستم آسانتر از واحدهای بزرگ تولید است.
- چون با نصب این واحدها تمرکز تولید کاهش می یابد، امکان فعالیتهای تروریستی برای تخریب کمتر است.
- امکان جابجایی واحدهای کوچک تولید پراکنده وجود دارد.

در این قسمت به برخی از معایب استفاده از نیروگاههای تولید پراکنده اشاره شده است:

- نصب اینگونه واحدها اغلب باعث کاهش میزان افت ولتاژ در طول فیدر می شود، اما ممکن است باعث افزایش ولتاژ در برخی نقاط شبکه و فراتر رفتن این ولتاژها از میزان مجاز گردد.
- اتصال هر واحد باعث افزایش سطح خطا در محل اتصال به شبکه می شود که این سطح ممکن است فراتر از ظرفیت شبکه باشد.
- اگر از اینورترها و سایر تجهیزات الکترونیک قدرت در این واحدها استفاده شود، به علت بالا بودن میزان کلید زنی در این تجهیزات، نصب واحدهای تولید پراکنده باعث افزایش هارمونیکها در شبکه خواهد شد.
- با افزایش میزان استفاده از این واحدها مدیریت بهره برداری از آنها مشکلتر می شود و این بدان معنی است که میزان تولید هر واحد باید برنامه ریزی شود که این موضوع باعث افزایش هزینه سیستمهای کنترلی خواهد شد.
- با توجه به اینکه در سیستمهای توزیع (شعاعی) جهت جریان همواره ثابت و از سمت پست توزیع به مصرف کننده است و این جریان دائماً در حال کاهش است، با نصب نیروگاههای تولید پراکنده ممکن است این موارد دستخوش تغییر شود، که باعث پیچیده تر شدن مطالعات هماهنگی حفاظتی خواهد شد.

با توجه به کاربرد گسترده واحدهای تولید پراکنده، مسائل مختلف مربوط به این واحدها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. یکی از این مسائل جایابی بهینه این واحدها می باشد که در فصل بعد به آن خواهیم پرداخت.

فصل دوم

جایابی منابع تولید پراکنده

فصل دوم

جایابی منابع تولید پراکنده

۲-۱- مقدمه

در صورتی که نیروگاههای تولید پراکنده به صورت مناسب جایابی نشوند، ممکن است مشکلات بسیار پیچیده ای را ایجاد کنند. برای مثال می توان به افزایش ولتاژ در انتهای فیدر، عدم تعادل سمت تقاضا در حالت بروز خطا، کاهش کیفیت توان یا اعوجاج ولتاژ در سمت تقاضا، افزایش تلفات توان و کاهش سطح قابلیت اطمینان اشاره کرد.

راه حل قطعی ودقیق جایابی واحدهای تولید پراکنده از طریق یکایک شماری تمام ترکیبات ممکن مکانها و ظرفیتهای موجود این واحدها در شبکه بدست می آید.

از بسیاری از روشهای کلاسیک مانند روشهای گرادیان، برنامه نویسی خطی، برنامه نویسی غیر خطی درجه دوم و برنامه نویسی دینامیک برای حل مسائل بهینه سازی در سیستمهای قدرت در مراحل طراحی، بهره برداری و... استفاده شده است، ولی با توجه به پیچیدگی برخی مسائل، این روشها ممکن است قادر به یافتن راه حلهای بهینه مطلق نباشند.

امروزه از روشهای هوش مصنوعی مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی تابو، الگوریتم جمعیت مورچه ها و... جهت حل مسائل بهینه سازی استفاده می شود.

در این فصل مروری بر فعالیتهای انجام شده در زمینه جایابی نیروگاههای تولید پراکنده انجام شده است. لازم به تذکر است که هیچ تلاشی در جهت اثبات یا رد روشهای ارائه شده و مقایسه آنها از طرف نویسنده انجام نخواهد شد.

۲-۲- معرفی مساله

به طور کلی حل مساله جایابی نیروگاههای تولید پراکنده عبارت از معین کردن تعداد، مکان و ظرفیت بهینه این واحدها جهت نصب در شبکه مورد مطالعه، با هدف بیشینه کردن صرفه جویی در هزینه ها یا اهدافی از این قبیل و با در نظر گرفتن قیود مشخص شده می باشد.

با توجه به پیچیدگی مسأله در برخی از تحقیقات انجام شده ساده سازیهایی فرض شده است که در ذیل به برخی از آنها اشاره می شود:

- بار هر سکشن از خط به صورت یکنواخت در آن سکشن توزیع شده است، این بار متعادل بوده و جریان بار ثابت است.
- ضریب قدرت بار سکشن برابر با یک است.
- مکانهای نامزد جهت نصب واحدهای تولید پراکنده در هر سکشن فیدر مشخص است.
- ظرفیت این واحدها از میان تعداد مشخص ظرفیت استاندارد و معین انتخاب می گردد.
- در یک محل نامزد نصب، تنها می توان یک واحد را نصب کرد.
- حداکثر تعداد مجاز واحدها جهت نصب در شبکه مشخص است.
- حداکثر ظرفیت قابل نصب مشخص است.

برای حل این مساله جایابی می توان قیود زیر به عنوان نمونه معرفی کرد:

- حد بالا و حد پایین دامنه ولتاژ نقاط شبکه
- ظرفیت مجاز خطوط شبکه و...

تابع هدف نیز ممکن است در مساله بهینه سازی جایابی نیروگاههای تولید پراکنده متفاوت باشد، برای مثال می توان به حداقل کردن تلفات، بهینه کردن پروفیل ولتاژ، بهینه کردن اندیسهای قابلیت اطمینان و... اشاره کرد.

۲-۳- روشهای جایابی منابع تولید پراکنده

می توان روشهای جایابی نیروگاههای تولید پراکنده را که تا به حال ارائه شده است در دو گروه عمده روشهای کلاسیک (عددی و تحلیلی) و روشهای مبتنی بر هوش مصنوعی دسته بندی کرد. در این قسمت به بررسی این روشها می پردازیم.

۲-۳-۱- روشهای کلاسیک

در این بخش به بررسی مقالاتی که در آنها از روشهای کلاسیک (عددی و تحلیلی) جهت حل مساله جایابی مورد نظر استفاده شده است، می پردازیم.

در مقالات [۱]،[۳]،[۹]،[۱۰]،[۱۶]، [۲۰] و[۲۵]، روشهای کلاسیک مورد استفاده قرار گرفته است. درذیل به بررسی این مقالات می پردازیم.

در مقاله [۱] ، هدف مینیمم کردن تلفات توان اکتیو و راکتیو و بارگیری خطوط شبکه می باشد. در این مقاله فرض شده است که محلهای نامزد جهت نصب خازن مشخص است. دو روش زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

۱- روش گرادیان:

در این روش پاسخ پیش فرض مشخص می شود و ضرایب لاگرانژ برای آن محاسبه می شود، این ضرایب برای محلهای مختلف با هم مقایسه می شود و این روند تا یافتن بهترین جواب ادامه می یابد.

۲- روش معادلات درجه دوم:

در این روش نیز پاسخ اولیه مشخص می شود و ماتریس $Hessian$ برای آن محاسبه می شود، این ماتریسها برای محلهای مختلف با هم مقایسه می شوند و این روند تا یافتن بهترین جواب ادامه می یابد.

با بررسی مثالهای مختلف می توان نشان داد که روش گرادیان در برخی از شرایط از قبیل کم بودن میزان ظرفیت واحدهای تولید پراکنده، همگرا نخواهد شد.

روشهای فوق با روشهای مورد استفاده در پخش بار بهینه اقتصادی قابل مقایسه اند، با این تفاوت که در پخش بار اقتصادی به دلیل متفاوت بودن هزینه تولید واحدهای مختلف، ممکن است جواب بدست آمده از نظر کاهش تلفات یا سایر توابع هدف بهینه مطلق نباشد.

برای بررسی روشهای فوق از یک سیستم نمونه ۶ باسه استفاده شده و نتایج ارائه شده است.

مقاله [۳]، نیز از یک روش تحلیلی با تقریبهای خاصی بهره برده است. در این مقاله تلفات سیستم توزیع و انتقال و آزادسازی ظرفیت تجهیزات مدنظر قرار داده شده است. روش ارائه شده تلفات سیستم را در ساعات اوج مصرف (انتقال توان بالا)، کمینه می کند.

ضمناً، تنها سیلان توان اکتیو مورد نظر است، پس می توان تلفات سیستم را به صورت زیر مدل کرد:

$$P_L = \sum_{i=1}^{n} P_{G_i} - \sum_{i=1}^{n} P_{D_i} \qquad (۱-۲)$$

که در آن، P_L تلفات کل سیستم، P_{G_i} میزان تولید شین iام و P_{D_i} میزان بار شین iام است.

برای سادگی محاسبات تلفات از یک تقریب استفاده شده است، بدین صورت که تلفات به صورت روابط درجه دوم با ضرایب خاص که از روی حالت پایه سیستم بدست می آیند، تقریب زده شده است. این ضرایب از خطی سازی معادلات پخش بار در نقطه کار سیستم بدست می آید. برای هر حالت نصب ضرایب مجدداً بدست می آید و تلفات محاسبه می شود.

به طور خلاصه مراحل زیر برای جایابی بهینه انجام می شود:

۱- انجام پخش بار و بدست آوردن شرایط اولیه سیستم در حالت بار پیک.

۲- انتخاب مکانهایی از سیستم که دارای تلفات بالایی هستند.

۳- محاسبه تلفات سیستم برای هر مکان جدید.

۴- مرتب کردن گزینه ها به ترتیب اولویت تلفات.

۵- تا زمان رسیدن به میزان بیشینه مجاز ظرفیت نصب، یا رو به افزایش نهادن تلفات این روند ادامه می یابد.

۶- همین روند برای رژیم زمستان هم انجام می شود و مقایسه ای صورت می گیرد تا در این رژیم هم تلفات مینیمم باشد.

این مطالعه برای سیستم انتقال انجام شده است اما برای سیستم توزیع هم تعمیم داده می شود. برای این مورد بار شبکه توزیع به دو صورت فرض شده است:

- پخش یکنواخت بار در طول سکشن.
- توزیع بار به صورت افزایشی از ابتدا به سمت انتهای فیدر با آهنگ یکنواخت.

برای این دو حالت رابطه تلفات نوشته شده است و با مشتقگیری از آن محل بهینه نصب بدست آمده است.

در مقاله [۹]، فرضیات زیر لحاظ شده است:

- خطوط با پارامترهای توزیع شده فرض شده اند و از ادمیتانس موازی خط صرف نظر شده است.
- بارها در طول خط با چگالی فازور جریان[۱] $I_d(x)$، توزیع شده است.

[۱] Phasor Current Density