

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد - مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

جایابی و مقدار یابی بهینه منابع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و بهبود فلش‌های ولتاژی

سید مصطفی فراش‌باشی آستانه

استاد راهنما:

دکتر علی دستفان

استاد مشاور:

دکتر مهدی بانژاد

زمستان ۱۳۸۸

تقدیم به:

روح مادرم که یادش همیشه در دلم زنده است

تشکر و قدردانی

وظیفه خود می‌دانم از استاد راهنمای خود جناب آقای دکتر علی دستفان که در سایه رهنمودهای گرانقدر ایشان توانستم این دوره را سپری نمایم، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. امیدوارم بتوانم ویژگی‌های زیبای ایشان همچون مهربانی و صبوری را سرلوحه زندگی خویش قرار دهم. همچنین از مشاوره ارزنده و بسیار مفید جناب آقای دکتر مهدی بانژاد در طول انجام این پایان نامه تشکر و قدردانی می‌کنم.

از محضر اساتید محترم دکتر طوسی‌ان شاندیز و دکتر دارابی که با وجود مشغله فراوان، داوری پایان نامه اینجانب را پذیرفته و ضمن حضور در جلسه دفاعیه با سئوالات روشنگر خود مرا راهنمایی نمودند سپاسگزارم.

و من الله التوفیق

چکیده

روند رو به رشد بهره‌برداری از واحدهای تولید پراکنده با توجه به مزایای زیاد استفاده از آن باعث شده است که برنامه‌ریزان صنعت برق در کشورهای مختلف جهان با رویکردهای متفاوتی جنبه‌های مختلف بهره‌برداری هر چه مناسب‌تر از سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در این زمینه را مورد مطالعه قرار دهند. کاهش هر چه بیشتر هزینه‌های تحمیل شده بر تأمین‌کننده انرژی الکتریکی و همچنین مشترکین از مهمترین موضوعات مورد بحث در این زمینه می‌باشد. در این میان مقولاتی همچون کاهش تلفات به عنوان یک سهم بزرگ در هزینه‌های بهره‌برداری و بهبود کیفی پروفایل ولتاژ و فلش‌های ولتاژی به عنوان دو مولفه اصلی در کیفیت توان تحویلی به مشترک، به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر هزینه‌های تحمیل شده بر شرکت‌های برق و مشترکین تأثیر گذار می‌باشند. در این پژوهش از الگوریتم تکاملی ژنتیک به منظور جاییابی و مقداربایی منابع تولید پراکنده برای کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و بهبود فلش‌های ولتاژی در باس‌هایی که بارهای حساس به ولتاژ به آن‌ها متصل می‌باشند استفاده شده است. به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی ابتدا یک فیدر ۲۰kV واقعی نمونه که به صورت یک شبکه ۳۲ باسه مدل شده است معرفی شده، سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک مکان و سایز بهینه برای استفاده از مولدهای تولید پراکنده به منظور تأمین حدود ۳۰٪ بار فیدر مشخص شده است. تابع هدف مورد نظر از سه بخش تشکیل شده است که با ضرایب مشخص اهداف کاهش تلفات بهبود پروفایل ولتاژ و همچنین بهبود فلش‌های ولتاژی را دنبال می‌کنند. برای مشخص شدن زیر تابع مربوط به فلش ولتاژی در ۵ باس از مجموع ۳۲ باس شبکه مورد مطالعه که طبق بررسی‌های صورت گرفته نقاط پرحادثه بوده‌اند ولتاژ در حد اتصال کوتاه در نظر گرفته شده است و با اجرای برنامه پخش بار در حضور منابع تولید پراکنده اندازه دامنه موثر ولتاژ در باس‌های حساس بررسی شده است. کاهش حداکثری تلفات، تأثیر بهبودی بر پروفایل ولتاژ در تمامی باس‌های شبکه مورد مطالعه و پشتیبانی ولتاژ در باس‌های حساس، مبنای ارزشیابی در الگوریتم بهینه‌سازی قرار می‌گیرد.

لیست مقالات مستخرج:

۱- S.M Farashbashi-Astaneh, Ali dastfan, "Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation for Loss Reduction, Voltage Profile Improvement and Sag Mitigation", ICREPQ^{۲۰۰۹}, Granada, Spain.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه
۱ مقدمه.....	۱
۲ تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع.....	۵
۱-۲ مقدمه.....	۶
۲-۲ تعریف تولید پراکنده.....	۷
۳-۲ دلایل روآوردن برنامه ریزان صنعت برق به تولید پراکنده.....	۸
۴-۲ ظرفیت و مکان تولید پراکنده.....	۹
۵-۲ کاربرد های تولید پراکنده در سیستم قدرت.....	۱۰
۱-۵-۲ پشتیبانی ظرفیت شبکه.....	۱۰
۲-۵-۲ پشتیبانی ظرفیت اضطراری شبکه.....	۱۱
۳-۵-۲ تعادل پخش بار.....	۱۱
۴-۵-۲ پشتیبانی ولتاژ شبکه.....	۱۱
۵-۵-۲ کاهش تلفات.....	۱۲
۶-۵-۲ ذخیره چرخان و غیر چرخان.....	۱۲
۷-۵-۲ کار در پیک بار.....	۱۳
۸-۵-۲ تولید همزمان گرما و برق.....	۱۳
۹-۵-۲ کاربرد های دوردست ومحلی.....	۱۴
۶-۲ معضلات و موانع تولید پراکنده.....	۱۴
۷-۲ انواع منابع تولید پراکنده.....	۱۴
۱-۷-۲ انرژی بادی.....	۱۴
۲-۷-۲ انرژی خورشیدی.....	۱۵
۳-۷-۲ انرژی زمین گرمایی.....	۱۷
۴-۷-۲ میکروتوربین ها.....	۱۸
۵-۷-۲ توربین های احتراقی.....	۱۸
۶-۷-۲ پیل های سوختی.....	۱۸
۸-۲ جایابی منابع تولید پراکنده.....	۲۰
۱-۸-۲ مدل سازی منابع تولید پراکنده.....	۲۱
۲-۸-۲ تابع هدف مسئله.....	۲۲

۲۴.....	۹-۲ تاثیر تولید پراکنده بر کاهش شبکه های توزیع.....	
۲۷.....	۹-۲-۱ کاهش تلفات در حضور توزیع های مختلف بار.....	
۲۸.....	۱۰-۲ تاثیر تولید پراکنده بر کیفیت توان الکتریکی.....	
۲۸.....	۲-۱۰-۱ پروفایل ولتاژ.....	
۳۰.....	۲-۱۰-۲ عدم تعادل ولتاژ.....	
۳۰.....	۲-۱۰-۳ فلیکر.....	
۳۰.....	۲-۱۰-۴ فلش ولتاژ.....	
۳۸.....	۲-۱۰-۵ تاثیر نوع ژنراتور تولید پراکنده.....	
۳۹.....	۲-۱۰-۶ پایداری استاتیکی ولتاژ شبکه های توزیع در حضور DG.....	
۴۱.....	الگوریتم ژنتیک.....	۳
۴۲.....	۳-۱ مقدمه.....	
۴۳.....	۳-۲ الگوریتم ژنتیک.....	
۴۴.....	۳-۲-۱ تاریخچه الگوریتم ژنتیک.....	
۴۶.....	۳-۲-۲ مفاهیم پایه.....	
۴۸.....	۳-۲-۳ فضای جستجو.....	
۴۹.....	۳-۲-۴ روش کار در GA.....	
۵۱.....	۳-۲-۵ کدگذاری.....	
۵۱.....	۳-۲-۶ عملگر های GA.....	
۵۸.....	۳-۲-۷ مراحل اجرای الگوریتم.....	
۵۸.....	۳-۲-۸ شرط توقف الگوریتم.....	
۵۸.....	الگوریتم پیشنهادی و پیاده سازی آن بر روی یک شبکه نمونه.....	۴
۵۹.....	۴-۱ توابع برازندگی.....	
۵۹.....	تابع برازندگی تلفات.....	
۶۰.....	تابع برازندگی پروفایل ولتاژ.....	
۶۲.....	تابع برازندگی بهبود فلش ولتاژی.....	
۶۳.....	تابع هدف کلی.....	
۶۳.....	۴-۲ چهار چوب کلی اجرای الگوریتم پیشنهادی.....	
۶۵.....	۴-۳ شبکه مورد مطالعه.....	

۴-۴	الگوریتم پخش بار بکار رفته	۶۵
۵-۴	پیاده سازی الگوریتم ژنتیک بر مسئله پیش رو	۷۳
۴-۵-۱	پیاده سازی پله به پله	۷۳
۵	جایابی و مقدار یابی بهینه	۷۵
۱-۵	مقدمه	۷۵
۲-۵	کاهش تلفات	۷۵
۳-۵	بهبود پرو فایل ولتاژ	۷۸
۴-۵	کاهش تاثیرات فلش های ولتاژی در باس های حساس	۸۱
۵-۵	اهداف کاهش تلفات، بهبود پرو فایل ولتاژ و بهبود فلش های ولتاژی	۸۴
۶	نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد	۹۰
۱-۶	نتیجه گیری	۹۱
۲-۶	پیشنهاد	۹۲

فهرست شکل‌ها

عنوان.....	صفحه
شکل ۱-۲ امکان نصب DG در نواحی مختلف.....	۱۰
شکل ۲-۲ شش دسته کلی برنامه های مدیریت مصرف.....	۱۳
شکل ۳-۲ یک شبکه شعاعی با بار توزیع شده در طول خط.....	۲۵
شکل ۴-۲ پروفایل ولتاژ قبل و بعد از اضافه نمودن واحد طول پراکنده.....	۳۰
شکل ۵-۲ تغییرات زیاد توان خروجی در یک توربین خروجی.....	۳۱
شکل ۶-۲ تأثیر یک اتصال کوتاه سه فاز بر روی شبکه شعاعی.....	۳۱
شکل ۷-۲ اندیس انتشار فرورفتگی ولتاژ در آرایش های متفاوت شبکه.....	۳۴
شکل ۸-۲ یک شبکه توزیع نمونه.....	۳۵
شکل ۹-۲ مقایسه پروفایل ولتاژ در حالات استفاده از ژنراتورهای سنکرون و آسنکرون.....	۳۶
شکل ۱۰-۲ مقایسه پایداری استاتیکی ولتاژ در شبکه نمونه معرفی شده در حالت معمولی و استفاده از DG.....	۳۶
شکل ۱۱-۲ مقایسه پایداری استاتیکی ولتاژ در شبکه نمونه معرفی شده در حالت معمولی و استفاده از DG.....	۳۷
شکل ۱-۳ فلوچارت ساده عملکرد الگوریتم ژنتیک.....	۴۴
شکل ۱-۴ نمودار تک خطی شبکه مورد مطالعه.....	۶۲
شکل ۲-۴ فلوچارت الگوریتم برنامه پخش بار.....	۶۶
شکل ۱-۵ مقایسه پروفایل ولتاژ در حالت دنبال نمودن هدف کاهش تلفات.....	۷۱
شکل ۲-۵ بهترین برازندگی تابع هدف دنبال شده در هر نسل از الگوریتم ژنتیک.....	۷۲
شکل ۳-۵ بدترین برازندگی تابع هدف دنبال شده در هر نسل از الگوریتم ژنتیک.....	۷۳
شکل ۴-۵ مقایسه پروفایل ولتاژ در حالت دنبال نمودن هدف بهبود پروفایل ولتاژ.....	۷۴
شکل ۵-۵ بهترین برازندگی تابع هدف دنبال شده در هر نسل از الگوریتم ژنتیک.....	۷۵
شکل ۶-۵ بدترین برازندگی تابع هدف دنبال شده در هر نسل از الگوریتم ژنتیک.....	۷۶
شکل ۷-۵ بهبود پروفایل ولتاژ در باس حساس ۱۳ در دو حالت.....	۷۷
شکل ۸-۵ بهبود پروفایل ولتاژ در باس حساس ۲۴ در دو حالت.....	۷۸
شکل ۹-۵ مقایسه پروفایل ولتاژ در حالت دنبال نمودن تمامی اهداف.....	۷۹
شکل ۱۰-۵ بهترین برازندگی در هر نسل از الگوریتم ژنتیک.....	۸۰
شکل ۱۱-۵ بدترین برازندگی در هر نسل از الگوریتم ژنتیک.....	۸۰
شکل ۱۲-۵ بهبود پروفایل ولتاژ در باس ۱۳ (یکی از دو باس حساس شبکه مورد مطالعه).....	۸۱
شکل ۱۳-۵ بهبود پروفایل ولتاژ در باس ۲۴ (یکی از دو باس حساس شبکه مورد مطالعه).....	۸۱
شکل ۱۴-۵ مقایسه میزان تلفات در دو حالت.....	۸۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ تعریف تولید پراکنده در کشورهای مختلف	۷
جدول ۲-۲ مزایا و معایب استفاده از باد در تولید انرژی الکتریکی	۱۵
جدول ۳-۲ مزایا و معایب استفاده از انرژی الکتریکی	۱۶
جدول ۴-۲ مزایا و معایب تولید انرژی الکتریکی به روش زمین گرمایی	۱۷
جدول ۵-۲ مشخصات پیل های سوختی	۱۹
جدول ۶-۲ مقایسه انواع سیستم های تولید پراکنده	۲۰
جدول ۷-۲ مکان بهینه نصب واحد های تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات در سه آرایش مختلف	۲۹
جدول ۸-۲ تقسیم بندی بر حسب سطوح و لتاژ	۳۳
جدول ۱-۴ بار در باس های شبکه مورد مطالعه	۵۹
جدول ۲-۴ اطلاعات خطوط شبکه مورد مطالعه	۶۰
جدول ۱-۵ مکان و ظرفیت پیشنهادی با هدف کاهش تلفات	۷۱
جدول ۲-۵ مکان و ظرفیت پیشنهادی با هدف کاهش تلفات	۷۴
جدول ۳-۵ مقادیر ماکزیمم و مینیمم توابع هدف	۷۸
جدول ۴-۵ مکان و ظرفیت پیشنهادی در حالت دنبال نمودن هر سه هدف یاد شده	۷۸
جدول ۵-۵ مقایسه اندیس تعریف شده در دو حالت با و بدون منبع تولید پراکنده	۷۸

فصل اول

مقدمه

روند رو به رشد مصرف انرژی الکتریکی در کشورهای مختلف جهان، برنامه‌ریزی توسعه واحدهای نیروگاهی را با چالش‌های جدیدی مواجه ساخته است. حجم بالای سرمایه‌گذاری در طرح‌های توسعه تولید و انتقال نیرو موجب شده است که استفاده از روش‌های جدید حل مسئله در برنامه‌ریزی توسعه تولید اجتناب ناپذیر به نظر برسد.

از طرفی مزایای زیاد استفاده از واحدهای تولید پراکنده و روند رو به رشد بهره‌برداری از این واحدها باعث شده است که برنامه‌ریزان صنعت برق با رویکردهای متفاوتی جنبه‌های متفاوت بهره‌برداری هر چه مناسب‌تر از سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در این زمینه را مورد بررسی قرار دهند. در این میان کاهش هر چه بیشتر هزینه‌های تحمیل شده بر تامین‌کننده انرژی الکتریکی و همچنین مشترکین از مهمترین موضوعات مورد بحث می‌باشد.

در این میان مقوله ای همچون کاهش تلفات سهم عمده‌ای از هزینه‌های بهره‌برداری را به خصوص در شبکه‌های توزیع به خود اختصاص می‌دهد. بر پایه بررسی‌های انجام گرفته، استفاده از واحدهای تولید پراکنده در توزیع‌های مختلف بار (توزیع بار یکنواخت، توزیع بار افزایشی، توزیع بار مرکزی) می‌تواند تا ۸۵٪ تلفات شبکه‌های توزیع را کاهش دهد [۱]. نزدیک شدن مراکز تولید به مراکز مصرف مهمترین دلیل برای کاهش قابل توجه تلفات در این نوع از انواع سناریوی تولید می‌باشد. همچنین با افزایش روزافزون استفاده از تجهیزات حساس به ولتاژ و اهمیت پیدا کردن مسئله کیفیت توان، بهبود پروفایل ولتاژ و همچنین کاهش فلش‌های ولتاژی ناشی از وقوع اتفاقات در شبکه می‌تواند به صورت مستقیم و غیرمستقیم هزینه‌های تحمیل شده بر شرکت‌های برق و مشترکین را افزایش دهد. در این پژوهش ابتدا توابع هدف مناسبی جهت پیگیری اهداف کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و همچنین کاهش تاثیر وقوع فلش‌های ولتاژی بر باس‌هایی که بارهای حساس به ولتاژ را تغذیه می‌کنند، ارائه شده است. سپس با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک از این توابع هدف با ضرایب مناسب برای بدست آوردن جواب‌های بهینه استفاده شده است. ماکزیم نمودن پشتیبانی ولتاژ در باس‌های حساس به ولتاژ و همچنین جلوگیری از انتشار فلش‌های ولتاژی

دو تابع هدفی بوده است که به منظور بیشینه کردن کیفیت توان تحویلی به مشترکین با بهره - جویی از تولید پراکنده استفاده شده است. برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی یک فیدر واقعی که به صورت یک شبکه ۳۲ باسه مدل شده است معرفی شده، سپس با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی مکان و سایز بهینه برای استفاده از مولدهای تولید پراکنده به منظور تامین حدود ۳۰٪ بار فیدر مشخص می‌شود. تابع هدف مورد نظر از سه بخش تشکیل شده است که با ضرایب مشخص اهداف کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و همچنین بهبود فلش‌های ولتاژی را دنبال می‌کند. برای مشخص شدن زیر تابع مربوط به فلش ولتاژی در ۴ باس از مجموع ۳۲ باس شبکه مورد مطالعه، که طبق بررسی‌های صورت گرفته نقاط پرحادثه بوده اند، ولتاژ در حد اتصال کوتاه در نظر گرفته شده است و با اجرای برنامه پخش بار در حضور منابع تولید پراکنده اندازه دامنه موثر ولتاژ در باس‌هایی که مطلوبیت ولتاژ از اهمیت بیشتری برخوردار است بررسی شده است. تاثیر بهبودی بر پروفایل ولتاژ در باس‌های حساس به ولتاژ مبنای ارزش یابی در الگوریتم بهینه‌سازی قرار می‌گیرد.

به دلیل بالا بودن نسبت R/X در شبکه توزیع مورد مطالعه، که نتیجه فرسودگی آن می‌باشد، روش-های پخش بار نیوتن-رافسون^۱ و همچنین FDLF^۲ منجر به جواب‌های قابل اطمینانی نمی‌شود [۲]. به همین دلیل در این پژوهش از یک پخش بار مخصوص شبکه‌های توزیع استفاده شده است. این الگوریتم پخش بار که بر اساس ماتریس ادمیتانس کار می‌کند علاوه بر ارائه جواب‌های قابل اطمینان از سرعت مناسبی نیز برخوردار است.

ساختار گزارش پیش‌رو به شرح ذیل می‌باشد: در فصل دوم ضمن مرور بر مطالعات انجام شده در زمینه مورد بحث، مروری بر مقولات تولید پراکنده و کیفیت توان می‌شود. در فصل سوم ضمن معرفی الگوریتم به کار رفته و بیان چگونگی پیاده‌سازی آن بر روی مسئله موجود اهداف مسئله فرموله می‌شود. در فصل چهارم الگوریتم پخش بار بکار رفته معرفی می‌شود. در فصل پنجم پس از

^۱ - Newton-Raphson

^۲ - Fast Decoupled Load Flow

معرفی شبکه مورد مطالعه، نتایج بوسیله جداول و نمودارها نمایش داده می‌شود. سرانجام در فصل ششم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات می‌پردازیم.

فصل دوم

تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع

۲-۱ مقدمه

با تغییر و پیشرفت روز افزون صنعت برق تحولات عمده‌ای در آن رخ می‌دهد که تحت عنوان کلی تجدید ساختار^۱ صنعت برق مطرح می‌گردند، تغییراتی که روش تعامل با بازار انرژی را تغییر می‌دهد. بخشی از این تحول اجتناب ناپذیر که در بخش تولید توان انجام می‌شود، تکنولوژی تولید پراکنده^۲ (DG) است. تولیدات پراکنده منابع تولید انرژی الکتریکی هستند که به شبکه توزیع متصل می‌گردند. این منابع در مقایسه با ژنراتورهای بزرگ و نیروگاهها، حجم و ظرفیت تولیدی کمتری داشته و با هزینه پایین‌تری راه‌اندازی می‌شوند. بر اساس تعاریف صورت گرفته، هدف اصلی از بکارگیری واحدهای تولید پراکنده تأمین توان اکتیو در شبکه می‌باشد. البته برخی از واحدهای تولید پراکنده قادر به تولید توان راکتیو نیز می‌باشند و بخشی از توان راکتیو بارها را نیز تأمین می‌نمایند. در نتیجه اتصال این تولیدات به شبکه‌های توزیع منافع زیادی به دنبال دارد. از جمله مواردی که استفاده از واحدهای تولید پراکنده را مورد توجه قرار می‌دهد می‌توان به مسائلی نظیر اقتصاد توسعه نیروگاهها، کاهش آلودگی محیط زیست، بالا بودن بازدهی این منابع در تولید برق نسبت به نیروگاههای معمولی، بالا بردن کیفیت برق‌رسانی به مشترکین، کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع، آزادسازی ظرفیت شبکه و بسیاری موارد دیگر اشاره نمود[۳].

البته این نکته لازم به ذکر است که اصولاً تولید به شکل پراکنده اولین شکل تولید انرژی الکتریکی بوده است که بعدها با تشکیل شبکه‌ها و اتصال آنها به یکدیگر نقش پررنگ گذشته خود را از دست داد. ولی مجدداً با توجه به مزایا و کاربردهایی که به آنها اشاره شد به سرعت در حال ایفای نقش‌های جدیدتری در سیستم قدرت شده است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که تولید پراکنده در واقع یک نقش اساسی در تهیه نیازهای انرژی الکتریکی آینده جهان ایفا خواهد کرد. مطالعه EPRI^۳ نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۱۰ میلادی حدود ۲۵٪ از تولید برق جهان به صورت تولید پراکنده صورت می‌گیرد[۴]. با توجه به این مطالب

^۱ - Restructuring

^۲ - Distributed Generation

^۳ - Electric Power Research Institute

مطالعه در مورد اثرات این تولیدات بر شبکه توزیع کاملاً ضروری می باشد. در این مطالعه بررسی جامعی بر مسائل فنی و اقتصادی مربوط به تولید به شیوه پراکنده در سیستم قدرت انجام گرفته است .

۲-۲ تعریف تولید پراکنده

طبق یک نظر سنجی که ^۱ IEA از کشورهای مختلف به عمل آورده است برخی از کشورها تعاریف خود را بر مبنای سطوح ولتاژ ارایه کرده اند و پاره ای دیگر تولید پراکنده را بر اساس یک سری مشخصات اساسی مانند استفاده از انرژی های نو، تولید همزمان گرما و برق، نداشتن دیسپاچینگ و مواردی از این دست تعریف کرده اند [۵]:

جدول (۲-۱) تعریف تولید پراکنده در کشورهای مختلف [۵]

کشور	تعریف ارایه شده
استرالیا	به تولیداتی اطلاق می شود که به شبکه توزیع یا بار وصل می شوند.
اتریش	تولیداتی با حداکثر توان تولیدی ۱۰ MW که به شبکه فشار متوسط وصل می شوند.
بلژیک	تولیداتی که تحت نظارت دیسپاچینگ مرکزی و سراسری نباشند.
جمهوری چک	تولیدات با ظرفیت محدود که به شبکه با حداکثر ولتاژ ۱۱۰ kV متصل می شوند.
دانمارک	همانند بلژیک
فرانسه	به تولیداتی که به شبکه توزیع یا باز متصل می شوند و سطح ولتاژ آنها در رده های ولتاژ شبکه های توزیع می باشد، گفته می شود.
یونان	تولیداتی که به شبکه های توزیع متصل می گردند و دیسپاچینگ مرکزی ندارند.
هند	منابع تجدیدپذیر انرژی که به شبکه دارای حداکثر ولتاژ ۱۱ kV وصل می شوند.
ایتالیا	تولیداتی که به شبکه های توزیع تا سطح ولتاژ حداکثر ۱۵۰ kV وصل می شوند.

^۱ - International Energy Agency

کشور	تعریف ارایه شده
پرتقال	تولیدات با حداکثر ظرفیت ۱۰MW (بجز CHP) که محدودیت ولتاژی هم ندارند.
اسپانیا	تولیداتی که به شبکه توزیع وصل می شوند.
انگستان	تولیداتی که به شبکه توزیع تا حداکثر ولتاژ ۱۳۲kV وصل می شوند.

EPCOR^۱ (در کشور کانادا) تعریف مشابه دیگری از تولید پراکنده دارد [۶]: تولید پراکنده عموماً به منابع تولید انرژی الکتریکی با ظرفیت کم - نوعاً بین ۱ Kw تا ۵۰ Mw - که در مکان نزدیک مصرف کننده قرار دارد یا به شبکه توزیع متصل می گردد، اطلاق می شود.

۲-۳ دلایل رو آوردن برنامه ریزان صنعت برق به تولید پراکنده

با یک دید کلی می توان گفت مجموعه دلایل ذیل برنامه ریزان صنعت برق در کشورهای مختلف را

ناگزیر به بهره جویی از تولید پراکنده کرده است:

۱- بالابودن حجم سرمایه گذاری ها در طرح های توسعه انتقال نیرو

۲- درصد بالای تلفات به علت فواصل زیاد مراکز تولید و مصرف

۳- نبود انگیزش های لازم برای سرمایه گذاری بخش خصوصی به دلیل بالا بودن حجم سرمایه گذاری در

نیروگاه های بزرگ

۴- مشکلات مربوط به کمبود سوخت های فسیلی و افزایش بی رویه قیمت آنها

۵- راندمان پایین اکثر نیروگاه های بزرگ و هزینه های بالای بهره برداری و تعمیر و نگهداری

۶- پیشرفت در ساخت ادوات الکترونیک قدرت با امکان کارکرد در ولتاژها و جریانهای بالا (این ادوات در منابع

تولید توان کوچک کاربرد زیادی دارند)

^۱ Edmonton Power Corporation

- ۷- مسائل و مشکلات زیست محیطی (آلودگی ناشی از نیروگاههای بزرگ که اغلب با سوخت فسیلی کار می کنند و همچنین نیاز به از بین بردن جنگل هادر طرح های توسعه انتقال در بعضی مناطق)
- ۸- مشکلات و دردهای حقوقی احداث خطوط انتقال نیرو (مسئله تملک زمین)
- ۹- زمان کمتر جهت نصب واحد، قابلیت اطمینان بالا، کیفیت برق مطلوب، کاهش ریسک خاموشی و...

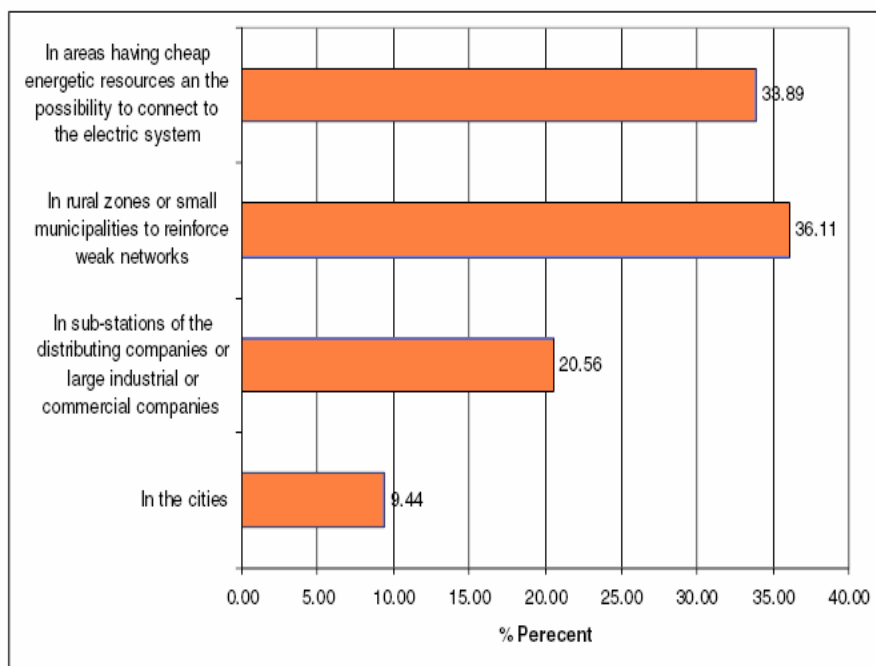
۲-۴ ظرفیت و مکان تولید پراکنده

محدودیت ظرفیت تولید، ناشی از چند عامل می باشد. اولین مسأله تأثیرگذار بر ظرفیت تولید، ساختار شبکه های توزیع و توان مصرفی بار آنها می باشد.

عامل دوم ناشی از تکنولوژیهای به کاررفته و منابع تأمین انرژی اولیه می باشد. عامل دیگر، استفاده از شیوه تولید همزمان برق و گرما (CHP)^۱ در تولید است که هدف نهایی مسأله تولید پراکنده در دستیابی به بازدهی بالا و سوددهی می باشد.

عموماً منابع تولید پراکنده در شبکه های توزیع و در نزدیکی مصرف کنندگان نصب می شود. واضح است که با توجه به توان مصرفی بار شبکه های توزیع، واحدهای تولید پراکنده با ظرفیت تولید متناسب با این شبکه ها به کار گرفته می شود. در شکل ۱-۲ مکان هایی که DG در شبکه نصب شده است را نشان می دهد.

^۱. Combined Heat and Power



شکل ۲-۱ امکان نصب DG در نواحی مختلف [۷]

۲-۵ کاربردهای تولید پراکنده در سیستم قدرت

در این قسمت چند مورد از مهمترین کاربردهای تولید پراکنده به اختصار مورد بررسی قرار می گیرد.

۲-۵-۱ پشتیبانی ظرفیت شبکه

پشتیبانی ظرفیت شبکه در حال حاضر به عنوان بزرگترین محرک اقتصادی برای نصب واحدهای تولید پراکنده در شبکه ها محسوب می گردد. شرکتهای برق در شرایط معمولی عملکرد شبکه موظف به تامین توان مورد نیاز مصرف کنندگان در تمامی نقاط شبکه می باشند. با تولید توان در واحدهای تولید پراکنده و تزریق توان در شینهای مصرف کنندگان در بخش توزیع بار، از دید شرکت تولید کننده برق از میزان بار مصرفی شبکه کاسته شده است و لذا در صورتی که سیستمهای انتقال و زیر سیستمهای آن نزدیک مقادیر نامی کار کنند، استفاده از تولید پراکنده ضمانتی جهت تامین توان مورد نیاز مصرف کنندگان خواهد بود. در واقع توان تولید پراکنده در سیستم توزیع باعث کاهش بارگذاری بر روی سیستمهای انتقال خواهد شد.

۲-۵-۲ پشتیبانی ظرفیت اضطراری شبکه

تولید پراکنده انرژی در بخش توزیع شبکه می تواند، در برخی مواقعی که یکی از بخشهای شبکه دچار مشکل شده است، به طور اضطراری بار مورد نیاز برخی مصرف کنندگان را تامین نماید و بدین ترتیب تعداد مصرف کننده هایی که در حالت قطعی و اختلال در شبکه از مدار خارج می شوند، را کاهش دهد.

۲-۵-۳ تعادل پخش بار

تولید انرژی در یک مجموعه از منابع تولید پراکنده قابل کنترل، قادر است که میزان بارگذاری بین پست های شبکه را تنظیم نماید و به این ترتیب باعث بهبود پخش بار و تعادل خطوط در شبکه گردد.

۲-۵-۴ پشتیبانی ولتاژ شبکه

ولتاژ و توان راکتیو یک شبکه قدرت می بایست در یک محدوده مجاز حفظ و کنترل شوند. به این منظور ژنراتورها و نیز بارها در محدوده های توصیه شده ضریب توان کار می کنند، تا از افت ولتاژ در مواقع پیک بار و افزایش ولتاژ در هنگام کاهش مصرف جلوگیری شود. این سرویس در صورتیکه تجهیزات لازم برای کنترل و تنظیم واحدهای تولید پراکنده نصب گردند، به شبکه قابل ارائه می باشد. استفاده از منابع تولید پراکنده در پست های توزیع باعث کاهش بارهای مصرفی شبکه از دید شرکت تولید کننده برق می گردد، که این امر به صورت غیر مستقیم منجر به کاهش افت ولتاژ در خطوط انتقال می شود. این مزیت به خصوص در مواقع پیک بار شبکه که بروز افت ولتاژ شدید می تواند حتی باعث قطعی در شبکه شود، بسیار در خور توجه است.

برای استفاده از قابلیت تولید توان راکتیو توسط واحدهای تولید پراکنده، باید تولید آنها کاملاً هماهنگ با قطع و وصل خازن های نصب شده در سیستم توزیع انجام شود.

قابل ذکر است که بسیاری از تکنولوژیهای مورد استفاده در تولید پراکنده نظیر نیروگاههای فتوولتایی قادر به تولید توان راکتیو نمی باشند، اما برخی از آنها مانند ژنراتورهای سنکرون این توانایی را دارند.

۲-۵-۵ کاهش تلفات

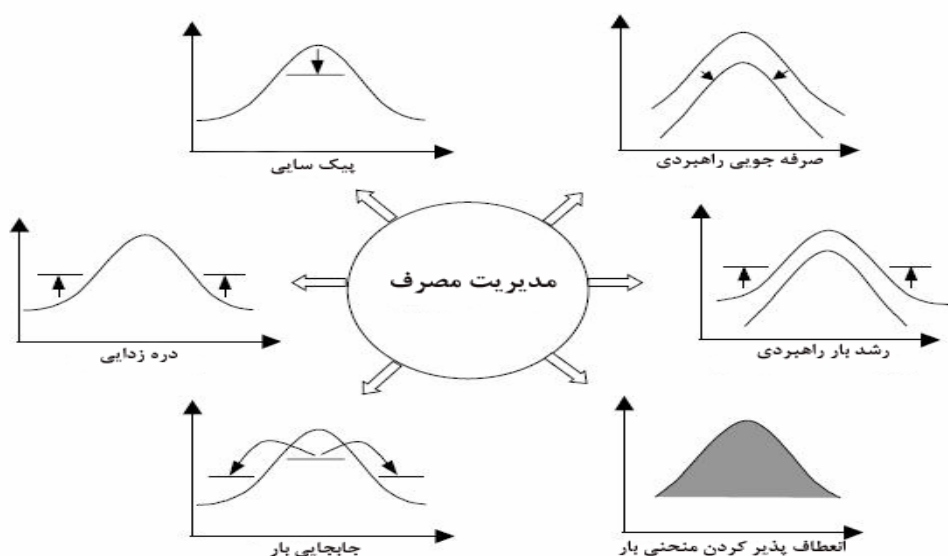
استفاده از منابع تولید پراکنده در پست‌های توزیع، باعث کمتر شدن میزان جریان جاری شده از تولید کننده‌های بزرگ به سوی ترانسها و خطوط انتقال می‌گردد. از آنجایی که تلفات در خطوط و سایر تجهیزات شبکه متناسب با مجذور جریان است، لذا توجه به جبران بار توسط واحدهای تولید پراکنده، تلفات در شبکه کاهش می‌یابد. این تاثیر خصوصا در مواقع پیک بار مشهودتر است [۸].

۲-۵-۶ ذخیره چرخان و غیر چرخان

این سرویس شامل ظرفیت بارگذاری نشده واحدهایی از تولید پراکنده است، که با شبکه سنکرون شده‌اند و توانایی آن را دارند که در طی مدت چند دقیقه تا میزان نامی خود افزایش توان یابند. از طرفی واحدهایی با قابلیت راه‌اندازی سریع، واحدهای ذخیره غیر چرخان در یک سیستم قدرت محسوب می‌شوند، بسیاری از واحدهای تولید پراکنده دارای چنین ویژگی می‌باشند.

۲-۵-۷ کار در پیک بار (اصلاح پیک بار)

مجموعه فعالیت های اجرا شده در راستای ایجاد تغییرات مطلوب بر الگوی مصرف مشترکین به عنوان مدیریت مصرف اتلاق می‌شود. این فعالیت ها در شش دسته کلی طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل ۲-۲ شش دسته کلی برنامه‌های مدیریت مصرف [۹]

مطابق شکل ۲-۲ هزینه‌های برق مشتریان براساس منحنی تقاضای بار تغییر می‌کند، بطوریکه در طول مدت پیک بار، برق با قیمت بیشتری به مشتریان فروخته می‌شود. از اینرو بکارگیری واحدهای تولید پراکنده برق در چنین مواقعی، می‌تواند هزینه برق مصرفی، برای مصرف کنندگان را کاهش دهد. از طرفی این امر سبب مسطح شدن قله پیک بار منحنی تقاضای بار، خواهد شد و سرمایه گذاری برای ایجاد واحدهای تولیدی بزرگ را کاهش دهد یا به تاخیر اندازد.

۲-۵-۸ تولید همزمان گرما و برق

تولیدات پراکنده‌ای که قابلیت تهیه گرما و الکتریسیته را دارند، دارای راندمان بالایی هستند. گرمای تولید شده از تبدیل سوخت به انرژی الکتریکی، می‌تواند برای کاربردهایی همچون گرمایش بیمارستانها، مراکز تجاری و پروسه های صنعتی در همان محل مورد استفاده قرار بگیرد.

۲-۵-۹ کاربردهای دوردست و محلی

واحدهای تولید پراکنده برق می توانند، بطور مستقل توان مورد نیاز نواحی دوردست را تامین نمایند. در این نواحی می توان از واحدهای تولید پراکنده، برای مصارفی همچون روشنایی، گرمایش، سرمایش، مخابرات و پروسه های صنعتی کوچک استفاده نمود. همچنین گاهی از این واحدها برای تغذیه بارهای حساس، جهت تنظیم ولتاژ و نیز پشتیبانی هنگام اتصال به شبکه استفاده می شود.

۲-۶ معضلات و موانع تولید پراکنده [۱۰]

- به کارگیری تولید پراکنده با وجود مزیت های فراوان و متعددی که دارد، سبب به وجود آمدن پاره ای از معضلات و مشکلات نیز می شود. برخی از این معضلات عبارتند از:
- به کارگیری تولید پراکنده تنظیمات حفاظتی شبکه را به هم می ریزد.
 - در برخی موارد مشکلات کیفیت توان و قابلیت اعتماد بوجود می آید.
 - مشکلات خاص خود را در اتصال به شبکه به همراه دارد.
 - برخی منابع مورد نظر جهت تأمین انرژی اولیه در اکثر مناطق شهری در دسترس نمی باشند.
 - معضلاتی را در رابطه با تجدید ساختار سیستم های قدرت بوجود می آورد.
 - پایداری منابع تولید می تواند مسأله ساز باشد.
 - دیسپاچینگ و برنامه ریزی تولید مشکل می شود.

۲-۷ انواع منابع تولید پراکنده

۲-۷-۱ انرژی بادی

استفاده از این انرژی به صورت اولیه در قرن ۱۴ در عملیات ذوب کردن در آهنگری کاربرد داشته است. توربین های بادی به کار گرفته شده در این روش با توجه به محل و سرعت باد دارای ۲ تا ۳ پره می باشند.

این پره‌ها به روتور ژنراتور وصل می‌شوند. ارتفاع توربین‌ها تقریباً به ۳۰ متر خواهد رسید. چگالی هوا اگر چه در ارتفاع بالاتر کمتر می‌باشد ولی اغتشاش هوا در این ارتفاع کمتر می‌باشد.

نکاتی که در استفاده از این روش دارای اهمیت می‌باشند عبارتند از:

- نوع و جنس مورد استفاده در ساخت پره‌ها که باید سبک بوده و استقامت خوبی داشته باشند.

- قابلیت کارکرد ژنراتورها با سرعت متغیر

- بالابردن تکنولوژی توربین‌ها و پره‌های مورد استفاده برای بالا بردن راندمان

توربین بادی با چرخاندن ژنراتور سنکرون یا آسنکرون انرژی الکتریکی تولید می‌نماید. اگر از ژنراتور آسنکرون استفاده شود، برق تولیدی به دلیل متغیر بودن فرکانس آن، توسط یکسوکننده DC شده و در مرحله بعد به وسیله یک مبدل DC/DC سطح ولتاژ آن افزایش داده می‌شود. سپس خروجی مبدل به یک اینورتر ارسال خواهد شد تا برقی به شکل AC با فرکانس مطلوب در اختیار مصرف کننده قرار گیرد. جدول (۲-۲) مزایا و معایب این روش را بیان می‌نماید.

جدول ۲-۲: مزایا و معایب استفاده از باد در تولید انرژی الکتریکی

مزایا	معایب
- بدون آلودگی و ضایعات - راندمان خوب - قابلیت استفاده در مناطق دور	- هزینه سرمایه گذاری بالا - وابستگی به آب و هوای محیط

۲-۷-۲ انرژی خورشیدی

در این روش همانطور که از نام آن مشخص است در واقع از بزرگترین منبع انرژی بشر، یعنی خورشید، استفاده می‌گردد. این انرژی تا سال ۲۰۰۱ میلادی، تنها ۰/۴٪ از تولید انرژی جهان را تامین می‌کرد [۱۱]. در این روش از یک سری مواد نیمه‌هادی تحت عنوان سلولهای خورشیدی^۱ یا سلولهای فتوولتائیک به عنوان مبدل نور خورشید به انرژی الکتریکی استفاده می‌گردد. سلولهای PV در واقع مشابه یک دیود p-n می‌باشد.

^۱. Photovoltaic Voltage(PV) cells

انرژی ذخیره شده از فوتون های نور خورشید در قسمت نوع p نیمه هادی سیلیکونی به حامل های الکترونی موجود در قسمت n منتقل می شود. در نتیجه فوتون دریافتی از نور خورشید به حرکت حامل هایی چون الکترون و حفره نیمه هادی منجر شده و منجر به تولید جریان الکتریکی خواهد شد. راندمان این روش در حدود ۱۵٪ است.

کاربرد این نوع انرژی را می توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- اتصال به شبکه سراسری: Grid-Connected Photovoltaic system
- به صورت مجزا: (Stand-Alone)
- کاربردهای فضایی: Space Application
- در ساختمان های تجاری- اداری و مجتمع های مسکونی Building Integrated photovoltaic system (BIPV)

در استفاده انرژی خورشیدی دو عامل نقش اساس را بازی می کند؛ یکی میزان نور خورشید جذب شده که در محل تقریباً ثابت است و دیگری تکنولوژی سلول های خورشیدی که روز به روز در حال پیشرفت می باشد. مزایا و معایب این روش در جدول ۲-۳ بیان شده اند.

جدول ۲-۳: مزایا و معایب استفاده از انرژی خورشیدی [۱۱]

مزایا	معایب
<ul style="list-style-type: none"> - منبع انرژی رایگان و بسیار فراوان (از لحاظ سوختی) منبع پاک و تمیز - طول عمر زیاد (۲۰ تا ۲۵ سال) - در هر جایی قابل استفاده است. - نگهداری و نصب آسان - عدم آلودگی - وزن کم 	<ul style="list-style-type: none"> - هزینه اولیه بالا - راندمان کم (۱۵٪) - بستگی زیاد به آب و هوا - نیاز به باتری - توان خروجی متغیر

سیستم های PV شامل یک مبدل DC/DC و یک اینورتر DC/A می باشد. نیاز به مبدل DC/DC به خاطر این حقیقت است که اندازه ولتاژ تولیدی توسط سلول های خورشیدی ممکن است برای اتصال به بار کافی

نباشد، زیرا اکثر بارها حداقل به ولتاژ ۲۲۰V نیاز دارند. بدین ترتیب یک مبدل DC/DC افزایشده مورد نیاز خواهد بود.

۲-۷-۳ انرژی زمین گرمایی^۱

این روش تولید انرژی در نیوزلند ۶,۵٪ انرژی الکتریکی در این کشور را به خاطر منابع زیاد این نوع انرژی تامین می نماید. اصل به کار گرفته شده در این روش استفاده از حرارت استخراجی از زمین برای تولید بخار به کار گرفته شده در توربین ها می باشد. نکته کلیدی در این روش ناحیه ای است که بدین منظور در نظر گرفته می شود و نیز میزان حرارت به دست آمده از ناحیه مذکور می باشد. اولین نیروگاه زمین گرمایی در سال ۱۹۶۰ با ظرفیت تولیدی ۱۱MW در ایالات متحده امریکا تاسیس گردید [۱۲]. در جدول ۲-۴ مزایا و معایب تولید انرژی الکتریکی به روش زمین گرمایی مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲-۴: مزایا و معایب تولید انرژی الکتریکی به روش زمین گرمایی

مزایا	معایب
<ul style="list-style-type: none"> - انرژی پاک و ایمن - به طور ۲۴ ساعته می تواند مورد استفاده قرار بگیرد - ساختار کوچکی در مقایسه با نیروگاههای معمولی دارد. - نیازی به هزینه سوخت وجود ندارد. 	<ul style="list-style-type: none"> - هزینه اولیه زیادی دارد. - مناطقی که بتوان بدین منظور استفاده گردد به سختی پیدا می شود.

۲-۷-۴ میکروتوربین ها

مولدهای کوچک تولید برق هستند که کمپرسور، توربین و ژنراتور روی یک شفت قرار گرفته و با سرعت مساوی می چرخند سرعت گردش محور این سیستمها از ۹۰۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰۰ دور در دقیقه می باشد.

^۱- Geothermal Power

مبدل قدرت این نوع مولدها اینورتر می باشد. این مولد با تمامی انواع سوخت های فسیلی قابلیت کارکرد دارند. سوخت مصرفی این مولدها گاز طبیعی، هیدروژن، دیزل و پروپان می باشد. این مولدها دارای مقدار نامی ۲۵kW تا ۵۰kW و نیز راندمان ۲۰٪ تا ۳۰٪ می باشند.

۲-۷-۵ توربین های احتراقی

این موتورها همانند موتور جت هستند که داری محفظه احتراق، کمپرسور و توربین مجزا می باشند. ژنراتور آنها ژنراتور سنکرون بوده و در اثر گردش توربین به حرکت در آمده و برق مورد نیاز را تولید می نماید. این توربین ها قابلیت مصرف انواع سوخت های مایع و گاز را دارند و دارای مقدار نامی ۱۰۰KW تا MW ۲۵ هستند. بازده این توربین ها بین ۲۰٪ تا ۴۵٪ بوده و در صورت کنترل صحیح، تولید گازهای آلاینده آنها کم خواهد بود. از لحاظ تجاری در حال حاضر به طور وسیع قابل دسترس می باشند.

۲-۷-۶ پیل های سوختی

پیل های سوختی یکی از مدرن ترین نوع منابع تولید پراکنده هستند. این مولدها با استفاده از ترکیب هیدروژن گاز متان و اکسیژن هوا قابلیت تأمین انرژی الکتریکی با درصد آلاینده گی صفر را دارا می باشند. راندمان این مولدها بالای ۵۰٪ خواهد بود. این نوع منابع تولید پراکنده در حال حاضر بسیار گران قیمت می باشند و استفاده از آنها مقرون به صرفه نمی باشد و تنها کاربردهای خاص مانند استفاده در ماهواره های فضایی دارند. انواع مختلف پیل های سوختی در جدول ۲-۵ آورده شده است.

- پیل های سوختی اسید فسفریک^۱
- پیل های سوختی کربنات گداخته شده^۲
- پیل های سوختی اسید جامد^۱

^۱ -Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC)

^۲ -Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC)

• پیل‌های سوختی تغییر غشایی پروتون^۲

جدول ۲-۵: مشخصات پیل‌های سوختی [۱۳]

نوع پیل سوختی	PAFC	SOFC	MCFC	PEMFC
وضعیت کنونی تجاری	قابل دسترس	در مرحله تجاری شدن	قابل دسترس	قابل دسترس
مقدار نامی	۱۰۰kW – ۲۰۰kW	۱۰kW-۱۰MW	۲۵kW-۱۰MW	۳kW- ۲۵۰kW
سوخت مصرفی	گازهای طبیعی، هیدروژن دیزل و پروپان	گاز طبیعی هیدروژن سوخت مایع و گازهای ترش	گاز طبیعی هیدروژن	گازهای طبیعی، هیدروژن دیزل و پروپان
بازده	٪۳۶ تا ٪۴۲	٪۴۵ تا ٪۶۰	٪۴۵ تا ٪۵۵	٪۲۵ تا ٪۴۰
درصد آلاینده	صفر	صفر	صفر	صفر

در جدول (۲-۶) انواع سیستم‌های تولید پراکنده با هم مقایسه شده‌اند.

با توجه به جدول هزینه اولیه استفاده از انرژی خورشیدی نسبت به سایر منابع تولید پراکنده بالاتر بوده و در مقابل کمترین هزینه نگهداری را خواهند داشت. همانطور که جدول ۲-۶ نشان می‌دهد که آلودگی همه منابع کم و حتی ناچیز می‌باشد.

^۱ - Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)

^۲ - Proton Exchanger Membrane Fuel Cells (PFMFC)

جدول ۲-۶: مقایسه انواع سیستم‌های منابع پراکنده [۱۴]

سیکل بخاری	پیل سوختی	میکرو توربین	فوتوولتائیک	بادی	
۱۰۰۰۰	۵-۳۰۰۰	۲۵-۵۰۰	<۱-۱۰۰	۳۰۰۰-۶۰۰۰	اندازه (kW)
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰۰-۱۸۰۰	۶۰۰۰-۱۰۰۰۰	۱۱۰۰-۱۶۵۰	هزینه نصب ($\$/kW$)
۰,۰۰۵	۰,۰۰۵-۰,۰۱	۰,۰۰۸-۰,۰۱۵	خیلی کم	۰,۰۱	هزینه نگه داری ($\$/kW$)
تقریباً کم	کم	کم	۰	۰	آلودگی
زیاد	زیاد	زیاد	کم	کم	در دسترس بودن هنگام نیاز
در دسترس و توسعه یافته	در حال توسعه	در حال توسعه	در دسترس و در حال توسعه	توسعه یافته	وضعیت تجاری
تولید همزمان	پشتیبانی سیستم‌ها	تولید همزمان و پشتیبان	انرژی پاک	انرژی پاک	کاربردها
گاز طبیعی	گاز طبیعی	گاز طبیعی	-	-	سوخت

۲-۸ جایابی منابع تولید پراکنده

در ادبیات فنی تولید پراکنده مقالات زیادی دیده می‌شود که به مقوله جایابی و ظرفیت یابی بهینه منابع تولید پراکنده پرداخته اند. به این دلیل و همچنین قرابت موضوعی با محتوای این پژوهش در این قسمت به طور نسبتاً مفصلی به این مقوله و موضوعات جانبی مربوط به آن پرداخته شده است.

در مقالات از روشها و الگوریتم های مختلفی به منظور جابجایی بهینه منابع تولید پراکنده استفاده شده است. در جابجایی بهینه منابع تولید پراکنده پارامترهای گوناگونی در نظر گرفته می شوند. این پارامترها عبارتند از کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ، حداقل سازی هزینه های بهره برداری، حداقل سازی تغییر آرایش رله گذاری و حداقل سازی تغییر در ستیگ رله های موجود در شبکه، حداقل سازی تغییر آرایش کلید ها و... به این منظور از الگوریتم های متفاوت بهینه سازی استفاده شده است.

علاوه بر روش های تحلیلی و الگوریتم های بهینه سازی کلاسیک از روشهایی همچون الگوریتم ژینک، سرد شدن تدریجی فلزات (SA^۱) بهینه سازی هجوم ذرات PSO^۲ و الگوریتم های بهینه سازی چند متغیره (Multiobjective Optimization Algorithm) که در آن به جای دستیابی به یک نقطه بهینه با توجه به چند گانه بودن تابع هدف به یک دسته نقاط بهینه می رسیم.

۲-۸-۱ مدل سازی منابع تولید پراکنده

بطور کلی منابع تولید پراکنده ای که به شبکه های توزیع متصل می شوند، بدلیل کوچک بودن ظرفیت تولید شان، نمی توان آنها را مانند نیروگاههای متمرکز که شین متصل شده به آنها را همواره PV در نظر می گرفتیم در نظر گرفت و در بیشتر مطالعات با توجه به میزان توان راکتیو تولیدیشان به دو صورت مدل PV و مدل PQ مدلسازی می کنیم [۱۵].

در شبیه سازی مولد به صورت مدل PV مولد ولتاژی ثابت را تحت زاویه فازی معین تحویل شبکه می دهد در این حالت وظیفه منبع تولید انرژی حفظ دامنه ولتاژ باس در محدوده مجاز است. زمانی این امر ممکن می شود که منبع DG قادر باشد توان راکتیو بارهای مصرفی متصل به آن شین را تولید کند. در شبیه سازی مولد بصورت مدل PQ مولد توان اکتیو و راکتیو معینی را به شبکه تزریق می کند. در این حالت وظیفه منبع DG تغذیه شبکه و تامین بخشی از توان اکتیو و راکتیو مورد نیاز آن است. این حالت زمانی اتفاق می افتد که مولد قادر به تولید توان راکتیو مورد نیاز نباشد.

^۱. Simulated Annealing

^۲. Particle Swarm Optimization

در نظر گرفتن هر کدام از مدل های یاد شده بستگی به این دارد که منابع تولید پراکنده به چه منظوری در شبکه توزیع بکار می روند. باید توجه داشت که مدل PV تولید پراکنده تا زمانی معتبر است که توان اکتیو و راکتیو تحویلی آن از ظرفیت تولید مولد تجاوز نکند، در غیر این صورت مدل PV به مدل PQ تبدیل می گردد.

لازم به ذکر است که به دلیل کوچک بودن ظرفیت تولیدی منابع DG و نیز هزینه صرف شده برای تولید انرژی در این منابع، قسمت اعظم تولید توان در این مولدها به توان اکتیو برای تامین توان مفید مصرف کننده ها اختصاص داده شود به این معنی که حداقل توان راکتیو ممکن را به شبکه تزریق می کند تا استفاده از این منابع از لحاظ اقتصادی نیز توجیح قابل قبولی داشته باشد و توان راکتیو مورد نیاز را از طریق دیگر منابع تولید کننده آن مثل خازنها و یا ادوات الکترونیک قدرت تامین کنیم. پس در اغلب اوقات منابع تولید پراکنده را با مدل PQ در نظر گرفته می شود و دلیل اصلی برای یافتن مقدار بهینه توان راکتیو تولیدی منابع DG همین امر می باشد.

۲-۸-۲ تابع هدف مسأله

راه حل کلی در این گونه مسائل عموماً به این شکل است: برای بهبود پروفیل ولتاژ شبکه های توزیع با کمترین هزینه دو تابع هدف مجزا از هم در نظر گرفته می شود و مجموع آنها مقدار برازندگی را برای هر یک از اعضای جمعیت در این مسأله محاسبه می کند که در زیر بطور کامل بیان شده اند. در هر دو تابع هدف، جمله اول تابع هدف اصلی مسأله می باشد و دیگر جملات قیود نامساوی هستند که بصورت یک تابع جریمه به تابع هدف اضافه می شوند.

بهبود پروفیل ولتاژ

تابع هدفی که برای جابجایی و مقدار یابی بهینه منابع تولید پراکنده برای بهبود پروفیل ولتاژ در این مقاله بکار رفته است بصورت زیر می باشد.

$$\min f_v = \sum_{i=1}^m |v_i - v_{i,ref}| + \sum_{i=1}^n k_i \cdot \{ \max(\cdot, (V_i^{min} - V_i)) + \max(\cdot, (V_i - V_i^{max})) \} \quad (1-2)$$

که در آن :

$v_{i,ref}$: ولتاژ مطلوب در باس i ام

v_i : ولتاژ در باس i ام در کلیه و در هر مرحله

V_i^{max} ، V_i^{min} : مینیمم و ماکزیمم دامنه مجاز ولتاژ باس i ام

k_i : ضریب جریمه

N: تعداد باس های شبکه

m: تعداد شاخه ها

کاهش هزینه ها

تابع هدف برای کاهش هزینه های سرمایه گذاری اولیه و تولید توان اکتیو و راکتیو، تا بتوان با کمترین

تعداد منابع DG میزان کمترین توان تولیدی، بیشترین بهبود را برای پروفیل ولتاژ داشته باشد.

$$\sum_{i=1}^{nDG} k_i \cdot [\max(\cdot, (Q^{\min} - Q_i)) + \max(\cdot, (Q_i - Q^{\max}))] \min f_c = \sum_{l=1}^{nDG} [(k_1 \cdot C_{pi} + k_2 \cdot C_{Qi}) + C_{li}] +$$

$$\sum_{i=1}^{nDG} k_i \cdot [\max(\cdot, (P^{\min} - P_i)) + \max(\cdot, (P_i - P^{\max}))] + \dots \quad (2-2)$$

که در آن :

C_{li} : هزینه های نصب و راه اندازی i امین DG

C_{pi} ، C_{Qi} : هزینه های تولید P و Q از i امین DG

K_1 ، K_2 : ضرایب وزنی

P_i ، Q_i : توان اکتیو و راکتیو تولیدی برای امین DG

P^{\max} ، P^{\min} : مینیمم و ماکزیمم توان اکتیو تولیدی

Q^{\max} ، Q^{\min} : مینیمم و ماکزیمم توان راکتیو تولیدی

لازم به ذکر است همانطور که گفته شد، بدلیل کوچک بودن کل ظرفیت تولید توان در منابع DG همواره

سعی می شود که تا حد ممکن ظرفیت کمتری از DG صرف تولید توان راکتیو شود و برای اعمال این

محدودیت به تابع هدف، ضریب وزنی K_2 بکار رفته برای ایجاد یک ارجعیت مناسب برای هزینه تولیدی توان راکتیو در DG را، چندین برابر k_1 انتخاب کنیم، تا در نتایج بهینه سازی، مقدار بهینه بدست آمده برای توان راکتیو تولیدی منابع تولید پراکنده، تا حد ممکن کوچک بدست آید.

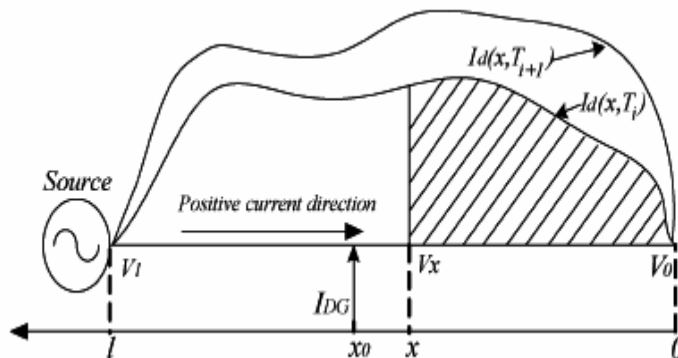
و برازندگی کل (f) برای بهبود پروفیل ولتاژ با کمترین هزینه ممکن، را از رابطه زیر می یابیم.

$$F_{total} = k_1 \cdot f_v + k_2 \cdot f_c \quad (3-2)$$

که در آن k_1 ، k_2 ضرایب وزنی هستند، که میزان تاثیر برازندگی هر کدام از توابع هدف مسأله را در برازندگی کل بیان می کنند. معمولاً بدلیل اهمیت بیشتری که برای بهبود ایجاد شده در پروفیل ولتاژ قائل هستیم، K_1 را بزرگتر از k_2 در نظر می گیریم.

۹-۲ تأثیر تولید پراکنده بر کاهش تلفات شبکه های توزیع

در این قسمت رویکردی تحلیلی به تاثیر واحد های تولید پراکنده بر مسئله کاهش تلفات دنبال میشود. جایابی بهینه بر روی یک فیدر شعاعی در توزیع بارهای متفاوت می تواند به خوبی این قضیه را روشن کند. در اینجا با فرمول بندی مسئله کاهش تلفات پیگیری می شود [۱]. مقدار بار در بازه های زمانی متفاوت را گسسته در نظر می گیریم. به عنوان مثال توزیع در طول فیدر در بازه های زمانی T_i و T_{i+1} در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲ یک شبکه شعاعی با بار توزیع شده در طول خط [۲]

ابتدا یک فیدر شعاعی بدون DG را در نظر می گیریم. در بازه زمانی T_i بار در طول فیدر توزیع شده است جریان فیدر در نقطه X برابر است با:

$$I(x, T_i) = \int_0^x I_d(x, T_i) dx \quad (۴-۲)$$

امپدانس در طول واحد برابر است با $Z=R+J \times X (\Omega/km)$. تلفات و افت ولتاژ را به صورت زیر داریم:

$$dP(x, T_i) = \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 . R dx \quad (۵-۲)$$

$$dV(x, T_i) = \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right) . Z dx \quad (۶-۲)$$

تلفات کل در طول فیدر در بازه زمانی T_i برابر است با:

$$P_{loss}(T_i) = \int_0^l dP(x, T_i) = \int_0^l \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 . R dx \quad (۷-۲)$$

افت ولتاژ در نقطه x و نقطه انتهایی برابر است با:

$$V_{drop}(x, T_i) = V_x(T_i) - V_l(T_i) = \int_0^x dV(x, T_i) = \int_0^x \int_0^x I_d(x, T_i) dx . Z dx \quad (۸-۲)$$

ولتاژ در نقطه x برابر است با:

$$V_x(T_i) = V_l(T_i) + V_{drop}(x, T_i) = V_l(T_i) - V_{drop}(l, T_i) + V_{drop}(x, T_i) \quad (۹-۲)$$

افت ولتاژ کل در فیدر برابر است با:

$$V_{drop}(l, T_i) = V_l(T_i) - V_0(T_i) = \int_0^l dV(x, T_i) = \int_0^l \int_0^x I_d(x, T_i) dx . Z dx \quad (۱۰-۲)$$

حال فرض می کنیم یک DG در نقطه x در شکل ۲-۳ نصب شود لذا جریان فیدر را به صورت زیر داریم:

$$I(x, T_i) = \begin{cases} \int_0^x I_d(x, T_i) dx, & 0 \leq x \leq x \\ \int_0^x I_d(x, T_i) dx - I_{DG}(T_i), & 0 \leq x \leq l \end{cases} \quad (۸-۲)$$

نتیجتاً تلفات و افت ولتاژ را به صورت زیر داریم:

$$P_{loss}(x., T_t) = \int_0^x \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 . R dx + \int_x^l \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx - I_{DG}(T_i) \right)^2 . R dx \quad (9-2)$$

$$V_{drop}(x, T_i) = \begin{cases} \int_0^x \int_0^x I_d(x, T_i) dx . Z dx, 0 \leq x \leq x. \\ \int_0^x \int_0^x I_d(x, T_i) dx . Z dx + \int_x^l \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx - I_{DG}(T_i) \right) . Z dx, x. \leq x \leq l \end{cases} \quad (10-2)$$

متوسط تلفات در یک بازه زمانی (به عنوان مثال T) برابر است با:

$$\bar{P}_{loss}(x.) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{N_t} P_{loss}(x., T_i) T_i \quad (11-2)$$

که در آن N_t تعداد دوره های زمانی در بازه زمانی T است:

$$T = \sum_{i=1}^{N_t} T_i \quad (12-2)$$

مراحل یافتن مکان بهینه در یک فیدر شعاعی

برای این منظور باید داشته باشیم:

$$\frac{d\bar{P}_{loss}(x.)}{dx} = 0 \quad (13-2)$$

به نحوی که ولتاژ در تمامی باسها در محدوده قابل قبول باشد (به عنوان مثال $1 \pm 0.5\%^{pu}$)

پروسهی تحلیلی به شرح ذیل است:

۱- بدست آوردن بار توزیع شده در طول فیدر $(I_d(x, T_i))$.

۲- بدست آوردن جریان خروجی منبع تولید پراکنده $I_{DG}(T_i)$.

۳- محاسبه $\bar{P}_{loss}(x.)$ و یافتن x از ۱۳-۲.

۴- چک کردن اینکه رگولاسیون ولتاژ برآورده شده است یا خیر.

۵- اگر ولتاژ تمام باسها در بازه مورد قبول می باشند در آن صورت x به دست آمده نقطه اپتیمم برای نصب

DG است.

۶- مکان DG حول x تغییر دهید و ولتاژ باسها را چک نمایید که آیا در رنج قابل قبول هستند یا خیر.

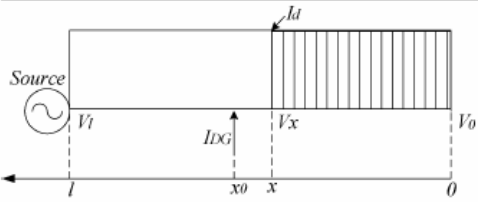
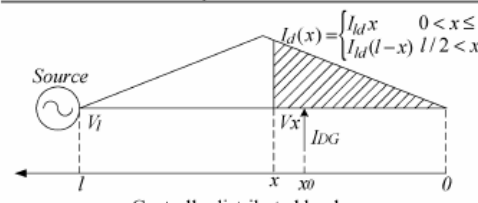
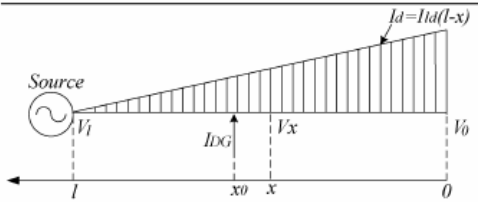
۷- اگر در نقاط اطراف x شرط ولتاژ باسها برآورده نمی شود سایز DG را مورد افزایش دهید و مراحل ۲ تا ۷ را تکرار کنید.

۸- گاهی اوقات بیش از یک DG استفاده می شود. در این شرایط می توان فیدر را به چند قسمت تکه تکه کرد و بخش های ۱ تا ۷ را برای آنها اجرا کرد.

۲-۹-۱ کاهش تلفات در حضور توزیع های مختلف بار

سه توزیع بار یکنواخت (uniformly distributed)، توزیع تمرکز در مرکز (centrally distributed) و توزیع افزایشی (increasing distributed) در جدول ۲-۷ نشان داده شده اند. این طور فرض شده است که DG فراهم آورد توان بارها می باشد و شبکه توزیع تنها تلفات توان را فراهم می آورد. قانون سرانگشتی $\frac{2}{3}$ که در خازن گذاری شبکه های به کار می روند تنها در بار یکنواخت جواب تقریباً دقیق دارد.

جدول ۲-۷ مکان بهینه نصب واحد تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات در سه آرایش بار مختلف [۱]

Cases (Assuming that DG supplies all the loads in each case)	P_{loss}^0 (Power loss before adding DG)	P_{loss} (Power loss after adding DG)	Percent of power loss reduction (%)	Optimal place x_0
 <p>Uniformly distributed load</p>	$I_d^2 R l^3 / 3$	$I_d^2 R l^3 / 12$	75%	$l / 2$
 <p>Centrally distributed load</p>	$\frac{23}{960} I_d^2 R l$	$\frac{1}{320} I_d R l^5$	87%	$l / 2$
 <p>Increasingly distributed load</p>	$0.1333 I_d^2 R l^5$	$0.01555 I_d R l^5$	88%	$(1 - \sqrt{2}/2)l$

۲-۱۰ تأثیر تولید پراکنده بر کیفیت توان الکتریکی

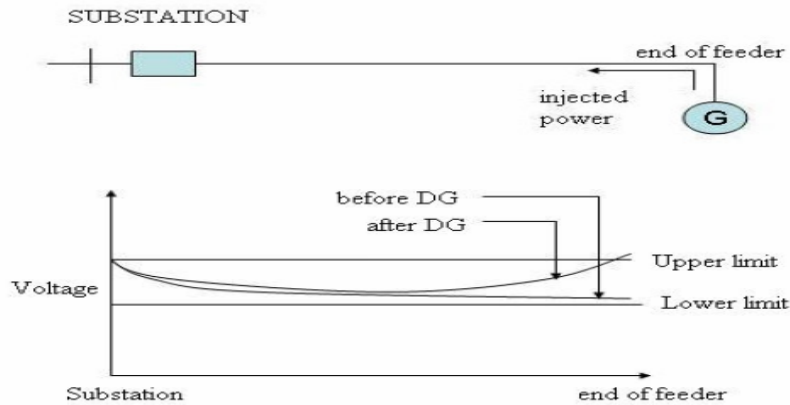
در این فصل تأثیر استفاده از یک منبع تولید پراکنده بر پارامترهای کیفیت توان الکتریکی مانند پروفایل ولتاژ، فرورفتگی ولتاژ و فلیکر مورد مطالعه قرار می گیرد.

۲-۱۰-۱ پروفایل ولتاژ

یکی از شاخص های بسیار مهم در زمینه کیفیت توان پروفایل ولتاژ می باشد. بطور کلی افزودن DG به شبکه، باعث بهبود ولتاژ در نقاط مختلف شبکه می شود، زیرا DG با تزریق توان اکتیو و راکتیو به شبکه، جریان جاری شده از ابتدای شاخه اصلی ترانس متصل به پست را کاهش می دهد [۱۶].

منابع تولید پراکنده علاوه بر اینکه می توانند تأثیر مثبتی بر بهبود پروفایل ولتاژ داشته باشند، در مواقعی می توانند موجب اضافه ولتاژهای ناخواسته ای نیز بشوند. در این حالت برابر است با $V_{drop} = I_R R + j I_X X$ که در آن R و X به ترتیب مقاومت و راکتانس فیدر می باشد در این حالت DG که سهم عمده تولیدش توان اکتیو می باشد می تواند موجب افزایش ولتاژ در طول فیدر شود (به خصوص در جاهایی که نسبت X/R کوچک

باشد که اکثر شبکه‌های توزیع هم همین طور است (این شکل در حالی که DG توان راکتیو نیز تولید کند حادث می‌شود. برای رفع تقریبی این مشکل می‌توان از DG هایی با سائز کوچکتر استفاده نمود. شکل زیر دیاگرام تقریبی این حالت را نشان می‌دهد:



شکل ۲-۴ پروفایل ولتاژ قبل و بعد از اضافه نمودن واحد تولید پراکنده [۱۶]

مقدار اضافه شدن به ولتاژ در نقطه اتصال DG به شبکه در یک فیدر شعاعی تقریباً برابر است با:

$$\frac{\Delta V}{V} \cong \frac{(P_{DG} - P_{Lj})R_{ij} + (Q_{DG} - Q_{Lj})X_{ij}}{V^2} \quad (14-2)$$

که در این رابطه P_{DG} و Q_{DG} توان اکتیو و راکتیو DG و P_{Lj} و Q_{Lj} توان اکتیو و راکتیو بار می‌باشد.

همچنین $Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$ امپدانس خط بین پست اصلی و DG می‌باشد.

همچنین DG در دیگر مسائل مربوط به کیفیت توان هم موثر باشد، عدم تعادل ولتاژ، فلیکر، فرورفتگی ولتاژ و برآمدگی ولتاژ از آن دست است.

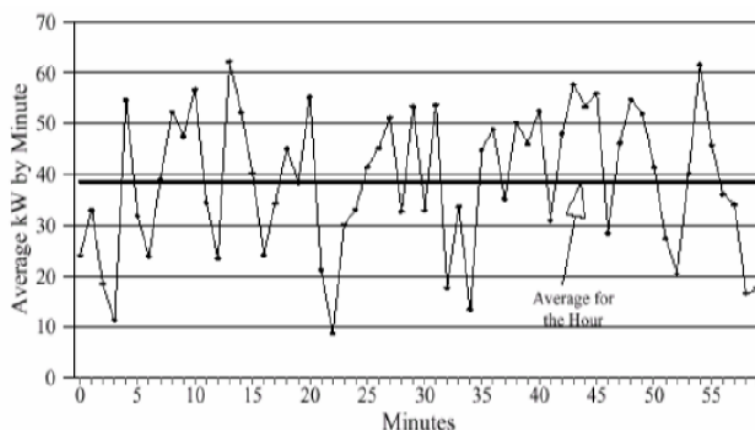
همچنین در مراجعی مانند [۱۷] برای انتخاب مکان مناسب جهت بهبود پروفایل ولتاژ اندیس‌هایی انتخاب شده است. بدین وسیله با اختصاص یک عدد به هر باس معیاری برای برگزیدن بهترین مکان بدست داده می‌شود. همچنین در مراجع دیگری همچون [۱۸] بجای استفاده از مدل‌های استاتیک بار [۱۹] از مدل‌های بار متغیر با زمان (به صورت ساعت به ساعت) استفاده شده است.

۲-۱۰-۲ عدم تعادل ولتاژ

بسیاری از DG ها با سایز کوچک به صورت تک فاز کار میکنند. این نوع از انواع DG ها فقط توان را به یک فاز تزریق میکنند. این مسأله معمولاً باعث ایجاد عدم تعادل غیر قابل قبول می شود. عدم تعادل بوجود آمده می تواند باعث تریپ DG نیز بشود. برای جلوگیری از این مشکل میتوان بار تک فاز را از فازیه که بیشترین بار را دارد به دو فاز دیگر منتقل کرد و سپس DG را به فازیه که بیشترین بار را دارد منتقل کرد.

۳-۱۰-۲ فلیکر

فلیکر ولتاژ می تواند ناشی از روشن شدن یک ژنراتور القایی و یا تغییر پله ای در خروجی DG به شکلی که منجر به تغییر قابل ملاحظه در باس متصل شده به آن است شود. نوسان در ولتاژ خروجی DG و یا رگولاتور های ولتاژ میتواند منجر به کاهش و یا افزایش دامنه ولتاژ در چند سیکل متوالی بشود. از بین منابع معمول تولید پراکنده، توربین های بادی به علت نوسان سیگنال ورودی (سرعت باد) بیش از دیگران مستعد ایجاد پدیده فلیکر می باشند. شکل زیر نشان دهنده تغییرات زیاد توان خروجی یک توربین بادی است [۲۰].



شکل ۲-۵ تغییرات زیاد توان خروجی در یک توربین بادی [۲۰]

۴-۱۰-۲ فلش ولتاژ [۲۱-۲۳]

علیرغم مسائل مطرح شده در بسیاری از مراجع فرورفتگی ولتاژ به عنوان مهمترین نارسایی کیفیت توان نام برده شده است. در مراجع متفاوت تعاریف مختلفی از فرورفتگی ولتاژی یا فلش ولتاژی یا همان کمبود موقتی ولتاژ آمده است. در استاندارد IEEE فلش ولتاژی یک فرورفتگی در ولتاژ از ۰/۱ تا ۰/۹ پریونیت در

مدت زمانی بین نیم سیکل تا ۱ دقیقه می باشد [۲۱]. در حالی که این تعریف در استاندارد اروپایی IEC به این شکل است: یک کاهش ناگهانی در ولتاژ شبکه توزیع فشار پایین که بین چند میلی ثانیه تا چندین ثانیه اتفاق می افتد و سپس از بین می رود. البته در بسیاری از مطالعات مدت زمان مربوط به فلش ولتاژی تا چند دقیقه هم لحاظ می گردد [۲۲].

باید توجه کرد که فرورفتگی ولتاژ از قطعی ولتاژ بسیار متفاوت می باشد. یک قطعی بواسطه قطع کامل ارتباط یک قسمت از سیستم با شبکه بالا دست حاصل می شود. در حالی که در فرورفتگی ولتاژ اتصال بار به شبکه برقرار است و فقط یک کاهش ناگهانی در ولتاژ بار اتفاق می افتد. فلش ها یا فرورفتگی های ولتاژی در صورت اتفاق افتادن خطا در سیستم قدرت و یا تغییرات ناگهانی بار هایی چون استارت یک موتور با سائز بزرگ حاصل شوند. تجهیزات الکتریکی می توانند به شدت به فلش های ولتاژی حساس باشند. گزارش هایی مبنی بر خروج تاسیسات بزرگ صنعتی برای افت ولتاژهای در حد ۰,۸۵ تا ۰,۹ پریونیت که مدت زمان ۱۶ میلی ثانیه موجود می باشد. تجهیزات حساس به ولتاژ معمولاً بیش از مدت زمان وقوع فلش ولتاژ به دامنه ولتاژ در مدت زمان فلش ولتاژی حساسیت نشان می دهند.

مشخصات دامنه ای فلش های ولتاژی

دامنه و مدت زمان دو مشخصه مهم فلش های ولتاژی می باشند. در استاندارد IEEE دامنه فلش، ولتاژ باقیمانده (remaining voltage) می باشد در حالی که در استاندارد IEC میزان فلش ولتاژی، مقدار ولتاژی است که از ۱ پریونیت کم شده است.

تعداد فازها

فلش های ولتاژی معمولاً هر سه فاز را به یک اندازه متأثر نمی کنند. یک رویکرد معمول معرفی پایین ترین مقدار ولتاژ در بین سه فاز به عنوان فرورفتگی ولتاژ است. با این رویکرد، برای هر خط تنها اتفاق افتادن یک فرورفتگی ولتاژ ثبت می گردد. علی ایحال ممکن است یک تجهیز سه فاز در صورتی که ولتاژ در فاز دیگر از یک مقدار مشخص به (عنوان مثال ۰,۸۷ pu) بیشتر باشد به درستی به کار خود ادامه دهد. رویکرد دوم گزارش وقوع فلش ولتاژی در هر یک از سه فاز بصورت جداگانه است. برای تخمین فلش ولتاژی از دید مشترکین و تجهیزات تک فاز در این حالت باید از میانگین گیری استفاده کرد.

در رویکرد سوم فرض می شود بارهای سه فاز به متوسط اندازه ولتاژ در سه فاز حساس باشند. این روش هم مانند اول در هر حادثه تنها یک فرورفتگی ولتاژ را گزارش می کند.

انجام عمل باز بست (Reclosing) در هنگام خطاهای موقتی

باز بست خودکار یک عملیات مرسوم در شبکه های فشار متوسط و فشار قوی می باشند. این قضیه باعث بوجود آمدن مشکل دیگری در محاسبه ی فرکانس وقوع فلش های ولتاژی می شود. دو روش کلی برای محاسبه ی تعداد فلش های ولتاژی در حضور باز بست وجود دارد.

در روش اول اگر بیش از یک فلش ولتاژی در یک محدوده زمانی کوتاه اتفاق بیفتد (به عنوان مثال ۲ دقیقه) آن فلش های ولتاژی به عنوان یک فلش در نظر گرفته می شوند. اساس این تقسیم بندی این است که تجهیزات شرکت ممکن است در اولین فلش ولتاژی از مدار خارج شوند. در اینجا مشکل اصلی انتخاب بازه زمانی ذکر شده می باشد.

روش دوم برای محاسبه فرکانس وقوع فلش های ولتاژی لحاظ کردن تمامی حالاتی که فلش اتفاق می افتد می باشد. حتی اگر فاصله زمانی بین دو اتفاق از چند ثانیه بیشتر نباشد. این روش از روش اول دقیق تر می -

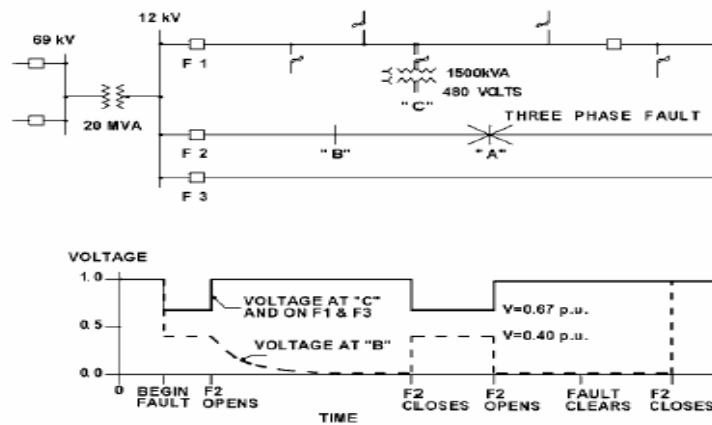
باشد ولی مسلماً باعث می شود که در محاسبه ی خسارات ناشی از فلش های ولتاژی تخمین بیش از حد (Overstimation) انجام گیرد.

پرش فاز در هنگام فلش های ولتاژی (phase jump)

وقوع اتصال کوتاه در سیستم های قدرت با امیدانس های پیچیده شبکه معمولاً منجر به ایجاد پرش در زاویه فاز ولتاژ می گردد. در حالات شدید، پرش فاز در ولتاژهای فاز (فاز به زمین) منجر به کاهش قابل توجه ولتاژ خط می شود. پرش فاز معمولاً در پژوهش های میدانی فلش ولتاژی مورد توجه قرار نمی گیرد و در استاندارد IEEE نیز به آن توجهی نشده است. البته باید به این نکته توجه داشت که تجهیزات کنترل شونده با فاز ممکن است بواسطه ی تشخیص اشتباه زاویه آتش از پرش فاز تأثیر پذیرند (به عنوان مثال یکسو کننده های تریستوری).

اتصال کوتاه - دلیل اصلی پیدایش فلش ولتاژی

بعضی از مطالعات مبین این حقیقت است که تقریباً تمام فلش های ولتاژی عمیق ناشی از اتصال کوتاه یا در تأسیسات شرکت و یا در خطوط توزیع و انتقال می باشند. البته استارت شدن موتورهای بزرگ و دستگاه های جوشکاری هم بی تأثیر نیستند. در این جا مثالی که در استاندارد ۲۰۰۷-۴۹۳TM IEEE آورده شده است اشاره می کنیم. سیستم توزیع شکل زیر را برای مشخص شدن این که چطور یک اتصال کوتاه می تواند منجر به پیدایش فلش ولتاژی شود کمک قابل توجهی می کند. این شکل یک پست با ظرفیت ۲۰MVA را با ۳ فیدر توزیع نشان می دهد.

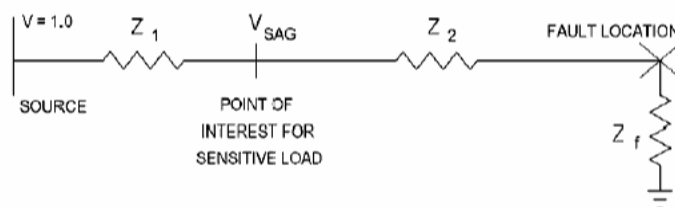


شکل ۲-۶ فرورفتگی فلش ولتاژی ناشی از بروز خطا در شبکه [۲۱]

قسمت پایینی این شکل نشان می دهد که هنگام وقوع یک اتصال کوتاه سه فاز در فیدر F_1 (نقطه A) ولتاژ در نقاط B و C چگونه می شود. خط نقطه چین ولتاژ در نقطه B و خط ممتد ولتاژ در فیدرهای F_1 و F_2 را نشان می دهد.

دامنه فلش های ولتاژی

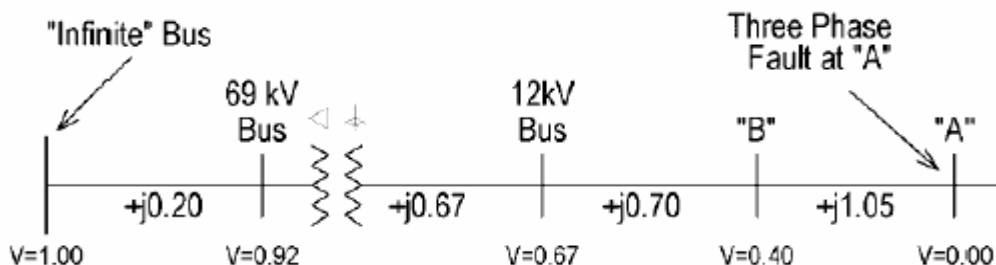
توانایی محاسبه دامنه فلش های ولتاژی برای پیش بینی دامنه ی گسترش این پدیده در باس های دیگر اساسی است. این پروسه به دانستن امپدانس های شبکه، امپدانس خطا و محل خطا نسبت به بارهای حساس بستگی دارد. این نکته همچنین ضروری است که نحوه ی اتصال ترانسفورماتورها قبل از بروز خطا را بدانیم. برای این منظور یک مدل مبتنی بر فازورها برای انجام محاسبات ضروری است. این رویکرد یک راه حل حالت دائمی (Steady State) را موجب می شود. اندازه ولتاژها و امپدانس ها در این محاسبات فازور هستند. شکل ۲-۷ شکل پایه برای محاسبه ی فلش ولتاژی را نشان می دهد.



شکل ۲-۷ شبکه ساده برای محاسبه دامنه فلش ولتاژی [۲۰]

$$V_{sag} = \frac{Z_v + Z_f}{Z_v + Z_v + Z_f} p.u. \quad (15-2)$$

در این قسمت محاسبات برای یک شبکه نمونه نشان داده می شود.



شکل ۸-۲ دیاگرام تک خطی یک شبکه نمونه [۲۱]

در هنگام وقوع اتصال کوتاه در نقطه A با استفاده از مفهوم ساده تقسیم ولتاژ داریم.

$$V_B = \frac{j1.05}{j1.05 + j0.7 + j0.67 + j0.2} = 0.4 pu$$

ولتاژ در باس ۱۲ کیلوولت داریم:

$$V_{12KV} = \frac{j1.05 + j0.7}{j1.05 + j0.7 + j0.67 + j0.2} = 0.67 pu$$

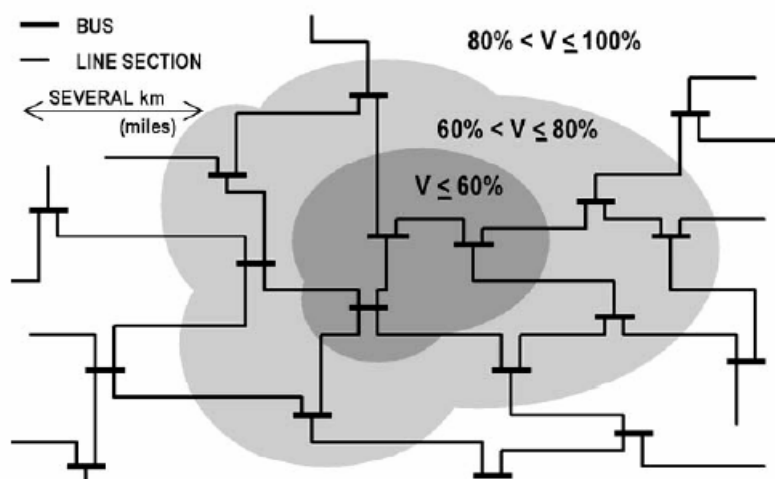
ولتاژ در باس ۶۹ کیلوولت داریم:

$$V_{69KV} = \frac{j1.05 + j0.7 + j0.67}{j1.05 + j0.7 + j0.67 + j0.2} = 0.92 pu$$

این محاسبات نشان می دهد که خطا در یک فیدر چگونه می تواند تمام شبکه همسایه را تحت تأثیر قرار دهد.

شکل ۹-۲ پروفایل فلش ولتاژی در یک شبکه انتقال که دیاگرام تک خطی ساده شده آن نشان داده شده

است را نشان می دهد.



شکل ۲-۹ پروفیل فلش ولتاژ در یک شبکه انتقال نمونه [۲۱]

همچنین جدول ۲-۸ تأثیر فاصله الکتریکی از محل خط را بر روی فلش ولتاژی باس های دیگر نشان می دهد این جدول را نشان می دهد که فاصله با میزان فرورفتگی ولتاژ تأثیر عکس دارد.

جدول ۲-۸ رابطه ولتاژ شبکه و فاصله از محل خط در هنگام وقوع یک خطا در یک شبکه EHV^۱ [۲۱]

Distance from the fault (km)	Lowest phase voltage for each type of fault		
	3-phase	Phase-to-phase	Phase-to-ground
0 to 8	0 to 0.6	0 to 0.7	0 to 0.75
42	0.71	0.82	0.87
56	0.67	0.76	0.81
64	0.71	0.78	0.84
86	0.84	0.88	0.91
153	0.94	0.97	0.95
156	0.88	0.91	0.92

به همین دلیل در این جا به بررسی مقاله ای با عنوان Voltage sag propagation in systems with

embedded generation and induction motors پرداخته می شود [۲۳].

^۱ - Extra High Voltage

این مقاله نتایج آنالیز فرورفتگی ولتاژ در شبکه توزیع را بیان می کند. ارزیابی فرورفتگی ولتاژ در شبکه های توزیع نمونه با تعداد باس های مختلف با توپولوژی های متفاوت بررسی شده اند. خطاهای متقارن و نامتقارن در نقاط مختلف شبیه سازی شده اند. در این جا شاخص های جدیدی برای ارزیابی جبران فرورفتگی ولتاژ پیشنهاد شده است. همچنین اثرات ژنراتورهای پراکنده و موتورهای القایی داخل شبکه بر شاخص های جبران فرورفتگی ولتاژ بررسی شده است. سیستم نمونه یک شبکه توزیع نمونه با مشخصات زیر می باشد.

۲۶۵ باس، ۳۰۰ خط و کابل، ۴ پست ۴۰۰KV/۱۳۲KV، ۲ پست ۲۷۵KV/۱۳۲KV و ۵ ژنراتور به صورت پراکنده در نقاط مختلف ۱۰٪ کل بار را تشکیل می دهند. (هم سنکرون هم آسنکرون). خطاهایی که انتخاب شده است در سطوح ولتاژ متفاوت و مکان های متناوب به صورت تصادفی انتخاب شده است. ولتاژهای قبل از خطا از پخش بار- موتورهای القایی ۶۰٪ کل بار را تشکیل می دهند، این موتورها در سطح ولتاژهای ۱۱ و ۳۳ کیلوولت قرار دارند.

اندیس انتشار کاهش ولتاژ برای یک خطای متقارن

روش های متفاوتی برای بررسی تأثیر توپولوژی شبکه توزیع بر میزان انتشار کاهش ولتاژ وجود دارد. یکی از آنها محاسبه تعداد باس ها در یک رنج ولتاژ مشخص به عنوان مثال بین 0.8^{pu} تا 0.9^{pu} است. نمونه ای از این محاسبات در جدول ۲-۹ نشان داده شده است.

جدول ۹-۲ تقسیم بندی بر حسب سطوح ولتاژ [۲۳]

Voltage ranges	$U > 0.9$			$0.9 > U > 0.8$			$0.8 > U > 0.7$			$0.7 > U > 0.5$			$0.5 > U$		
	NUMBER OF NODES														
Network configuration	radial	Medium meshed	meshed	radial	Medium meshed	meshed	radial	Medium meshed	meshed	radial	Medium meshed	meshed	radial	Medium meshed	meshed
۳ faults at HV level	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۶۱	۸۶۱	۸۶۱
۳ faults at MV level	۲	۲	۲	۲۵	۲۵	۲۵	۶۷	۳۰	۲۵	۴۲۹	۴۱۲	۳۴۵	۲۶۸	۳۹۲	۴۶۴
۱۹ faults at LV level	۳۶۴۸	۲۵۴۳	۱۶۶۶	۷۱۵	۹۸۳	۱۱۳۰	۱۳۹	۵۳۳	۷۷۰	۲۰۵	۳۳۸	۷۹۲	۸۱۷	۹۵۲	۱۰۹۵
TOTAL	۳۶۵۰	۲۴۵۵	۱۶۶۸	۷۴۰	۲۰۶	۵۶۳	۷۹۵	۶۳۴	۷۵۰	۱۱۳۷	۱۹۴۶	۲۲۰۵	۱۱۳۷	۲۲۰۵	۲۴۲۰

برای امکان آنالیز بهتر یک اندیس انتشار کاهش ولتاژ تعریف می کنیم.

$$SPI_{\%v}^n = \frac{\sum N_{Bi}}{\sum N_{Bt}} \quad (16-2)$$

به عنوان مثال برای یک شبکه توزیع شعاعی با ۲۸۷ باس و ۲۱۴ باس که فرورفتگی های ولتاژی با دامنه

بزرگتر از ۹٪ پریونیت را تجربه می کنند داریم :

$$\frac{287 - 214}{287} SPI_{\%v}^n = 0.254$$

در حالت ایده آل SPI باید نزدیک صفر باشد ولی این امر در واقعیت اتفاق نمی افتد. علاوه بر این فرورفتگی

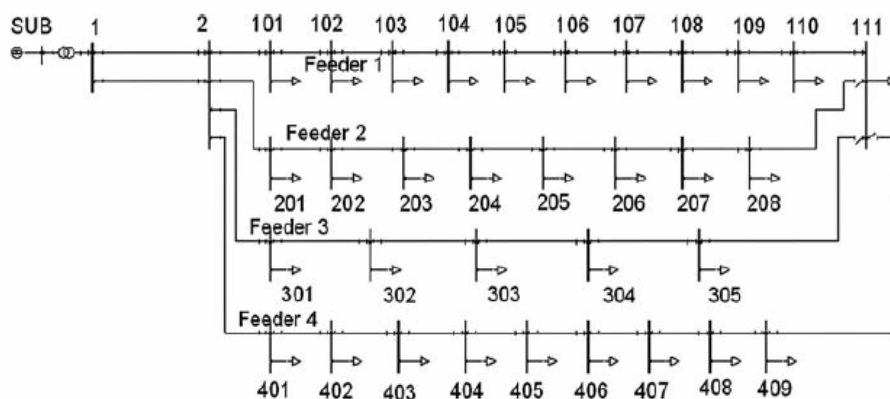
ولتاژ یا به طور کلی فلش های ولتاژی می تواند موجب عملکرد سیستم حفاظتی واحد و در نتیجه وقوع

خاموشی در شبکه شود.

۲-۱۰-۵ تاثیر نوع ژنراتور واحد تولید پراکنده

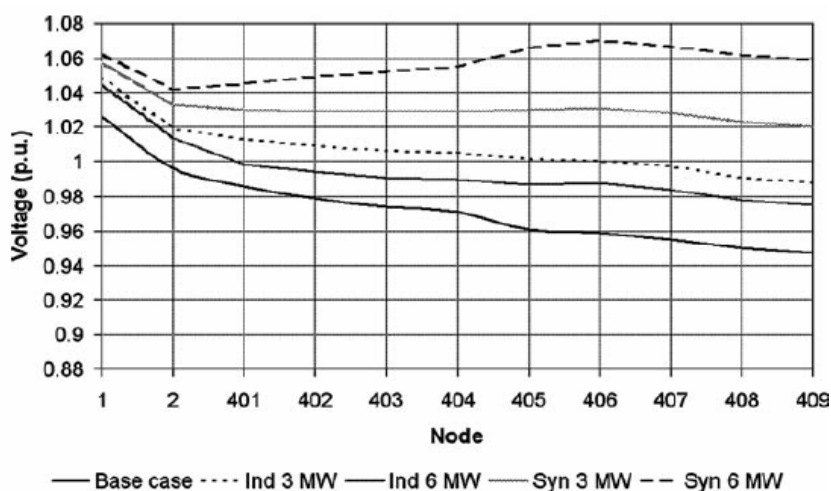
استفاده از منابع تولید پراکنده به علت اینکه مانع از جاری شدن جریان در شاخه های طولانی می شوند می-توانند تاثیر بسزایی در جلوگیری از افت ولتاژ و تحویل ولتاژی کمتر از مقدار مجاز به مشترک داشته باشند. این مسئله بسته به اینکه واحد تولید پراکنده چه نوع ژنراتوری را مورد استفاده قرار می دهند می تواند از جهات مختلفی مورد بررسی قرار گیرد. ژنراتورهای سنکرون و آسنکرون به این دلیل که می توانند در جهات مختلف با شبکه تبادل توان راکتیو داشته باشند تاثیرهای متفاوتی را بر پروفیل ولتاژ شبکه دارند [۲۴]. ژنراتور سنکرون می تواند تولید کننده یا جذب کننده توان راکتیو باشد در حالی که ژنراتورهای القایی تنها مصرف کننده توان راکتیو می باشند. DG هایی که با واسط اینورتری مورد استفاده قرار می گیرند می توانند در یک رنج مشخص بازه ی توان راکتیو تولیدی یا مصرفی را تغییر دهند. این توان خروجی به همراه نسبت R/X شبکه توزیع و پروفیل بار شبکه تعیین می کند که ولتاژ در نقطه اتصال DG به شبکه افزایش می یابد یا خیر.

این قسمت با یک مثال عینی که در کتاب Handbook of Power Quality آورده شده است مورد بررسی - قرار داده می شود [۲۴]. شکل زیر قسمتی که یک شبکه توزیع موجود در کشور بلژیک را به نمایش می گذارد. این سیستم از یک ترانسفورماتور با ظرفیت ۱۴MVA (سطح ولتاژ ۷۰KV/۱۰KV) و همچنین ۴ فیدر کابلی درست شده است.



شکل ۲-۱۰ یک شبکه توزیع نمونه [۲۴]

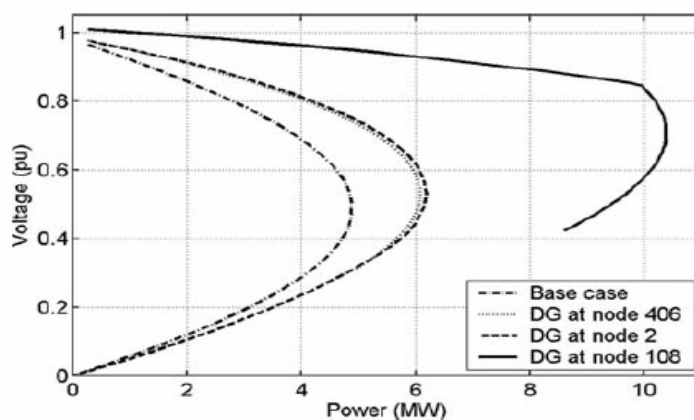
یک واحد تولید پراکنده به باس ۴۰۶ از فیدر ۴ متصل شده است. این واحدها می توانند ژنراتورهای القایی یا سنکرون باشند. بار این چهار فیدر ۹/۹۲ مگاوات توان اکتیو و ۴/۹ مگاوات توان راکتیو می باشد. هر دو ژنراتور سنکرون و القایی در ظرفیت های ۳ و ۶ مگاوات قرار داده شده اند. ژنراتور سنکرون ضریب توان معادل ۰.۹۸ دارد (تحويل کننده توان راکتیو به شبکه) شکل زیر حالت های مختلف استفاده از ژنراتور القایی و ژنراتور سنکرون در ظرفیت های ۳ و ۶ مگاوات را نشان می دهد.



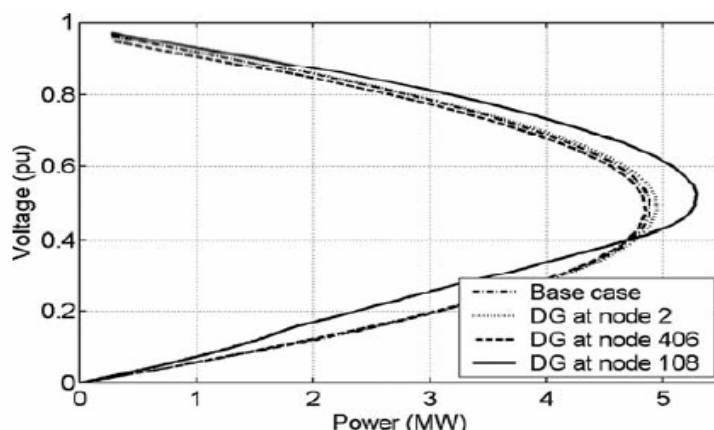
شکل ۲-۱۱ مقایسه پروفایل ولتاژ در حالات استفاده از ژنراتورهای سنکرون و القایی با توان های مختلف [۲۴]

۲-۱۰-۶ پایداری استاتیکی ولتاژ در شبکه های توزیع در حضور DG

شکل های ۲-۱۴ و ۲-۱۵ شرایط پایداری استاتیکی ولتاژ را در دو حالت استفاده از ژنراتور سنکرون و آسنکرون در شبکه یاد شده در قسمت قبل را نشان می دهند.



شکل ۲-۱۲ مقایسه پایداری استاتیکی ولتاژ در حالات معمولی و استفاده از DG (ژنراتور سنکرون) [۲۴]



شکل ۲-۱۳ مقایسه پایداری استاتیکی ولتاژ در حالات معمولی و استفاده از DG (ژنراتور آسنکرون) [۲۴]

به دلیل ظرفیت بالای تزریق توان راکتیو، استفاده از ژنراتور سنکرون تاثیر قابل ملاحظه‌ای در پایداری استاتیکی ولتاژ دارد. از طرفی استفاده از واحدهای تولید پراکنده‌ای که در آنها از ژنراتور آسنکرون استفاده می‌شود. در مقایسه با واحدهایی که ژنراتور سنکرون دارند تاثیری کمی بر بهبود پایداری استاتیکی دارد. دلیل مفید فایده نبودن ژنراتورهای آسنکرون از این لحاظ، جذب توان راکتیو از شبکه می باشد. علی رغم این مطلب هنگام نصب در نقاط ضعیف (نقطه ۱۱۱ در شبکه مورد مطالعه) ژنراتورهای آسنکرون هم تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر پایداری استاتیکی ولتاژ دارد. عدم نیاز به انتقال توان به فاصله طولانی و در نتیجه کاهش قابل ملاحظه افت ولتاژ در انتهای فیدر و پشتیبانی ولتاژ، علت اصلی بهبود قابل ملاحظه در پایداری استاتیکی می باشد. این تغییر موجب می شود شبکه توزیع بارگذاری‌های بالاتر را تحمل کند. همچنین با استفاده بهینه از ظرفیت‌های شبکه توزیع، توسعه زیر ساخت‌های فوق توزیع و انتقال به بازه‌های زمانی دورتری موکول می شود.

فصل سوم

الگوریتم ژنتیک

۳-۱ مقدمه

در ادبیات فنی تولید پراکنده مقالات زیادی دیده می‌شود که به مقوله جایابی و ظرفیت‌یابی بهینه منابع تولید پراکنده پرداخته‌اند.

در مطالعات انجام شده از روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی به منظور جابجایی بهینه منابع تولید پراکنده استفاده شده است. در جایابی بهینه منابع تولید پراکنده پارامترهای گوناگونی در نظر گرفته می‌شوند. این پارامترها عبارتند از کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ، حداقل‌سازی هزینه‌های بهره‌برداری، حداقل‌سازی تغییر آرایش رله‌گذاری و حداقل‌سازی تغییر در ستیگ رله‌های موجود در شبکه، حداقل‌سازی تغییر آرایش کلیدها و... به این منظور از الگوریتم‌های متفاوت بهینه‌سازی استفاده شده است.

علاوه بر روش‌های تحلیلی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلاسیک از روشهایی همچون الگوریتم ژینک (GA^1) سرد شدن تدریجی فلزات (SA^2) بهینه‌سازی هجوم ذرات PSO^3 و الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند متغیره (Multiobjective optimization Algorithm) که در آن به جای دستیابی به یک نقطه اپتیمم با توجه به چندگانه بودن تابع هدف به یک دسته نقاط بهینه می‌رسیم.

۳-۲ الگوریتم ژنتیک

انتخاب و طراحی بهینه در بسیاری از مسائل علمی و فنی باعث تولید بهترین محصول با جواب ممکن در یک شرایط خاص می‌شود [۲۵]. بهترین محصول یا داشتن بهترین شرایط بهره‌برداری از سیستم می‌شود. برای مثال اگر یک سیستم دارای حالت‌های مختلف برای کارکرد باشد، چگونگی تشخیص بهینه جواب مسئله به این سادگی نخواهد بود. هنگامی که تعداد حالات کم است، می‌توان تمام راه-

۱. Genetic Algorithm

۲. Simulated Annealing

۳. Particle Swarm Optimization

حل‌ها را بررسی کرده و بهترین را بدست بیاوریم. حال اگر فضای جستجوی ما بسیار گسترده باشد، آنالیز تمام راه‌حل‌ها بسیار مشکل و حتی گاهی ناممکن می‌باشد.

در نهایت مطلوب، پیدا کردن یک تابع هدف^۱ و یا یک تابع هزینه^۲ به صورت حداکثر و یا حداقل است برای حل این گونه مسائل از روش‌های بهینه‌سازی مختلفی پیشنهاد شده‌اند. از سال ۱۹۴۰ روش‌هایی به عنوان روش‌های کلاسیک مطرح هستند. از جمله می‌توان راهکارهای زیر اشاره کرد.

۱- برنامه‌ریزی خطی (Linear Programming)

۲- برنامه‌ریزی غیر خطی (Non Linear Programming)

۳- برنامه‌ریزی پویا (Dynamic Programming)

۴- روش اکتشافی (Inventory)

۵- روش صف (Queuing)

۶- روش جایگزینی (Replacement)

۷- روش زمان بندی (Scheduling) و...

روش‌های جدیدی که امروزه مطرح می‌باشند:

۱- Simulated Annealing

۲- Ant Colony

۳- Random Cost

۴- Evolution Energy

۵- Genetic Algorithm

۶- Cellular Automata

^۱ .Objective Function

^۲ .Cost function

همان طور که می‌دانیم در بیشتر مسائل، هدف پیدا کردن یک تابع هدف^۱ و یا تابع هزینه^۲ و به صورت حداکثر^۳ یا حداقل^۴ است. یعنی به طور ریاضی هدف پیدا کردن X در A است اگر داشته باشیم:

$$F(X) \leq F(X) \text{ برای حداقل} \quad (۱-۳)$$

$$F(X) \leq F(X) \text{ برای حداکثر}$$

۳-۲-۱ تاریخچه الگوریتم‌های ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم تکاملی^۵ در سال ۱۹۶۰ توسط رچنبرگ^۶ مطرح گردید. الگوریتم‌های ژنتیک که منشعب از این نوع الگوریتم‌ها است، در حقیقت روش جستجوی کامپیوتری بر پایه الگوریتم‌های بهینه سازی و بر اساس ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌ها است که توسط پروفیسور هلند^۷ در دانشگاه میشیگان مطرح شد و پس از وی توسط جمعی از دانشجویانش مثل گلدبرگ^۸ و ان اربور^۹ توسعه یافت.

۳-۲-۲ مفاهیم پایه

فضا برای رسیدن به جواب بهینه توسط روش‌های جستجوی طبقه بندی شده موجود ممکن نیست. الگوریتم‌های ژنتیک تفاوت بسیار زیادی با روش‌های بهینه سازی قدیمی دارد. در این الگوریتم‌های ژنتیک یک روش جستجوی موثر در فضاهای بسیار وسیع و بزرگ است که در نهایت منجر به جهت

^۱ Objective function

^۲ Cost function

^۳ Maximum

^۴ Minimum

^۵ Evolutionary

^۶ Rechenberg

^۷ Holland

^۸ Goldberg

^۹ Ann arbor

گیری به سمت پیدا کردن یک جواب بهینه می‌گردد. الگوریتم ژنتیک جزیی از محاسبات تکاملی است که به سرعت در زمینه هوش مصنوعی رشد کرده و از تئوری تکاملی داروین الهام گرفته شده است. اساس این نظریه، طراحی فرایندهایی با شبیه سازی سیستم‌های طبیعی است. معمولاً این راه حل برای مسائلی به کار برده می‌شود که فضای جستجویی به نسبت بزرگی دارند. وامکان پیمایش این الگوریتم‌ها باید فضای طراحی^۱ به فضای ژنتیک^۲ تبدیل شود. بنابراین الگوریتم‌های ژنتیک با یک سری متغیرهای کد شده کار می‌کنند. مزیت کار با متغیرهای کد شده در این است که اصولاً کدها قابلیت تبدیل فضای پیوسته به فضای گسسته را دارند. یکی از تفاوت‌های اصلی روش GA^۳ با روش‌های قدیمی بهینه سازی در این است که در GA با جمعیت^۴ یا مجموعه‌ای از نقاط در یک لحظه خاص کار می‌شود، در حالی که در روش‌های قدیمی بهینه سازی فقط برای یک نقطه خاص عمل می‌شود. این بدان معنی است که GA تعداد زیادی از طرح‌ها را در یک زمان مورد پردازش قرار می‌دهد. نکته جالب دیگر این است که اصول GA بر پردازش تصادفی^۵ یا به تعبیر صحیح تر پردازش تصادفی هدایت شده^۶ استوار است. بنابراین عملگرهای تصادفی فضای جستجو را به صورت تطبیقی^۷ مورد بررسی قرار می‌دهند.

اصولاً برای استفاده از GA باید سه مفهوم مهم زیر مشخص شود:

۱- تعریف تابع هدف یا تابع هزینه

۲- تعریف و پیاده سازی فضای ژنتیک

۳- تعریف و پیاده سازی عملگرهای GA

^۱ Design space

^۲ Genetic space

^۳ Genetic algorithm

^۴ Population

^۵ Random

^۶ Guided random

^۷ Adaptive

اگر این سه قسمت به طور صحیح تعریف شوند، بدون شک GA به خوبی به جواب بهینه میل می-کند [۲۵].

۳-۲-۳ فضای جستجو

در حل یک مساله هدف پیدا کردن بهترین جواب از میان جواب‌های مختلف است. فضای همه حالت-های ممکن در حل یک مساله را فضای جستجو می‌نامند. هر جواب می‌تواند یک مقداری که بیانگر مناسب بودن آن است، نشان داده می‌شود. جستجو برای جواب به معنی جستجو برای پیدا کردن اکستریم در فضای جستجو است.

پیچیده و بزرگ بودن فضاهای جستجو و اینکه نمی‌دانیم که از کجای فضا باید عمل جستجو را انجام دهیم ما را به استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک سوق می‌دهد.

الگوریتم‌های ژنتیک با الهام از تئوری داروین درباره حیات بهترین‌ها شکل گرفته است. بنابراین می-توانیم بگوییم که GA بر اساس اصل "ادامه بهترین‌ها" و "تکثیر نوع برتر" پی ریزی شده است. در ابتدا الگوریتم با مجموعه ای از جواب‌های تصادفی (کروموزوم‌ها) که به آنها جمعیت اولیه می‌گویند آغاز می‌گردد. از این جواب‌ها برای ساخت جمعیت بعدی استفاده می‌شود به این امید که جمعیت‌های جدید بهتر از جمعیت‌های قدیم باشند. زیرا روش‌هایی که برای انتخاب جمعیت‌های جدید استفاده شده با توجه به مناسب بودن بودن آنها صورت گرفته است. پس بهترین‌ها شانس بیشتری برای تولید مثل خواهند داشت. این فرایند آنقدر تکرار می‌شود تا شرایط خاتمه (برای دستیابی به بهترین راه حل) محقق شود.

۳-۲-۴ روش کار در GA [۲۵]

به الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم‌های کور^۱ می‌گویند. زیرا آن‌ها هیچ دانشی از مسئله ندارند. جواب‌های مسائل که اغلب اعداد حقیقی در یک رنج هستند، به صورت یک رشته از بیت‌ها کدگذاری^۲ می‌شود که به آن‌ها کروموزوم^۳ می‌گویند. به هر بیت از این رشته یک ژن گویند. GA مجموعه جواب‌ها را ارزش‌گذاری می‌کند و سپس یک مجموعه جدید از رشته‌ها را با استفاده از بیت‌های رشته‌های جواب قبل می‌سازد و در ضمن داده تصادفی هم به آن اضافه می‌کند تا از رکود جواب‌ها جلوگیری کند. ارزش‌گذاری جواب‌ها که ذکر شد توسط تابعی به نام تابع هدف انجام می‌گیرد. تابع هدف یک رشته جواب را می‌گیرد و یک ارزش مرتبط (بر اساس معیارهای مسئله‌ای که الگوریتم آن را حل می‌کند) به آن نسبت می‌دهد. سپس از این ارزش‌ها برای انتخاب رشته بهتر استفاده می‌شود.

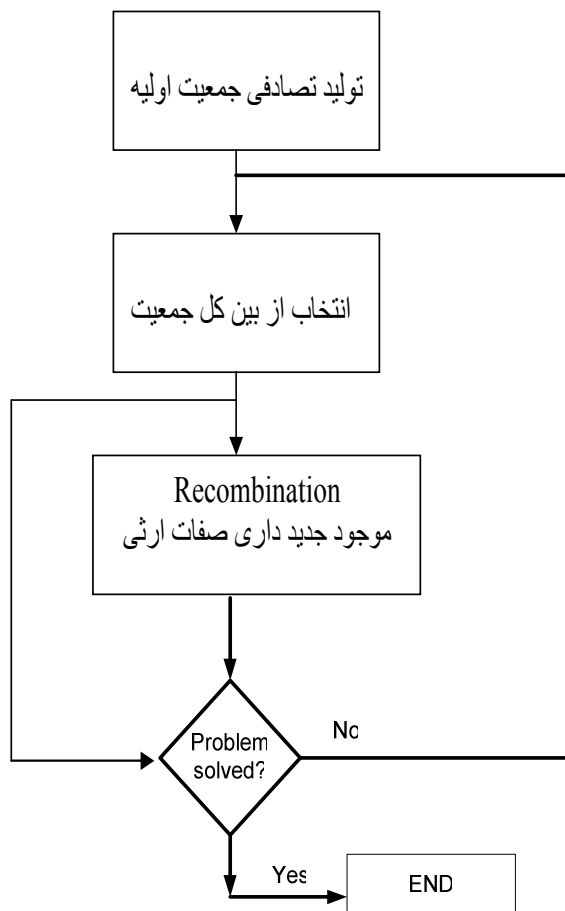
جمعیت جواب‌ها را می‌توان جمعیتی از جانداران تصور کرد. همان‌طور که در طبیعت مشاهده می‌کنیم جانداران ضعیف‌تر تمایل به حذف از چرخه دارند، بچه‌هایی نیز تولید نمی‌کنند در حالی که قوی‌ترها تمایل به جفت‌گیری و ترکیب صفات و تولید بچه جدید و احتمالاً یکتا دارند که چرخه را ادامه دهند.

با همین ایده‌ها الگوریتم ژنتیک نیز یک چرخه دارد که جواب‌ها تولید می‌شوند و بنا به ارزشی که از تابع هدف دریافت می‌کنند از چرخه حذف می‌شوند یا ادامه می‌دهند. شکل ۱-۳ یک حلقه اصلی GA را نشان می‌دهد.

^۱ Blind

^۲ Encode

^۳ Chromosomes



شکل ۳-۱ فلوجارت ساده عملکرد الگوریتم ژنتیک [۲۵]

فرض کنیم که یک مساله ماکزیمم سازی داشته باشیم خواهیم داشت:

$$\text{Maximize } f(x), \quad X_i^L \leq X_i \leq X_i^U \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2-3)$$

و اگر بخواهیم $f(x)$ مینیمم شود برای $f(x) \geq 0$ تابع هدف را به صورت زیر می نویسیم:

$$\text{Maximize } \frac{1}{1 + f(x)} \quad (3-3)$$

و اگر $f(x) < 0$ به جای مینیمم کردن $f(x)$ می توانیم ماکسیمم $-f(x)$ را بدست آوریم.

$$\text{Maximize } (-f(x)) \quad (4-3)$$

۳-۲-۵ کدگذاری (Encoding)

این مرحله شاید مشکلترین مرحله حل مساله به روش الگوریتم ژنتیک باشد. این مرحله به این مفهوم است که باید با ارائه یک شبیه‌سازی و جایگذاری^۱ خوب برای کلیه جوابهای ممکن مراحل بعدی را ادامه داد. اهمیت این مرحله به این دلیل است که نحوه ادامه کار به این مرحله بستگی دارد. در واقع در این مرحله رشته‌های کروموزومی یا همان رشته‌های بیتی ممکن برای جوابها ساخته می‌شود. چه بسا بتوان با یک شبیه‌سازی خوب برای جوابها الگوریتم را در یک زمان خوب و معقول پیش برد. بعد از ساختار بندی برای هر جواب ممکن از کنار هم گذاشتن این ساختارها جمعیت اولیه^۲ ساخته می‌شود. برای مثال برای شبیه‌سازی اعداد یک روش معمول که به کار می‌رود عبارتست از تبدیل عدد به یک رشته باینری.

$$\begin{aligned} 13 &\rightarrow 1101 \\ 9 &\rightarrow 1001 \end{aligned} \quad (\text{رشته با طول } 4)$$

۳-۲-۶ عملگرهای GA

در این قسمت عملگرهایی که توسط الگوریتم ژنتیک برای انتخاب و تولید نسل جدید استفاده می‌شود، معرفی می‌شود. [۲۵]

تولید مثل

تولید مثل معمولاً اولین عملی است که بر روی جمعیت اعمال می‌شود. در این روش یک سری کروموزوم از میان جمعیت به عنوان والد انتخاب شده که در نهایت با عمل ادغام^۳ منجر به تولید فرزندان می‌شوند.

^۱ Representation

^۲ First Population

^۳ Cross over

بر اساس نظریه حیات بهترین‌ها باید بهترین موارد انتخاب شوند تا نسل بعدی بهتری را تولید کنند. به همین دلیل گاه به عملگر تولید مثل^۱ عملگر انتخاب^۲ نیز گفته می‌شود. روش‌های انتخاب مختلفی در GA برای انتخاب کروموزوم‌ها وجود دارد. اما هدف اصلی در همه آنها انتخاب رشته‌هایی با میانگین بالا از جمعیت فعلی و تولید کپی‌های چندگانه از آنها و قرار دادن آنها در یک مکان به نام استخر تولید مثل^۳ بر اساس یک فرم احتمالی است.

انواع روش‌های انتخاب

روش‌های مختلفی برای انتخاب کروموزوم‌ها ادغام آنها وجود دارد که مهمترین این روشها عبارتند از

۱. روش چرخ رولت^۴
۲. روش بولتزمن^۵
۳. روش مسابقه (Tournament)
۴. روش رتبه بندی (Rank)
۵. روش حالت پایدار (Steady State)

الف - روش چرخ رولت (Roulette Wheel)

یکی از روش‌های متداول در انتخاب یک رشته از داخل استخر (جایی که جمعیت‌های برتر قرار دارند) استفاده از عملگری است که مبتنی بر یک احتمالی از تابع Fitness باشد. بنابراین رشته i ام در جمعیت با یک احتمالی از F_i (که مقدار تابع Fitness برای آن رشته است) انتخاب می‌شود که باید حاصل جمع این احتمال‌ها نیز برابر یک شود. احتمال رشته انتخابی i ام برابر است با:

^۱ Reproduction

^۲ Selection operator

^۳ Mating pool

^۴ Roulette Wheel

^۵ Boltzman

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad (5-3)$$

که n اندازه جمعیت است.

در نتیجه رشته‌هایی با مقدار Fitness بالاتر از شانس بیشتری برای کپی شدن در Mating pool برخوردار خواهند بود که عکس این مطلب نیز صادق است، یعنی رشته‌هایی با مقدار Fitness کمتر احتمال کمتری برای کپی شدن در Mating pool خواهند داشت.

ب- روش بولتزمن (Boltzman)

این روش در تکنیک جستجوی Simulated Annealing (با الهام از فرایند سرد شدن فلزات مذاب برای پیدا کردن یک تابع مینیمم) کاربرد دارد و از مفهوم توزیع احتمال بولتزمن استفاده می‌کند. این روش در GA چندان متداول نیست.

پ- روش رقابتی^۱

در روش رولت گاهی با مشکلاتی از قبیل کندی و همگرایی ناگهانی جستجو به خاطر کوچک شدن سریع فضای جستجو مواجه می‌شویم. به همین جهت معمولاً از روش دیگری به نام روش رقابتی استفاده می‌شود.

بر خلاف رولت در روش رقابتی که شبیه رقابت در طبیعت است، یک زیر مجموعه کوچکی از کروموزوم‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده و به رقابت می‌پردازند. سرانجام در این رقابت بر اساس میزان مناسب بودن یکی از آنها به پیروزی رسیده و به عنوان والد جدید در Mating pool کپی می‌شود. و این فرایند تا تولید همه والدها در جمعیت جدید تکرار می‌شود.

^۱ Tournament

ت- روش رتبه بندی^۱

در روش رولت اگر مقادیر تابع هدف خیلی با هم تفاوت داشته باشد، مشکل ایجاد خواهد شد. مثلاً اگر بهترین تابع هدف یک کروموزوم ۹۰ درصد باشد، در حدود ۹۰ درصد از شکل را اشغال خواهد کرد. بنابراین سایر کروموزومها شانس کمتری برای انتخاب شدن خواهند داشت.

در روش رتبه بندی ابتدا جمعیتها را رتبه بندی کرده و سپس انتخاب کروموزومها بر اساس Fitness مبتنی بر رتبه صورت می گیرد. مثلاً بدترین حالت دارای Fitness یک و به همین ترتیب مورد بعدی دو و الی آخر در نهایت بهترین مورد دارای Fitness برابر N خواهد بود.

ث- روش حالت پایدار^۲

این روش یک متد خاصی نیست و اساس آن بر این اصل استوار است که کروموزومهای نامناسب حذف شده و والدهای جدید جایگزین می شوند و بقیه موارد نسل بعدی را شکل می دهد.

ادغام

در قسمت قبل نحوه کد کردن و به دست آوردن تابع هدف و همچنین نحوه انتخاب کروموزومها را مورد بررسی قرار دادیم که بر اساس احتمال و روشهای مختلف جمعیتهای جدیدی را تولید می کردند. اما هیچ کدام از آنها رشتههای جدیدی را در فاز انتخاب تولید نمی کنند. در این قسمت و قسمت بعد به عملگرهای مهم دیگر GA مثل ادغام و جهش^۳ پرداخته می شود. عملگرهای وراثتی^۴ متعددی نیز برای تولید رشتههای بهتر وجود دارد که هدف این عملگرها جستجوی فضای پارامترها و تا حد امکان حفظ اطلاعات نهفته در رشتهها است. چرا که والدها بهترین موارد انتخاب شده توسط

^۱ Rank

^۲ Steady-state

^۳ Mutation

^۴ Inheritance operator

عملگرهای فاز تولید مثل هستند و نباید از دست بروند. در این قسمت به بررسی عملگر ادغام می-پردازیم.

پس از اینکه مرحله تولید مثل تمام شد، جمعیتی از بهترین‌ها به وجود آمده است. در حقیقت عمل تولید مثل یک مجموعه ای (کولونی) از بهترین رشته‌ها را انتخاب کرده، اما رشته‌های جدیدی را به وجود نیاورده است. به همین دلیل عملگر ادغام با هدف تولید رشته‌های بهتر بر روی Mating pool اعمال می‌شود. هدف از ادغام جستجوی فضای پارامتر و تا حد امکان حفظ اطلاعات نهفته در رشته است.

عملگر ادغام یک عملگر ترکیبی است که شامل سه عمل است. اول عملگر تولید مثل یک جفت رشته را به صورت تصادفی انتخاب می‌کند. دوم یک محلی را برای ادغام به طور تصادفی در طول رشته انتخاب کرده و سرانجام در سومین مرحله مقدار دو رشته را با توجه به محل ادغام جابجا می‌کند. فرض کنیم دو رشته $A=11111$ و $B=00000$ انتخاب شده باشند، اگر موقعیت ادغام که به صورت تصادفی به دست آمده است برابر با ۲ در رشته باشد. مقادیر رشته‌های جدید پس از عمل ادغام برابر خواهند بود با:

$$\left. \begin{array}{l} A = 11|111 \\ B = 00|000 \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A^* = 11000 \\ B^* = 00111 \end{array} \right. \quad (6-3)$$

این روش را اصطلاحاً روش ادغام تک مکانی^۱ می‌نامند. روش‌های مختلف دیگری برای عمل ادغام وجود دارد که عبارتند از

۱. روش ادغام تک نقطه ای یا تک مکانی

۲. روش ادغام دو نقطه ای^۲

۳. روش ادغام چند نقطه ای^۳

^۱ Single-Sight Cross Over

^۲ Two-point Cross Over

^۳ Multi-point Cross Over

۴. روش ادغام یکنواخت^۱

۵. روش ادغام دوبعدی^۲

الف - نرخ ادغام

در اینجا لازم است به یک مفهوم مهم دیگری به نام نرخ ادغام^۳ اشاره کنیم. طبق تعریف نرخ ادغام بیانگر احتمال ادغام است که آن را با P_c نشان می‌دهند و مقدار آن بین ۰ تا ۱ است. این نرخ در GA با پیدا کردن نسبت تعداد جفت‌های ادغام شده در جمعیت‌های ثابت به دست می‌آید و با فرض احتمال P_c می‌توان گفت که $100P_c$ درصد از رشته‌ها در عملیات به کار رفته اند و $100(1-P_c)$ درصد از جمعیت باقی مانده است.

طبق تعریف ساده دیگری این نرخ بیانگر تعداد کروموزوم‌هایی است که وارد Mating pool شده اند. هر چقدر این مقدار بیشتر باشد، یعنی کروموزوم‌های جدید و زیادتری وارد Mating pool شده اند. اما اگر این مقدار خیلی زیاد شود باعث می‌شود تا فرصت تطابق در کروموزوم از دست برود و همچنین اگر این مقدار خیلی کم باشد، تعداد فرزندان تولید شده کافی نخواهد بود. این نرخ برای جمعیت‌هایی با اندازه ۳۰ تا ۲۰۰ مورد در محدوده ۰,۵ تا ۱ خواهد بود.

عمل جهش یا موتاسیون

پس از عمل ادغام رشته‌ها، نوبت به عمل جهش یا موتاسیون می‌رسد. عمل جهش یک بیت شامل تبدیل عدد صفر (۰) به یک (۱) و بالعکس است که بر اساس یک احتمال کوچک مثل P_m به صورت بیت به بیت صورت می‌گیرد. عمل جهش به این ترتیب است که یک عدد تصادفی بین صفر تا یک

^۱ Multi-point Cross Over

^۲ Uniform Cross Over

^۳ Matrix Cross Over

^۴ Cross Over Rate

تولید می‌شود. اگر عدد تولید شده کوچکتر از P_m باشد مقدار خروجی را برابر درست (True) و در غیر این صورت برابر غلط (False) در نظر می‌گیرند. اگر برای هر بیت مقدار خروجی درست باشد بیت تغییر می‌کند و گرنه بیت بدون تغییر باقی خواهد ماند.

بیت‌های یک رشته به صورت مستقل جهش می‌یابند، به این معنی که جهش یک بیت بر روی احتمال سایر بیت‌ها تاثیر نمی‌گذارد. این عمل در یک الگوریتم ژنتیک ساده به منزله یک عملگر ثانویه و به منظور حفظ اطلاعاتی که در حال از دست رفتن است تلقی می‌گردد. برای مثال، فرض کنید مقادیر بیت‌های رشته‌های یک جمعیت در یک محدوده خاص برابر صفر شده است و حل بهینه نیاز به عدد یک (1) در آن نقطه دارد. این در حالی است که عملگر ادغام نمی‌تواند عدد یک را در آن موقعیت تولید کند. بنابراین برای تولید عدد یک از عمل جهش یا موتاسیون استفاده می‌شود.

این عمل برای جلوگیری از همگرایی سریع و کمک به الگوریتم جستجو برای فرار از به دام افتادن در مینیمم‌های موضعی مفید است. از سوی دیگر این عمل برای حفظ حالت متفاوت و متمایز بودن کروموزوم‌ها در یک جمعیت به کار می‌رود. به عنوان مثال، جمعیت زیر را در نظر بگیرید:

↓
 ۰۱۱۰۱۰۱۱
 ۰۰۱۱۱۱۰۱
 ۰۰۰۱۰۱۱۰
 ۰۱۱۱۱۱۰۰
 ↑

همان طور که ملاحظه می‌شود. همه بیت‌های سمت چپ این رشته‌ها صفر است. اگر راه حل بهینه به یک در این موقعیت داشته باشد، در این صورت هیچکدام از عملیات‌های ادغام و تولید مثل قادر به این کار نخواهند بود اما عمل جهش این کار را برای ما انجام خواهد داد و جمعیت پس از این عمل با توجه به یک احتمال مشخص به شکل صفحه بعد در می‌آید:

↓
 ۰۱۱۰۱۰۱۱
 ۰۰۱۱۱۱۰۱
 ۰۰۰۱۰۱۱۰
 ۱۱۱۱۱۱۰۰
 ↑

نتیجه اینکه به طور خلاصه عمل جهش باعث جنبش و حرکت در فضای جستجو و ذخیره اطلاعات از دست رفته جمعیت می‌شود.

الف- نرخ جهش^۱ (P_m)

این نرخ بیانگر احتمال جهش است که بر اساس تعداد بیت‌های جهش یافته به دست می‌آید. این احتمال مقدار کوچکی است که معمولاً بین ۰,۰۰۱ تا ۰,۵ خواهد بود.

۳-۲-۷ مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک با انجام قدم به قدم مراحل زیر پیشرفت می‌کند:

۱. شروع الگوریتم با یک جمعیت متشکل از n فرد تصادفی که هر کدام کروموزومی به طول l دارند.
۲. محاسبه مقدار تابع $fitness$ برای هر فرد از جمعیت
۳. انتخاب دو فرد بر اساس بالاتر بودن مقدار تابع $fitness$ (انتخاب والدین)
۴. اعمال $crossover$ و تولد بچه‌ها از والدین
۵. اعمال $mutation$ با احتمال p برای هر بیت
۶. قرار دادن بچه‌های متولد شده داخل یک مجموعه به عنوان نسل جدید
۷. تغییر دادن جمعیت اولیه همراه ورود نسل جدید (New Generation)
۸. رفتن به قدم ۲

^۱ Mutation Rate

۳-۲-۸ شرط توقف الگوریتم

برای تعیین شرط توقف الگوریتم ژنتیک هیچ جواب جامع و مناسبی وجود ندارد. اما بعضی از شرط-های توقف متداول عبارتند از:

۱. رسیدن به جواب: این ساده‌ترین روش برای توقف الگوریتم است. به این معنی که اگر مقدار

کروموزوم مناسب‌ترین باشد، الگوریتم متوقف می‌شود.

۲. عدم پیشرفت: یعنی الگوریتم GA پس از X بار تکرار با همان کروموزوم‌های قبلی ادامه پیدا

کند. چه اینکه الگوریتم به جواب بهینه رسیده باشد یا در یک مینیمم موضعی گیر افتاده

باشد.

۳. تعداد تکرارها: اگر با هیچ کدام از موارد فوق جواب نداد، شرط توقف را تعداد تکرارهای

مشخصی قرار می‌دهیم.

۴. به روش آماری: اگر مقدار تابع هدف به یک مقدار مشخصی رسید، الگوریتم متوقف می‌شود.

۵. بهینه ساز موضعی^۱: از یک بهینه ساز موضعی استفاده می‌کنیم که در صورت عدم پیشرفت

متوقف شود.

در صورتی که الگوریتم به یک حل بهینه همگرا نشود، باید پارامترهای آن را (اندازه جمعیت، نرخ

جهش، نرخ ادغام و ...) دوباره تغییر دهیم.

^۱ Local Optimizer

فصل چهارم

الگوریتم پیشنهادی و نحوه پیاده سازی
آن بر روی یک شبکه نمونه

۴-۱- توابع برازندگی

با توجه به اینکه در این پژوهش سه هدف کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و بهبود فلش‌های ولتاژی را با هم دنبال می‌کنیم، قاعدتاً تابع برازندگی دارای سه زیرتابع می‌باشد که هر یک از این زیرتوابع یکی از اهداف یادشده را دنبال می‌کند. در این قسمت، پس از معرفی هر یک از این توابع دلیل انتخاب آن مختصراً بیان می‌شود.

۴-۱-۱- تابع برازندگی تلفات

با استفاده از اندازه و زاویه ولتاژهای بدست آمده برای هر باس که از برنامه پخش بار بدست آمده است، جریان جاری شده در هر شاخه محاسبه می‌شود. با داشتن جریان تک تک شاخه‌ها تلفات کل شبکه مورد مطالعه بدست می‌آید. رابطه زیر میزان تلفات یک شبکه توزیع را نشان می‌دهد [۲۶]:

$$P_{Loss} = \sum_{j=1}^{N-1} I_j^2 R_j \quad (1-4)$$

در این رابطه I_j دامنه جریان قسمت j ام فیدر می‌باشد. R_j مقاومت j امین قسمت فیدر و N تعداد قسمت‌های فیدر می‌باشد. تابع برازندگی تلفات به شکل روبرو تعریف می‌گردد:

$$f_{loss} = \frac{1}{P_{loss}} \quad (2-4)$$

بدین ترتیب با مینیمم شدن تلفات، مقدار این تابع ماکزیمم می‌شود.

۴-۱-۲- تابع برازندگی پروفایل ولتاژ

تابع برازندگی پروفایل ولتاژ را می‌توان با رابطه زیر تعریف کرد.

$$f_v = \frac{1}{N \sqrt{\sum_{j=1}^N (V_n - V_j)^2}} \quad (3-4)$$

در این رابطه V_n سطح ولتاژ شبکه مورد مطالعه، V_j ولتاژ باس j ام شبکه مورد مطالعه و N تعداد باس‌های شبکه مورد مطالعه می‌باشد.

۳-۱-۴ تابع برازندگی بهبود فلش ولتاژی

در این پژوهش پشتیبانی ولتاژ در بارهای حساس هنگام فلش‌های ولتاژی مورد نظر می‌باشد می‌باشد. در این رویکرد هدف مسئله بهینه‌سازی جلوگیری از وقوع فلش‌های ولتاژی عمیق در باس‌های حساس شبکه مورد مطالعه می‌باشد. تابع هدف زیر به خوبی این رویکرد را نمایش می‌دهد.

$$f_{Sensitive} = \frac{1}{\sum_{i=1}^M (V_n - V_{i,Sensitive})} \quad (4-4)$$

در این رابطه V_n سطح ولتاژ شبکه مورد مطالعه، M تعداد باس‌های حساس در شبکه مورد مطالعه، $V_{i,sensitive}$ ولتاژ i امین باس حساس در شبکه مورد مطالعه می‌باشد.

هر چه ولتاژ در باس‌های حساس - هنگام وقوع فلش‌های ولتاژی در باس‌های پر حادثه - به ولتاژ نامی نزدیک‌تر شود مخرج کسر کوچکتر و در نتیجه مقدار تابع برازندگی افزایش می‌یابد.

در اینجا ابتدا در باس‌هایی که نرخ خطای سالانه^۱ بیشتری را دارند یک فلش ولتاژی مدل می‌شود. (به کمک ایجاد یک اتصال کوتاه)، سپس با اجرای برنامه پخش بار در این حالت ولتاژ باس‌های حساس محاسبه می‌شود. الگوریتم بهینه سازی سائیزینگ و مکان یابی را تا جایی که بیشترین مقدار برازندگی حاصل شود ادامه می‌دهد. بدیهی است در بیشترین مقدار برازندگی $V_{i,Sensitive}$ تا حد امکان به V_n نزدیک می‌شود.

^۱-Annual Fault Rate

۴-۱-۴ تابع هدف کلی

در قسمت انتهایی این سه تابع هدف با هم ترکیب می‌شوند. به منظور یکسان‌سازی تاثیر هر کدام از توابع قبل از جمع نمودن این توابع، هر کدام از این توابع نرمالیزه می‌شوند. به منظور نرمالیزه نمودن این توابع مقادیر حداقل و حداکثری که این توابع می‌توانند اتخاذ کنند را محاسبه می‌کنیم. تابع هدف جامع که تمام توابع را دنبال می‌کند به صورت رابطه (۴-۵) می‌باشد.

$$f = K_1 f_{loss} + K_2 f_v + K_3 f_{sensitive} \quad (۴-۵)$$

۴-۲ چهار چوب کلی اجرای الگوریتم پیشنهادی

گام نخست: اولین مرحله برای بکارگیری الگوریتم ژنتیک کدگذاری فضای جستجو می‌باشد. در این مرحله باید به هر نمونه از فضای جستجو یک رشته نسبت دهیم. فرض کنیم یک شبکه با N باس داریم. همچنین، مولدهای تولید پراکنده در M سایز موجود می‌باشند. در اینجا رشته های ژنتیک (کروموزم ها) را با N ژن نمایش می‌دهیم. هر ژن مبین یک باس است که در آن عدد صفر به منزله عدم وجود DG و اعداد ۱ تا M به منزله وجود مولدهای با سایزهای موجود می‌باشد.

گام دوم: مرحله بعدی تشکیل جمعیت اولیه به صورت تصادفی می‌باشد. در این مرحله، باید محدودیت ماکزیمم ظرفیت موجود نصب DG چک شود.

گام سوم: در این مرحله برنامه پخش بار و همچنین پخش بار در حالت وجود فلش ولتاژی اجرا می‌شود و برآزندگی هر کروموزم با توجه به توابع برآزندگی مشخص شده معلوم می‌شود. برنامه پخش بار با توجه به نسبت R/X شبکه مورد مطالعه، زمان مناسب برای اجرای برنامه و دیگر محدودیت ها بایستی انتخاب شود.

گام چهارم: اجرای الگوریتم ژنتیک

الف: انتخاب والدین با چرخ گردان

ب. اجرای عملگر تقاطع

ج. اجرای عملگر جهش

د. دو عضو تشکیل شده از جمعیت جدید ذخیره می شود و به عنوان والدین نسل بعدی مورد

استفاده قرار میگیرند.

ه. بهترین عضو به نسل بعدی منتقل می شود (نخبه گرایی^۱).

گام پنجم: گام فوق تا ایجاد تعداد محدودی کروموزم جدید ایجاد می شود. در هر تکرار شرط حداکثر

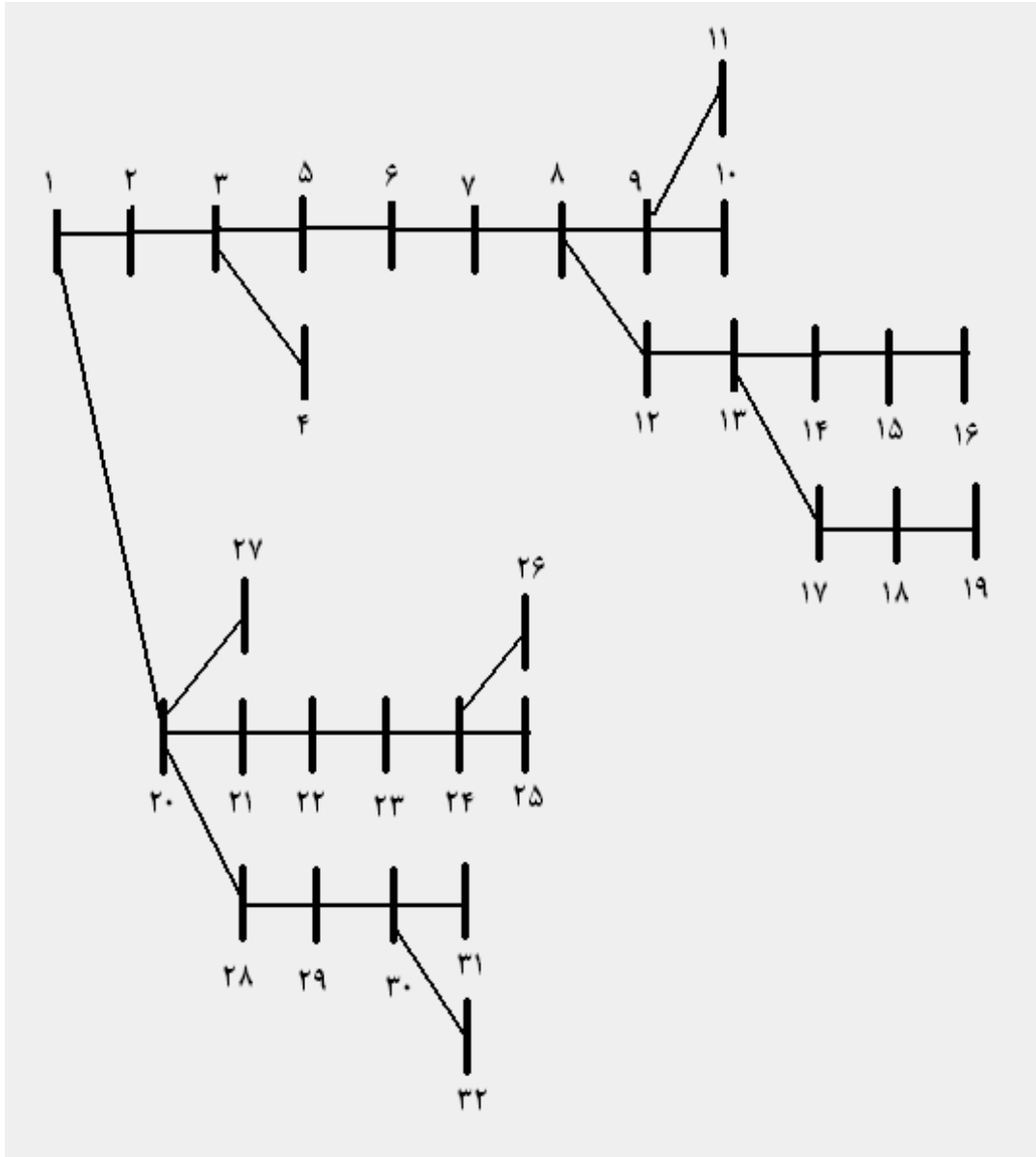
ظرفیت DG چک می شود.

گام ششم: رفتن به گام سوم با جمعیت جدید و تکرار این فرآیند.

گام هفتم: بهترین عضو تکرار آخر، جواب مسأله می باشد.

۳-۴ شبکه مورد مطالعه

شبکه مورد مطالعه در این مقاله از یک فیدر ۲۰ کیلوولت که خروجی یکی از پست های ۱۳۲ کیلوولت واقع در استان خراسان جنوبی می باشد، انتخاب شده است. مجموع بار این فیدر طولانی در زمان پیک تا ۵ مگاوات آمپر می رسد. این فیدر ۳۲ باسه به علت بار زیاد و همچنین طول زیاد آن، به خصوص در ساعات پیک با مشکلات افت ولتاژ، به ویژه در نقاط انتهایی مواجه است. به طوری که در ساعات پیک ولتاژ باس های انتهایی تا ۰,۸۵ پریونیت افت می کنند. از بین ۳۲ باس شبکه مورد مطالعه ۴ باس با توجه به سوابق موجود و اظهارات مسؤولین بهره برداری منطقه در این مقاله به عنوان باس های پرحادثه انتخاب شده اند. همچنین، دو باس (باس شماره ۱۳ و ۲۴) با توجه به نوع باری که تغذیه می کنند به عنوان بار حساس در نظر گرفته شده اند. اطلاعات R و X خطوط و همچنین بار متصل شده به هر باس در پیوست الف آورده شده است. شکل ۴-۱ نشانگر نمودار تک خطی شبکه مورد مطالعه می باشد.



شکل ۴-۱ نمودار تک خطی شبکه مورد مطالعه

۴-۴ الگوریتم پخش بار بکار رفته

به دلیل بالا بودن نسبت R/X در شبکه توزیع مورد مطالعه که نتیجه فرسودگی و طولانی بودن آن می‌باشد، روش‌های پخش بار نیوتن رافسون و همچنین 1FDLF منجر به جواب‌های قابل اطمینانی نمی‌شود [۲]. همچنین در خلال اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک، زیر برنامه های پخش بار عادی و پخش بار در هنگام وقوع افت ولتاژ شدید بر روی باس‌های پرحادثه به دفعات فراخوانی می‌شوند و

۱- Fast Decoupled Load Flow

استفاده از روش‌های پخش بار نیوتن رافسون و FDLF منجر به طولانی شدن قابل توجه زمان اجرای برنامه می‌شود. بنا به این دلایل، در این مقاله از یک الگوریتم پخش بار مخصوص شبکه‌های توزیع که علاوه بر سرعت بالا با توجه به نسبت بالای R/X در شبکه مورد مطالعه از دقت قابل قبولی هم برخوردار است، استفاده نموده ایم. در این الگوریتم، پخش بار زمان اجرای الگوریتم نسبت به پخش بارهای نیوتن رافسون و FDLF به ترتیب ۴۰٪ و ۵۰٪ کاهش می‌یابد [۲].

اصول پخش بار استفاده شده به این شکل است :

با در نظر گرفتن باس ۱ به عنوان باس slack در i امین باس شبکه مورد مطالعه رابطه زیر برقرار است:

$$V_i^* \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j = P_i^{sp} - jQ_i^{sp}, i = 1, 2, \dots, N, i \neq s \quad (6-4)$$

رابطه ۶-۴ که در آن sp مشخص کننده باس slack است. با یک حدس اولیه به صورت رابطه بالا به شکل زیر نوشته می‌شود.

$$(V_i^* + \Delta V_i^*) \sum_{j=1}^N Y_{ij} (V_j + \Delta V_j) = P_i^{sp} - jQ_i^{sp} \quad (7-4)$$

با صرف نظر کردن از جملات درجه دوم می‌توان به معادله خطی شده زیر رسید.

$$V_i^* \sum_{j=1}^N Y_{ij} \Delta V_j + \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} \Delta V_j \right) \Delta V_i^* \cong (P_i^{sp} - Q_i^{sp}) - V_i^* \sum_{j=1}^N Y_{ij} \Delta V_j \quad (8-4)$$

از معادله ۶-۴ می‌توانیم رابطه تقریبی روبرو را بدست آوریم:

$$\sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \cong (P_i^{sp} - jQ_i^{sp}) / V_i^* \quad (9-4)$$

با جایگزینی رابطه ۹-۴ در رابطه ۸-۴ و تقسیم هر دو طرف بر رابطه ۶-۴ بدست می‌آید.

$$\sum_{j=1}^N Y_{ij} \Delta V_j + \frac{P_i^{sp} - jQ_i^{sp}}{(V_i^*)^2} \Delta V_i^* \cong \Delta \Delta_i, i = 1, 2, \dots, N, i \neq s \quad (10-4)$$

$$\Delta \Delta_i^{sp} = (P_i^{sp} - jQ_i^{sp}) / V_i^* - \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \quad \text{که در آن}$$

فصل چهارم: الگوریتم پیشنهادی و نحوه پیاده سازی آن بر روی یک شبکه نمونه

در معادله بالا مقدار به شکل زیر به دست می آید.

$$(۱۱-۴)$$

$$\begin{aligned} \Delta I_i^{sp} &= (P_i^{sp} - jQ_i^{sp}) / V_i^* - \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j \\ &= \frac{(P_i^{sp} - jQ_i^{sp}) - (P_i - jQ_i)}{V_i^*} = \frac{\Delta P_i - j\Delta Q_i}{V_i^*} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_i &= P_i^{sp} - P_i \\ \Delta Q_i &= Q_i^{sp} - Q_i \end{aligned} \quad \text{که در آن}$$

معادله بالا می تواند به شکل ماتریس زیر بازنویسی شود:

$$Y_{BUS} \Delta V + D \Delta V^* = \Delta I \quad (۱۲-۴)$$

که در این رابطه داریم:

$$\Delta V = [\Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_N]$$

$$\Delta I = [\Delta I_1, \Delta I_2, \dots, \Delta I_N]$$

$$D = \text{Diag}[(P_i^{sp} - jQ_i^{sp}) / V_i^{*}]$$

از آنجایی که بار در باس های P-Q مشخص است و V_i بصورت یک حدس اولیه مشخص است. برای بدست آوردن ماتریس قطری D تنها N تقسیم مختلط نیاز است. با بیان مقادیر مختلط به شکل زیر داریم:

$$(G + jB)(\Delta V_R + j\Delta V_I) + (D_R + jD_I)(\Delta V_R - j\Delta V_I) = (\Delta I_R + j\Delta I_I) \quad (۱۳-۴)$$

در این رابطه $Y_{BUS} = G + jB$.

رابطه ۱۳-۴ را می توان بصورت رابطه ۱۴-۴ نوشت.

$$\left[\begin{bmatrix} G & -B \\ B & G \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_R & D_I \\ D_I & -D_R \end{bmatrix} \right] \begin{bmatrix} \Delta V_R \\ \Delta V_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta I_R \\ \Delta I_I \end{bmatrix} \quad (۱۴-۴)$$

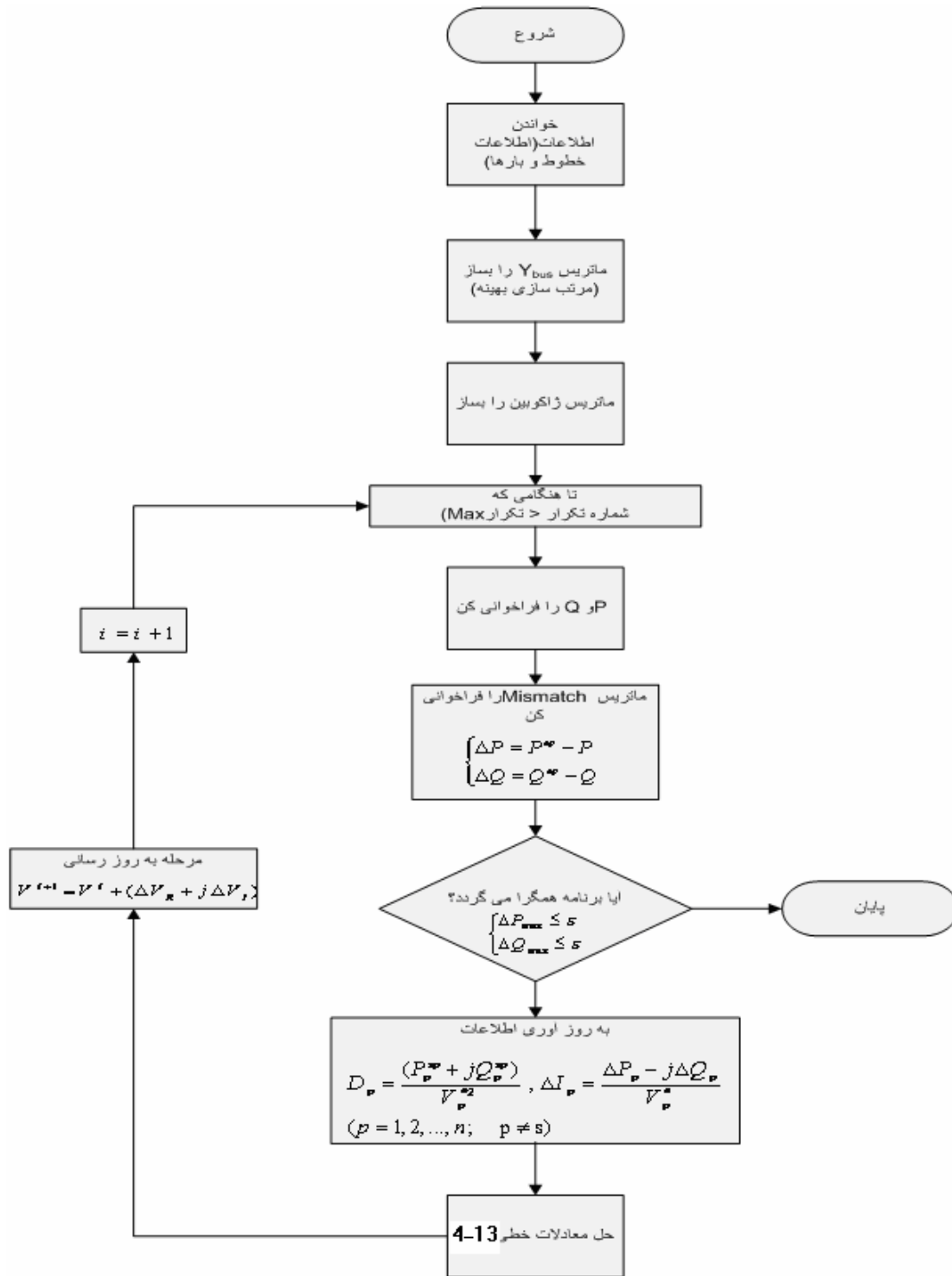
با تعریف کردن A به صورت زیر میتوان رابطه فوق را بصورت رابطه ۱۵-۴ نوشت:

$$A = \begin{bmatrix} G & -B \\ B & G \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_R & D_I \\ D_I & -D_R \end{bmatrix}$$

فصل چهارم: الگوریتم پیشنهادی و نحوه پیاده سازی آن بر روی یک شبکه نمونه

$$A \begin{bmatrix} \Delta V_R \\ \Delta V_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta I_R \\ \Delta I_I \end{bmatrix} \quad (۱۵-۴)$$

در رابطه (۱۴-۴) اولین ماتریس از سمت چپ نامتغیر است و در تمام مراحل پخش بار ثابت است، بنابراین تنها به روز نمودن ماتریس قطری D و ماتریس ΔI در هر مرحله نیاز است. این ویژگی موجب تسریع و دقت قابل توجه فوق العاده برنامه با توجه به خصوصیات منجصر بفرد برنامه می-شود. شکل ۲-۴ روند انجام برنامه پخش بار را نشان می دهد.



شکل ۴-۲ فلوجارت الگوریتم برنامه پخش بار

۵-۴ پیاده سازی الگوریتم ژنتیک بر مسئله پیش رو

در این قسمت چگونگی پیاده شدن هر روش در مسأله حاضر بیان می شود.

۴-۵-۱ پیاده سازی پله به پله

۱- اولین مرحله برای بکارگیری الگوریتم ژنتیک کدگذاری فضای جستجو می‌باشد. در این مرحله باید به هر نمونه از فضای جستجو یک رشته نسبت دهیم. در مسئله حاضر یک شبکه با ۳۲ باس داریم. همچنین، مولدهای پراکنده موجود در سه سایز مختلف ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوولت آمپر موجود می‌باشد. ده درصد از این ظرفیت در هر مولد، صرف تولید توان راکتیو می‌شود. در اینجا رشته-های ژنتیک (کروموزم ها) را با ۳۲ ژن نمایش می‌دهیم. هر ژن مبین یک باس است که در آن عدد صفر به منزله عدم وجود DG، عدد ۱ به منزله وجود مولد ۳۰۰ کیلو ولت آمپری، عدد ۲ به منزله وجود مولد ۴۰۰ کیلو ولت آمپری و بالاخره عدد ۳ به منزله وجود مولد ۵۰۰ کیلو ولت آمپری می‌باشد.

۲- مرحله بعدی تشکیل جمعیت اولیه به صورت تصادفی می‌باشد. در این مرحله، شرط مهمی وجود دارد که باید پس از تولید هر کروموزم چک شود و آن شرط این است که مجموع ظرفیت DG در هر کروموزم نباید از ۱۵۰۰ کیلو ولت آمپر بیشتر شود. در این مرحله، یک رشته ۵ تایی انتخاب می‌شود و با یک تابع تصادفی یک عدد بین صفر تا ۳ در هر خانه از این رشته ۵ تایی انتخاب می‌شود. دلیل انتخاب این رشته به طول ۵ این است که حداکثر ظرفیت DG ۱۵۰۰ کیلوولت آمپر مورد استفاده با کوچک ترین سایز مولد در دسترس (۳۰۰KVA) به بیشتر از ۵ خانه نیاز ندارد.

۳- در این مرحله برنامه پخش بار و همچنین پخش بار در حالت وجود فلش ولتاژی اجرا می‌شود و برازندگی هر کروموزم با توجه به توابع برازندگی مشخص شده معلوم می‌شود. در رابطه با برنامه پخش بار در قسمت شش توضیح داده شده است.

۴- اجرای الگوریتم ژنتیک

a. انتخاب والدین با چرخ گردان

b. اجرای عملگر تقاطع

c. اجرای عملگر جهش

d. دو عضو تشکیل شده از جمعیت جدید ذخیره می شود و به عنوان والدین نسل بعدی مورد استفاده قرار میگیرند.

e. بهترین عضو به نسل بعدی منتقل می شود (نخبه گرایی^۱).

۵- گام فوق تا ایجاد تعداد ۲۰۰ کروموزم جدید ایجاد می شود. در هر تکرار شرط ماکزیمم ۱۵۰۰ کیلو ولت آمپر ظرفیت DG بررسی می شود.

۶- رفتن به گام سوم با جمعیت جدید و تکرار این فرآیند تا رسیدن به تعداد تکرار انجام شود (۲۰۰ تکرار)

۷- بهترین عضو تکرار آخر، جواب مسأله می باشد.

فصل پنجم

جایابی و مقدار یابی بهینه

۱-۵ مقدمه

در این فصل نتایج دنبال نمودن هر کدام از اهداف مورد انتظار ارائه می‌شود. در قسمت اول الگوریتم پیشنهادی تنها هدف کاهش تلفات را دنبال می‌کند سپس هدف بهبود پروفایل ولتاژ به تنهایی دنبال می‌شود. در قسمت بعدی با صفر نمودن ضرایب کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ تنها اهداف پشتیبانی ولتاژ در باس‌هایی که بار حساس به آن متصل می‌باشند و جلوگیری از انتشار فلش-های ولتاژی دنبال می‌شود. در هر قسمت ضمن ارائه مقدار تلفات و بهبود حاصل شده در پروفایل ولتاژ دلایل انتخاب مکان و ظرفیت منابع تولید پراکنده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در انتها هر سه پارامتر مورد انتظار در تابع هدف اصلی توضیح داده می‌شوند. همچنین در هر کدام از قسمت‌های توضیح داده شده مقادیر برازندگی در نسل‌های پایایی به نمایش گذاشته شده‌اند.

۲-۵ کاهش تلفات

در این بخش برنامه ژنتیک تنها تابع هدف کاهش تلفات را فراخوانی می‌کند. با استفاده از اندازه و زاویه ولتاژهای بدست آمده برای هر باس که از برنامه پخش بار بدست آمده است، جریان جاری شده در هر شاخه محاسبه می‌شود. با داشتن جریان تک تک شاخه‌ها تلفات کل شبکه مورد مطالعه بدست می‌آید. تابع برازندگی تلفات به شکل زیر تعریف می‌گردد:

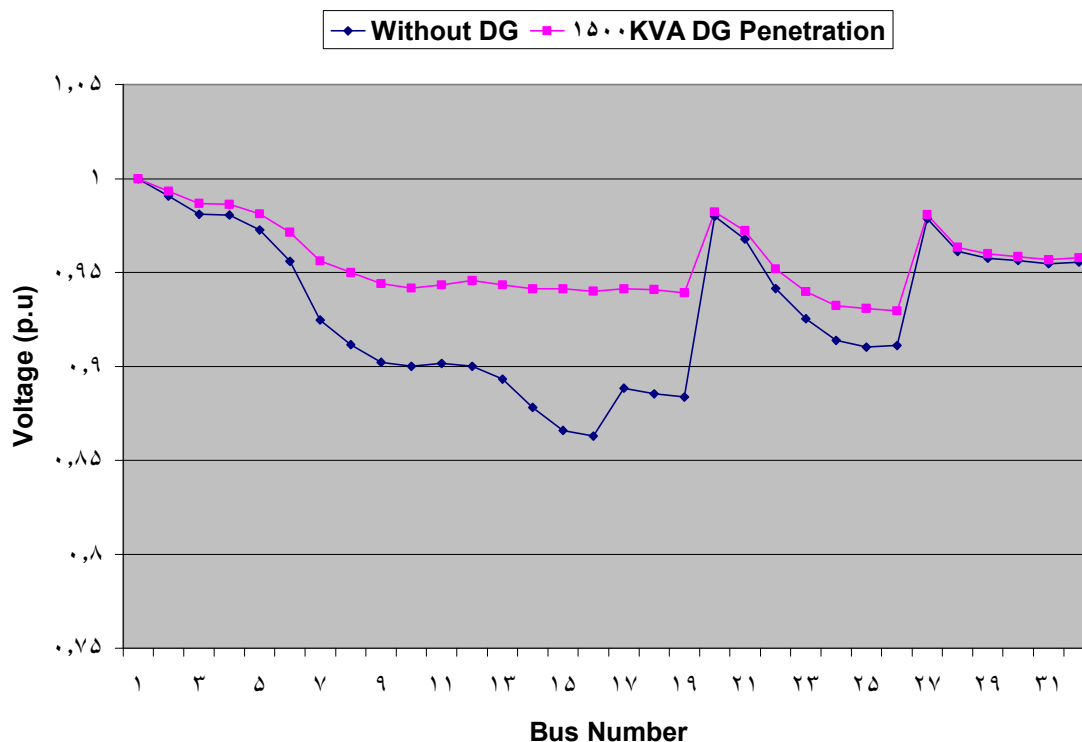
$$f_{loss} = \frac{1}{P_{loss}} \quad (1-5)$$

بدین ترتیب بازای تلفات مینیمم مقدار تابع برازندگی ماکزیمم خواهد شد. الگوریتم بهینه‌سازی نصب واحد های ۳۰۰ کیلوولت آمپری را در باس‌های ۱۸،۱۶،۱۵،۹ و ۲۵ راپیشنهاد می‌کند. جدول زیر مکان و ظرفیت پیشنهادی را در این حالت نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱ مکان و ظرفیت پیشنهادی با هدف کاهش تلفات

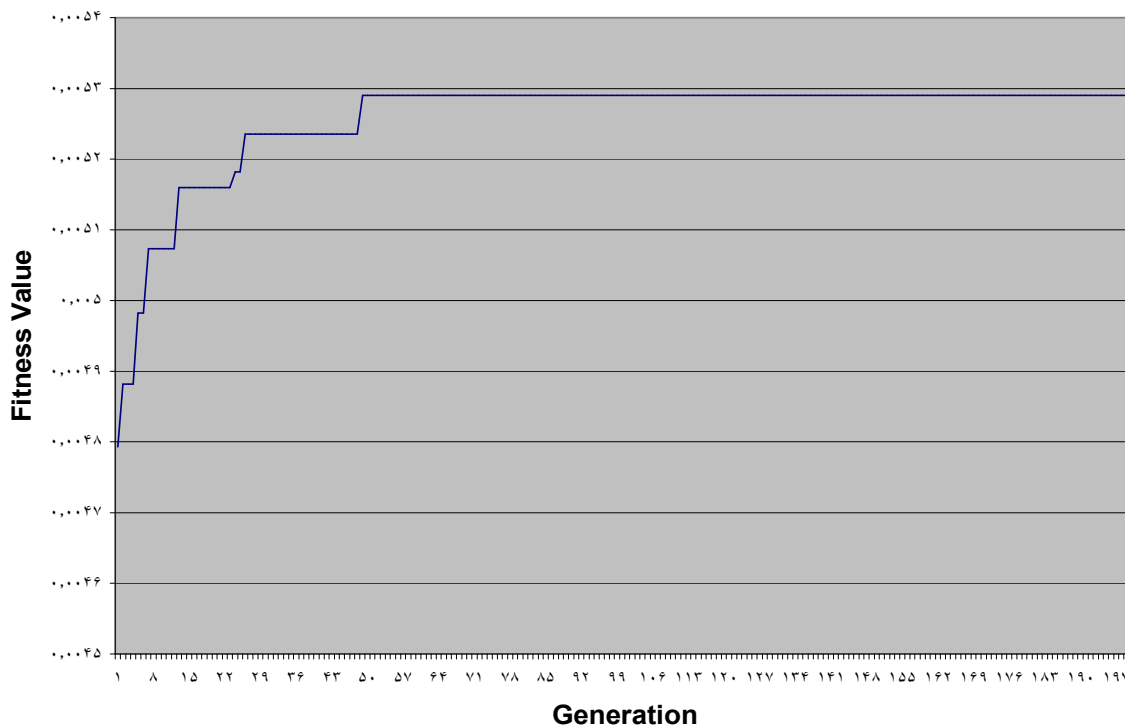
ظرفیت پیشنهادی (کیلوولت آمپر)	مکان پیشنهادی (شماره باس)
۳۰۰	۹
۳۰۰	۱۵
۳۰۰	۱۶
۳۰۰	۱۸
۳۰۰	۲۵

دیده می‌شود که الگوریتم پیشنهادی جهت کاهش مسیر شارش جریان در طول خطوط و کاهش هر چه بیشتر تلفات استفاده از واحدها با سایز کوچکتر در باس‌های پر بار را پیشنهاد می‌کند. کاهش تلفات از ۵۱۸ کیلووات به ۱۸۹ کیلووات مبین کاهش ۶۳ درصدی تلفات می‌باشد. همچنین بهبود حاصل شده در پروفایل ولتاژ در شکل زیر نشان داده شده است.

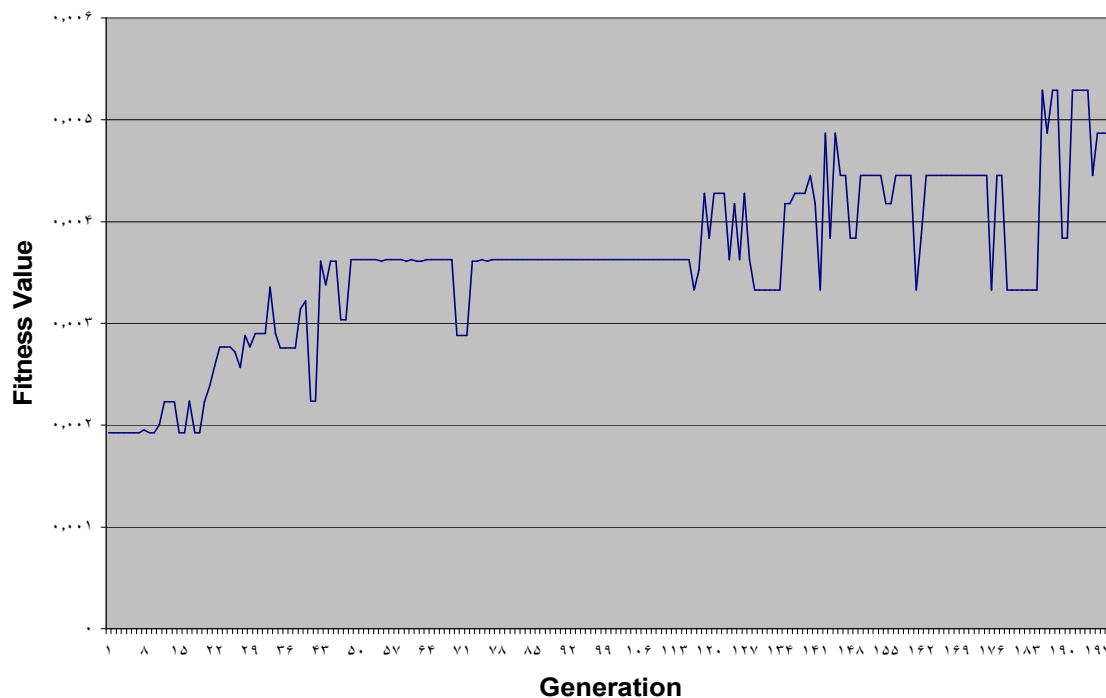


شکل ۵-۱ مقایسه پروفایل ولتاژ در حالت دنبال نمودن هدف کاهش تلفات

شکل های ۲-۵ و ۳-۵ مقادیر برازندگی در نسل های ۱ تا ۲۰۰ الگوریتم ژنتیک را نشان می دهند. ملاحظه می شود که از یک نسل به بعد (نسل ۵۲) رشد برازندگی تابع هدف دنبال شده متوقف می شود. این مطلب نشان دهنده این واقعیت است که پاسخ الگوریتم به مسئله از حداکثر بهینگی برخوردار است. تثبیت مقدار برازندگی بعد از نسل ۵۲ ام تا تقریباً چهار برابر این مرتبه (نسل ۲۰۰ ام) تضمینی بر ماکزیمم بودن مقدار برازندگی و در نتیجه مینیمم بودن تلفات است. همچنین روند صعودی مقادیر کمترین تابع برازندگی نشان دهنده این مطلب است که بدترین حالت (بیشترین تلفات) در هر مرحله بیشتر شده است.



شکل ۲-۵ بهترین برازندگی تابع هدف دنبال شده در هر نسل از الگوریتم ژنتیک



شکل ۳-۵ بدترین برازندگی تابع هدف دنبال شده در هر نسل از الگوریتم ژنتیک

۳-۵ بهبود پروفایل ولتاژ

در این بخش برنامه ژنتیک تنها تابع هدف بهبود پروفایل ولتاژ را فراخوانی می‌کند. تابع برازندگی

پروفایل ولتاژ را می‌توان با رابطه زیر تعریف کرد.

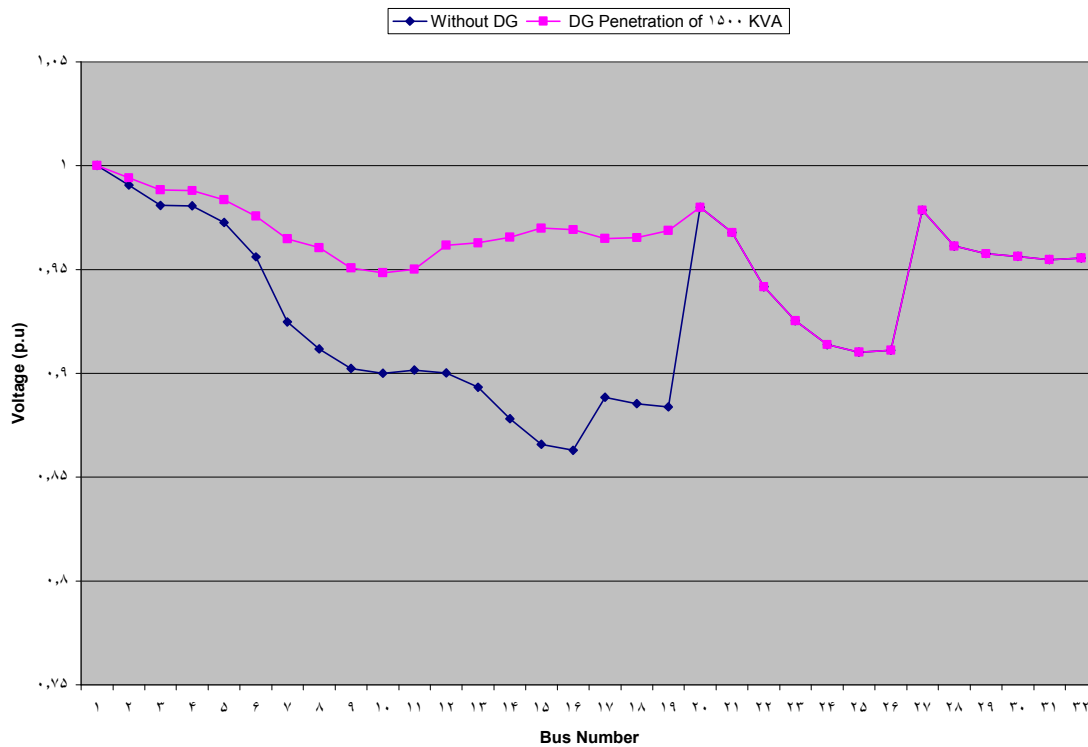
$$f_v = \frac{1}{32 \times \sqrt{\sum_{j=1}^{32} (1 - V_j)^2}} \quad (2-5)$$

جدول زیر مکان و ظرفیت پیشنهادی در این حالت را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۲ مکان و ظرفیت پیشنهادی با هدف کاهش تلفات

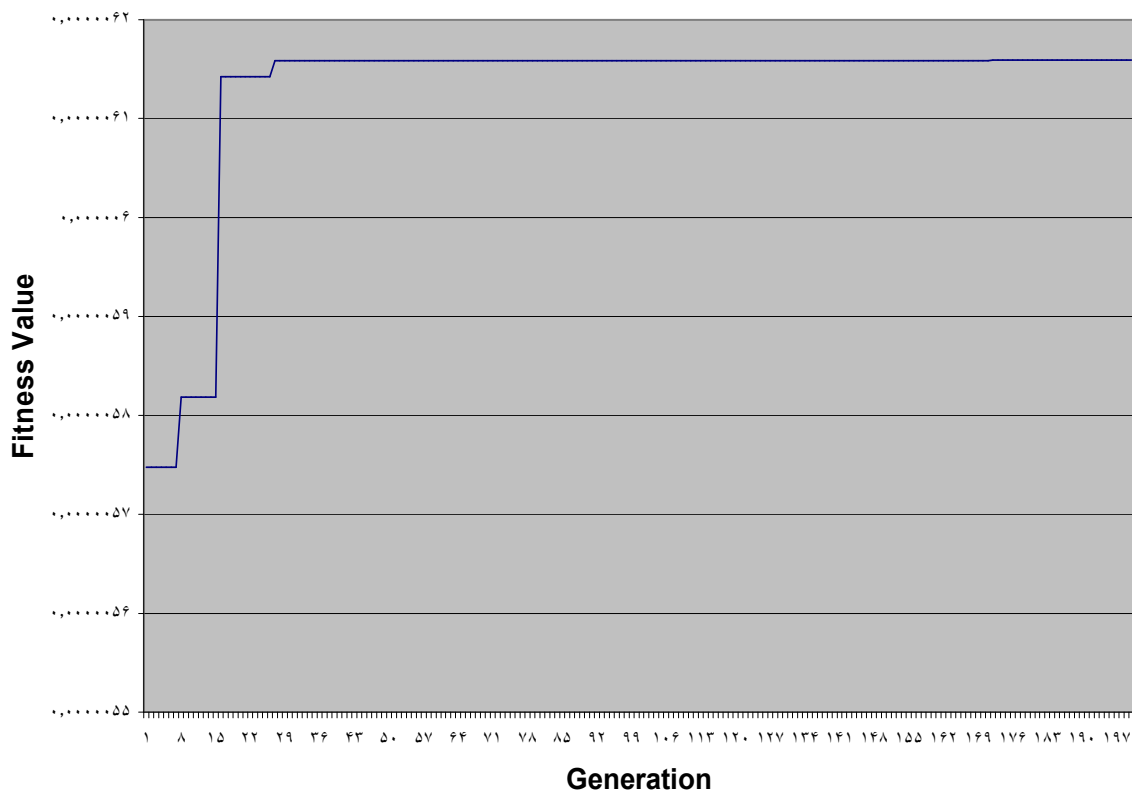
ظرفیت پیشنهادی (کیلوولت آمپر)	مکان پیشنهادی (شماره باس)
۴۰۰	۱۵
۴۰۰	۱۶
۳۰۰	۱۷
۴۰۰	۱۹

دیده می‌شود که در این حالت الگوریتم پیشنهادی باس‌های انتهایی فیدر با پروفایل ولتاژ ضعیف را جهت نصب واحدهای تولید پراکنده پیشنهاد می‌کند. توجه به ساختار شبکه مشخص می‌کند که اتصال دو شاخه اصلی به باس (باس شماره ۱) موجب می‌شود که استفاده از منبع تولید پراکنده در یک شاخه اصلی بر مقدار موثر ولتاژ در باس‌های شاخه اصلی دیگر تاثیری نداشته باشد. از آن جایی که ولتاژ در باس‌های انتهایی شاخه اصلی بالایی به شدت پایین است و تا ۰,۸۵ پریونیت نیز می‌رسد. الگوریتم پیشنهادی تنها این باس‌ها را جهت نصب واحد تولید پراکنده پیشنهاد می‌کند و پروفایل ولتاژ شاخه اصلی پایینی بدون تغییر می‌ماند. نمودار زیر بیانگر بهبود قابل توجه پروفایل ولتاژ می‌باشد.

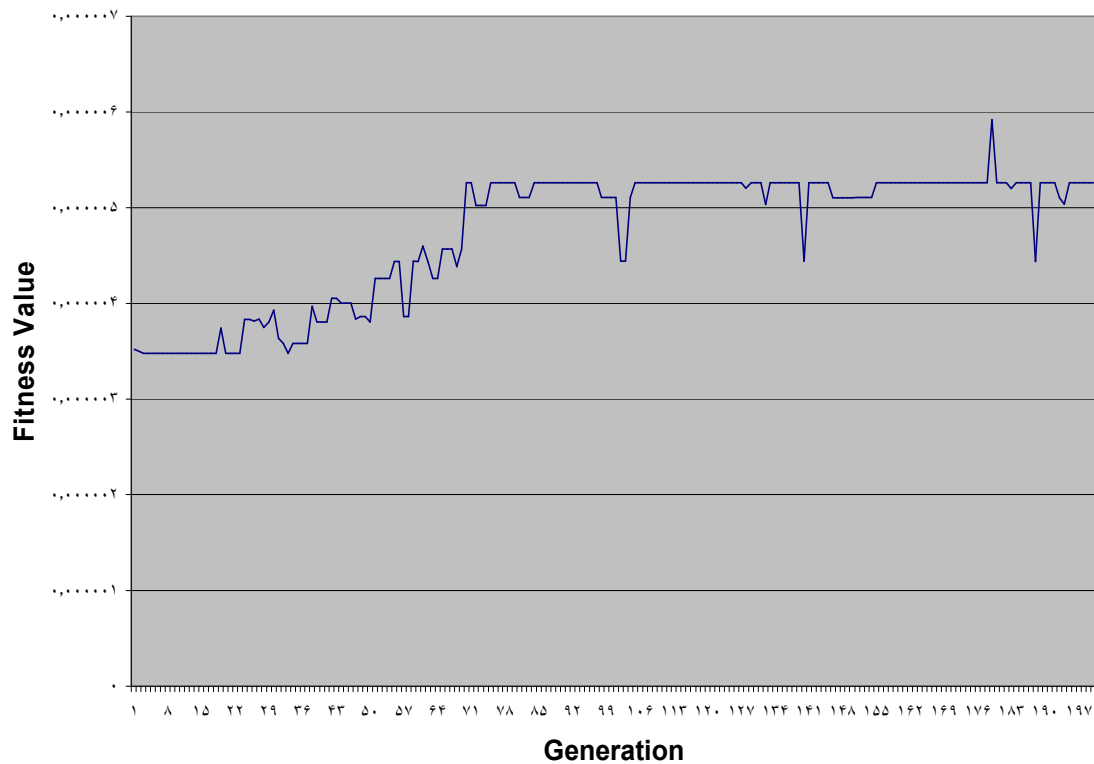


شکل ۴-۵ مقایسه پروفایل ولتاژ در حالت دنبال نمودن هدف بهبود پروفایل ولتاژ

شکل های ۵-۵ و ۶-۵ مقادیر برازندگی در نسل های ۱ تا ۲۰۰ الگوریتم ژنتیک را نشان می دهند. ملاحظه می شود که از یک نسل به بعد رشد برازندگی تابع هدف دنبال شده متوقف می شود که نشان دهنده این است که پاسخ الگوریتم به مسئله از حد اکثر بهینگی برخوردار است.



شکل ۵-۵ بهترین برازندگی تابع هدف دنبال شده در هر نسل از الگوریتم ژنتیک با تابع هدف بهبود پروفایل ولتاژ



شکل ۶-۵ بدترین برازندگی تابع هدف دنبال شده در هر نسل از الگوریتم ژنتیک با تابع هدف بهبود پروفایل ولتاژ

۴-۵ کاهش تاثیر فلش‌های ولتاژی در باس‌های حساس

همان طور که در قسمت معرفی شبکه گفته شد، ۲ باس از مجموع ۳۲ باس شبکه نمونه باس‌هایی بوده‌اند که بارهای حساس را تغذیه می‌کنند. همچنین، ۴ باس که طبق سوابق، احتمال وقوع خطا در آن‌ها بالاتر بوده است (بالاترین نرخ خطای سالانه^{۶۷} را دارند)، باس‌های پرحادثه^{۶۸} می‌باشند. در تابع برازندگی بهبود فلش ولتاژی (تفاوت اندازه ولتاژ در باس‌های حساس با مقدار اصلی در حالی که در باس‌های پرحادثه یک فلش ولتاژی اتفاق افتاده است)، به عنوان معیار برازندگی انتخاب شده است، براین اساس، تابع برازندگی ولتاژ به شکل زیر تعریف می‌شود. این تابع همانطور که در فصل چهار گفته شد با رویکرد جلوگیری از وقوع فرورفتگی‌های شدید ولتاژ در باس‌های حساس تعریف می‌شود.

$$f_{Sensitive} = \frac{1}{\sum_{i=1}^r (1 - V_{i,Sensitive})} \quad (3-5)$$

در اینجا باس‌های حساس، باس‌های شماره ۱۳ و ۲۴ می‌باشند و سطح ولتاژ شبکه مورد مطالعه ۲۰ کیلوولت می‌باشد. همچنین باس‌های ۹، ۱۲، ۲۲ و ۲۹ باس‌های پرحادثه در شبکه مورد مطالعه می‌باشند. جدول زیر خروجی برنامه بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵ مکان و ظرفیت پیشنهادی الگوریتم بهینه‌سازی در حالت دنبال کردن تابع عطف بهبود فلش‌های ولتاژی

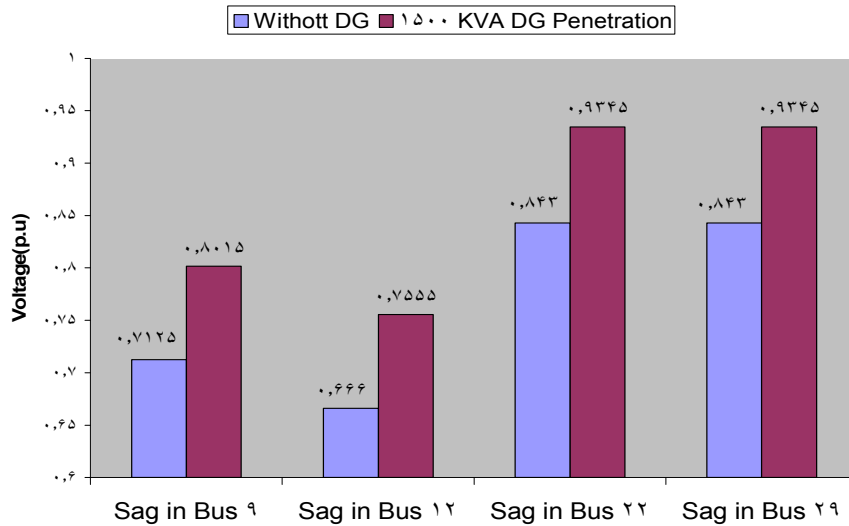
مکان پیشنهادی (شماره باس)	ظرفیت پیشنهادی (کیلوولت آمپر)
۳	۳۰۰
۱۷	۴۰۰
۱۸	۳۰۰
۲۴	۵۰۰

^{۶۷} Annual Fault Rate

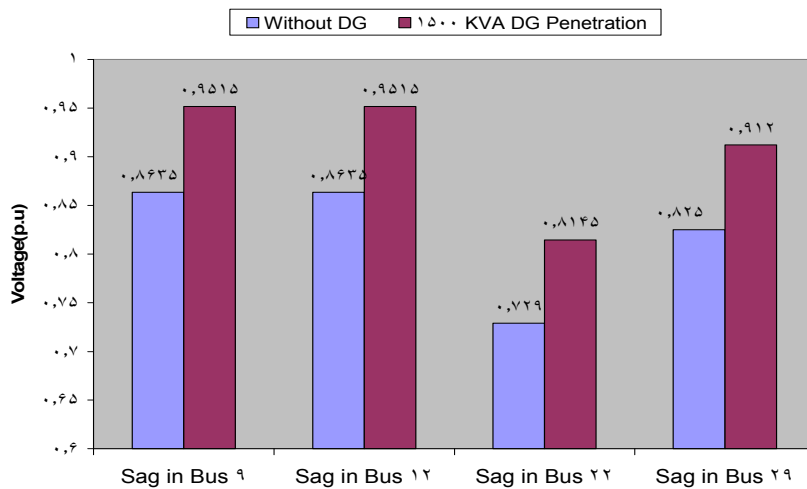
^{۶۸} Eventful Buses

نمودار زیر بیانگر میزان بهبود ولتاژ در باس ۱۳ هنگام وقوع فلش ولتاژی در باس های ۹، ۱۱، ۲۲ و

۲۹ می باشد.



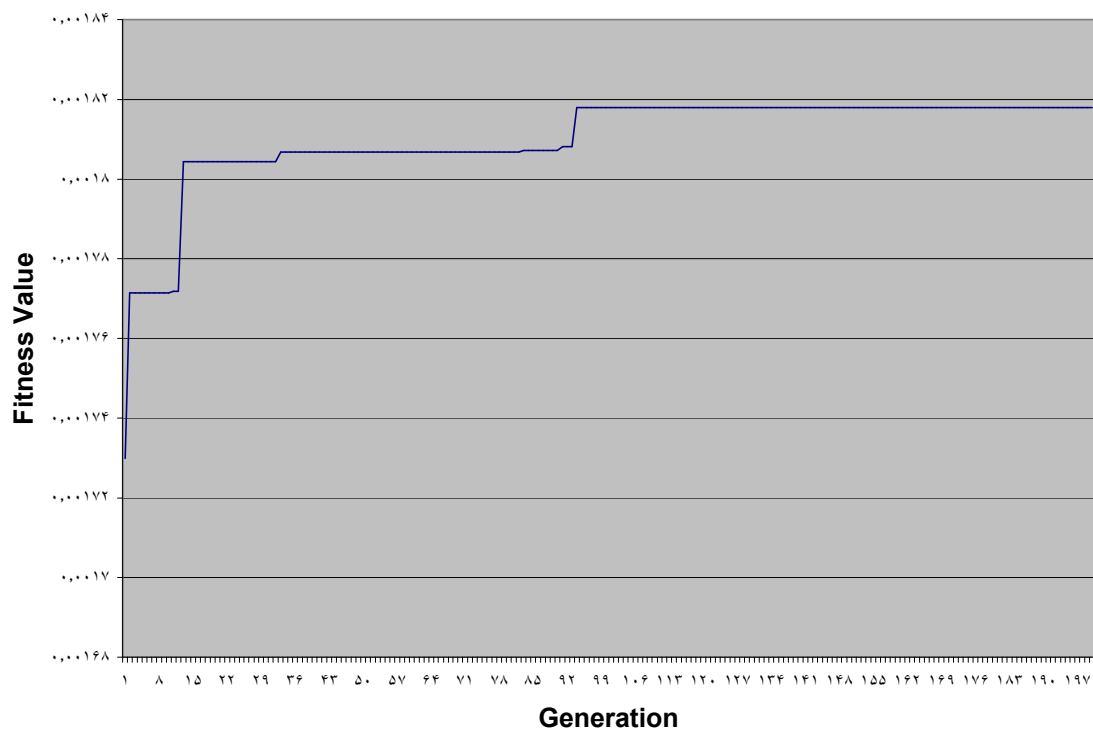
شکل ۷-۵ بهبود پروفایل ولتاژ در باس حساس ۱۳ در دو حالت



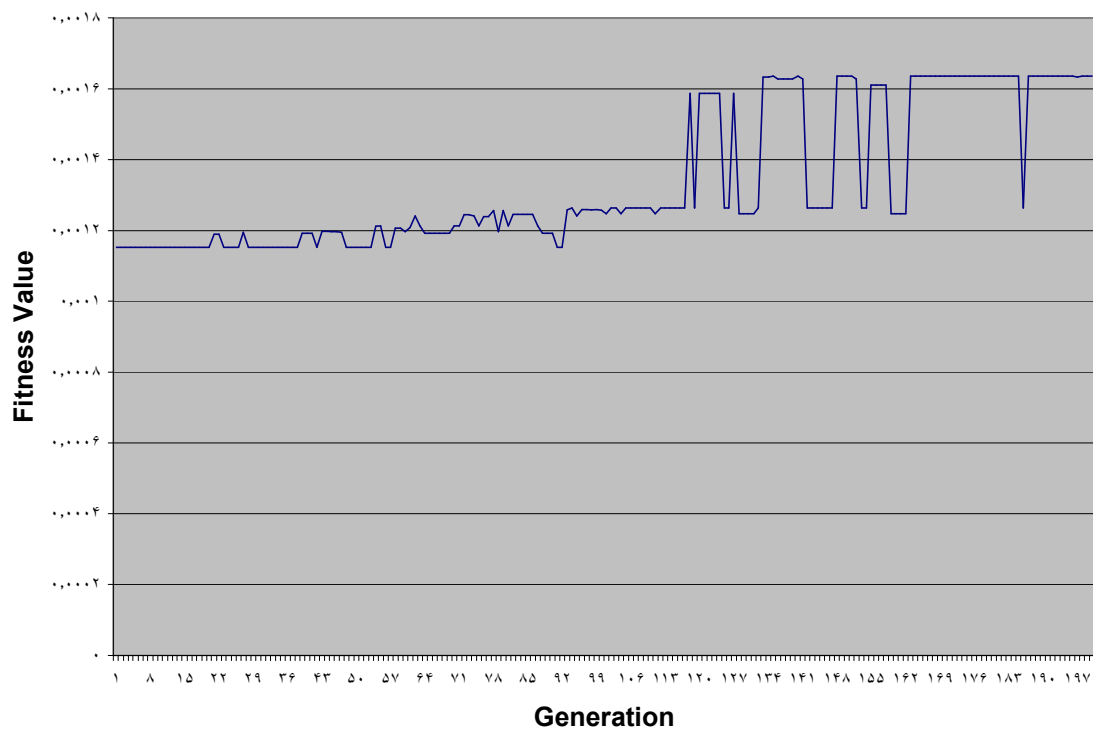
شکل ۸-۵ بهبود پروفایل ولتاژ در باس حساس ۲۴ در دو حالت

همچنین مقادیر بیشترین و کمترین مقادیری که توابع برازندگی در نسل های ۱ تا ۲۰۰ اتخاذ می کند

در شکل های ۹-۵ و ۱۰-۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-۹ بهترین برازندگی در هر نسل از الگوریتم ژنتیک با تابع هدف بهبود فلش ولتاژی در باس‌های حساس



شکل ۵-۱۰ بدترین برازندگی در هر نسل از الگوریتم ژنتیک با تابع هدف بهبود فلش ولتاژی در باس‌های حساس

تثبیت مقدار بهترین برازندگی از نسل ۹۴ ام به بعد و همچنین روند صعودی بدترین تابع برازندگی مبین بهبود مرحله به مرحله پشتیبانی ولتاژ تا رسیدن به بیشترین بهینگی می باشد.

۵-۵ اهداف کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و بهبود فلش های ولتاژی

نهایتاً در این قسمت هر سه زیر تابع هدف را در نظر می گیریم. به منظور یکسان سازی تاثیر هر کدام از توابع، هر کدام از این توابع نرمالیزه می شوند. به منظور نرمالیزه نمودن این توابع مقادیر حداقل و حداکثری که این توابع می توانند اتخاذ کنند را محاسبه می کنیم.

تابع هدف کلی بصورت زیر در نظر گرفته می شود. جدول ۴-۵ این مقادیر را نشان می دهد.

جدول ۴-۵ مقادیر ماکزیمم و مینیمم توابع هدف

تابع هدف	f_{Loss}	f_v	$f_{Sensitive}$	f_{SP}
max	۳,۰۰۵۰	۵,۵e-۵	۰,۰۵	۳۲
min	۰,۰۱۷۰	۲,۷۷e-۷	۳,۵e-۵	۳,۲

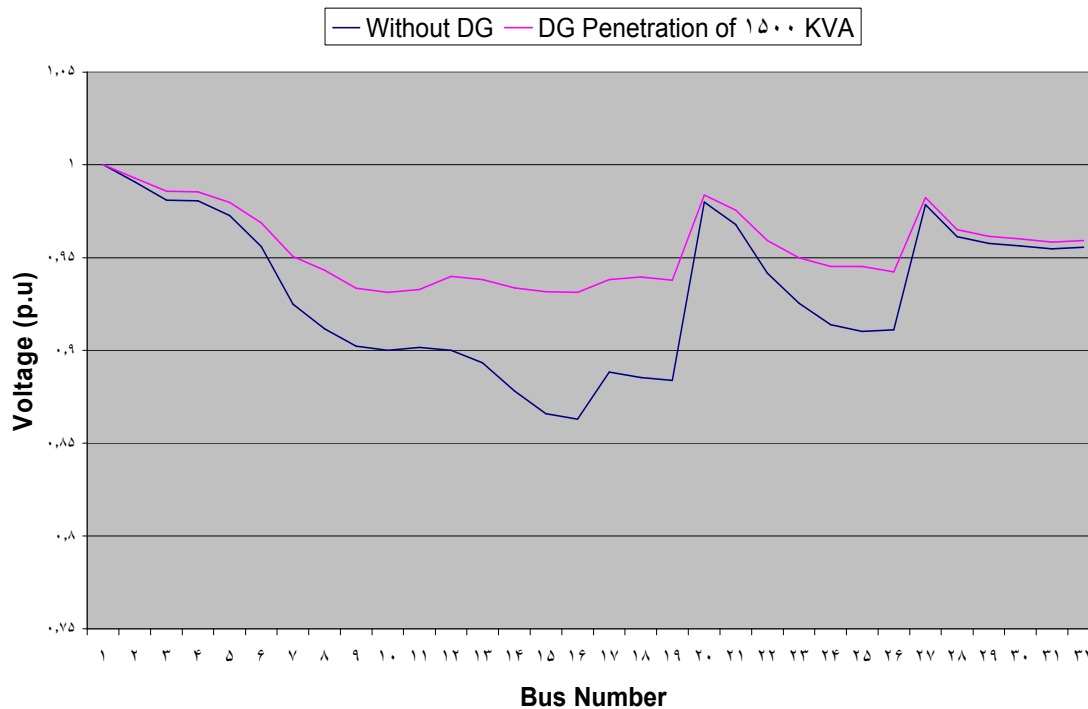
$$f = f_{loss} + f_v + f_{v_sensitive} \quad (4-5)$$

الگوریتم معرفی شده ظرفیت و مکان بهینه منابع تولید پراکنده را مطابق جدول ۵-۵ پیشنهاد می کند.

جدول ۵-۵ مکان و ظرفیت پیشنهادی در حالت دنبال نمودن هر سه هدف یاد شده

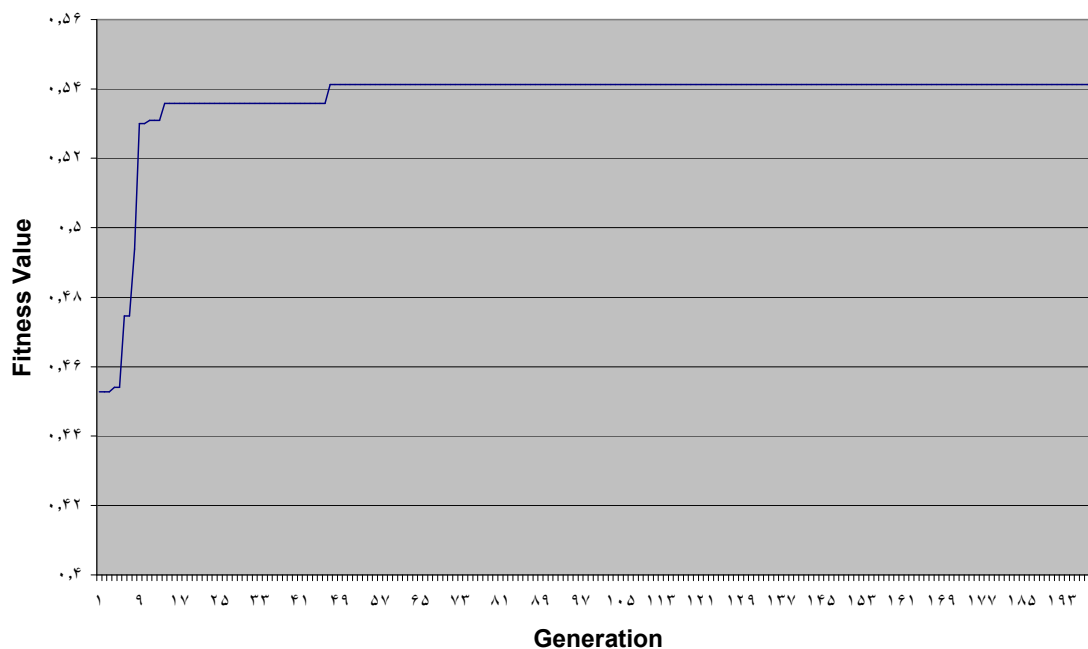
شماره باس پیشنهادی	ظرفیت منبع تولید پراکنده (کیلوولت آمپر)
۱۶	۵۰۰
۱۸	۵۰۰
۲۵	۵۰۰

شکل ۵-۱۱ بهبود حاصل شده با این آرایش واحدهای تولید پراکنده را نشان می دهد. باید به این نکته توجه شود که در برنامه بهینه سازی حداکثر ظرفیت نصب شده واحدهای تولید پراکنده ۱۵۰۰ کیلوولت آمپر می باشد.

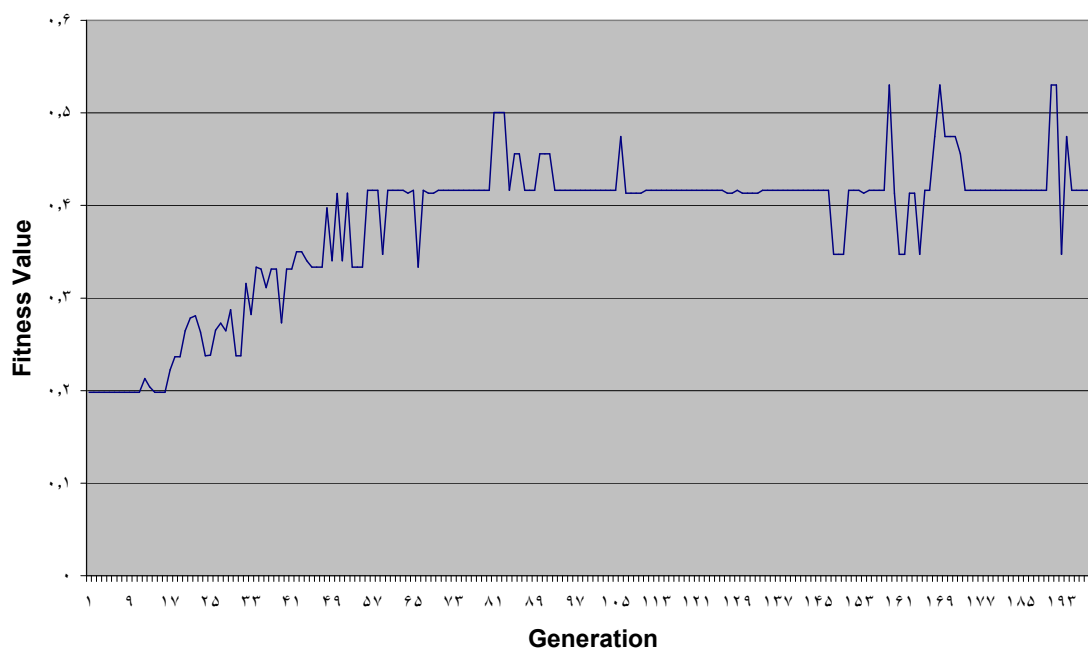


شکل ۵-۱۱ مقایسه پروفایل ولتاژ در حالت دنیال نمودن تمامی اهداف

شکل های ۵-۱۲ و ۵-۱۳ مقادیر برازندگی در نسل های ۱ تا ۲۰۰ الگوریتم ژنتیک را نشان می دهند. ملاحظه می شود که از یک نسل به بعد رشد برازندگی تابع هدف دنیال شده متوقف می شود که نشان دهنده این است که پاسخ الگوریتم به مسئله از حداکثر بهینگی برخوردار است. همچنین روند صعودی در نمودار بدترین مقدار برازندگی نشان دهنده نزدیک شدن الگوریتم بهینه سازی به جواب بهینه در هر نسل می باشد.

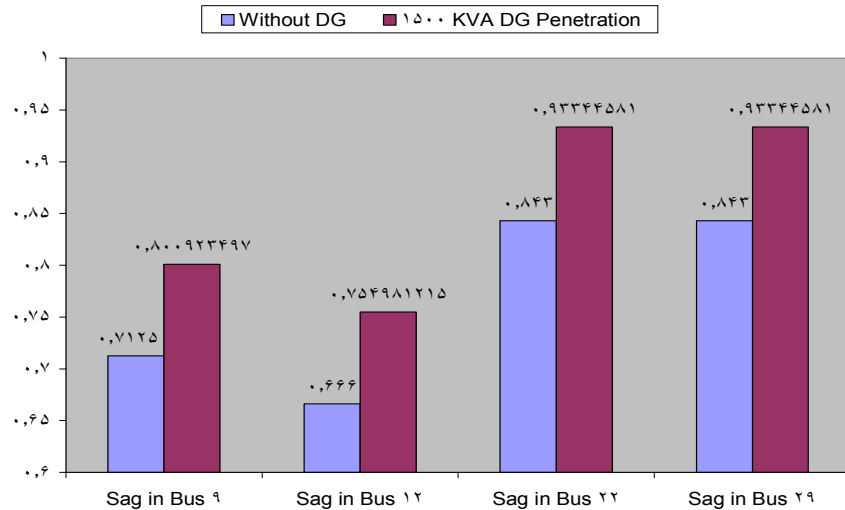


شکل ۵-۱۲ بهترین برازندگی در هر نسل از الگوریتم ژنتیک

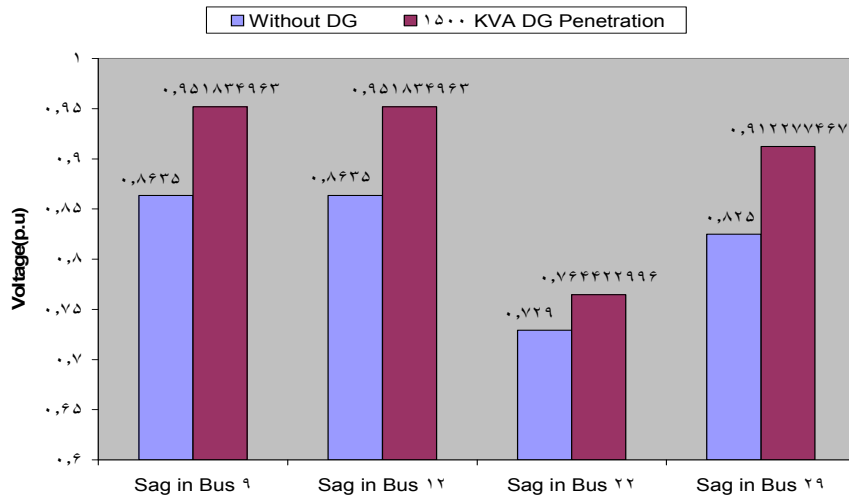


شکل ۵-۱۳ بدترین برازندگی در هر نسل از الگوریتم ژنتیک

شکل‌های ۵-۱۴ و ۵-۱۵ میزان بهبود وضعیت ولتاژی در دو باس حساس را نشان می‌دهند. مقایسه وضعیت‌های با و بدون استفاده از واحدهای تولید پراکنده بیانگر بهبود قابل ملاحظه در وضعیت ولتاژی باس‌های حساس این فیدر می‌باشد.



شکل ۵-۱۴ بهبود پروفایل ولتاژ در باس ۱۳ (یکی از دو باس حساس شبکه مورد مطالعه)



شکل ۵-۱۵ بهبود پروفایل ولتاژ در باس ۲۴ (یکی از دو باس حساس شبکه مورد مطالعه)

همچنین میزان تلفات از ۵۱۸ کیلووات به میزان ۱۹۰/۵۹۴ کیلووات رسیده است. شکل زیر مقایسه‌ای

را بین مقدار تلفات بعد و قبل از نصب DG نشان می‌دهد.

در صورتی که بجای استفاده از واحدهای ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوواتی از واحدهای ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰

کیلوواتی استفاده شود الگوریتم پیشنهادی مکان یابی و مقدار یابی بهینه را بصورت زیر پیشنهاد می-

کند.

جدول ۵-۶ مکان و ظرفیت پیشنهادی در حالت دنبال نمودن هر سه هدف یاد شده با سایزهای متفاوت منبع

ظرفیت منبع تولید پراکنده (کیلوولت آمپر)	شماره باس پیشنهادی
۳۰۰	۱۶
۶۰۰	۱۸
۶۰۰	۲۵

این آنالیز حساسیت نسبت به سایزبندی متفاوت DG، نشان دهنده مکان‌یابی موفق منابع تولید پراکنده می‌باشد، چرا که همانطور که ملاحظه می‌شود مکان‌یابی DG ها همانند حالتی است که از DG هایی با سایزهای ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوولت آمپر استفاده می‌شود.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری

نظر به وابستگی روز افزون جامعه جهانی به انرژی الکتریکی و افزایش بی‌رویه استفاده از آن، جهت-گیری به سمت رویکردهای جدید در برنامه‌ریزی توسعه شبکه اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. نبود انگیزش‌های لازم برای سرمایه‌گذاری بخش خصوصی به دلیل بالا بودن حجم سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های بزرگ، مشکلات مربوط به کمبود سوخت‌های فسیلی و افزایش بی‌رویه قیمت آنها، مسائل و مشکلات زیست محیطی از جمله دلایل دور شدن از تولید متمرکز و روآوری به تولید پراکنده شده است.

از طرفی دغدغه‌هایی همچون محدودیت منابع مالی، افزایش بهره‌وری و جدی شدن استانداردهای تحویل توان به مشترکین به پر رنگ‌تر شدن مقولاتی چون کاهش تلفات شبکه و بهبود پارامترهای کیفیت توان کمک می‌کند. بنابراین رویکرد راهبردی در برنامه‌ریزی توسعه تولید باید استفاده از تمام پتانسیل‌های موجود واحدهای تولید پراکنده باشد.

مرور پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که از الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی به منظور جایابی و مقدار یابی بهینه منابع تولید پراکنده برای دنبال نمودن اهدافی چون کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ استفاده شده‌اند. در پژوهش حاضر رویکرد جامعی مورد توجه قرار گرفته است. تابع هدف معرفی شده اهداف کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و کاهش تاثیر فلش‌های ولتاژی بر باس‌هایی که بارهای حساس به آن‌ها متصل هستند را به طور همزمان دنبال می‌کند.

در این پژوهش ضمن استفاده از الگوریتم ژنتیک، جایابی و مقدار یابی بهینه منابع تولید پراکنده برای تامین بخشی از بار یک فیدر نمونه انجام گرفته است. شبکه مورد مطالعه در این پژوهش از یک فیدر ۲۰ کیلوولت در حال کار واقع در استان خراسان جنوبی انتخاب شده است. الگوریتم پیشنهادی بر روی این شبکه پیاده‌سازی شده است. الگوریتم پیشنهادی در حالت دنبال کردن هدف کاهش تلفات استفاده از واحدهایی با سایز کوچک در نزدیک مراکز مصرف بزرگتر را پیشنهاد می‌کند. در حالت

دنبال کردن هدف بهبود پروفایل ولتاژ استفاده از منابع تولید پراکنده در نقاط انتهایی فیدر پیشنهاد می‌شود. همچنین همانطور که انتظار می‌رفت، در حالتی که پشتیبانی ولتاژ در باس‌های حساس در اولویت می‌باشد، نصب منابع تولید پراکنده در نزدیکی این باس‌ها پیشنهاد می‌شود. سرانجام مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی هنگامی که هر سه هدف یاد شده با هم دنبال می‌شود با ایجاد یک مصالحه مهندسی بهترین نقاط را برای بر آورده ساختن اهداف مورد نظر پیشنهاد می‌کند. میزان کاهش تلفات به همراه بهبود در پروفایل ولتاژ نشانگر عملکرد مطلوب الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. نکته جالب در خروجی برنامه کامپیوتری تهیه شده یکی بودن ۱۰۰ کروموزوم از ۲۰۰ کروموزوم نسل آخر می‌باشد که نشان دهنده‌ی قابل اطمینان بودن روش پیشنهادی برای شبکه معرفی شده می‌باشد.

۶-۲ پیشنهادات

- با توجه به اینکه یکی از مهمترین مشکلاتی که استفاده از واحدهای تولید پراکنده بوجود می‌آورد بهم ریختن حفاظت سیستم قدرت می‌باشد (به سبب تغییر جهت شارش توان، تغییر سطح اتصال کوتاه و...). بررسی و مطالعه چگونگی بهره‌جویی از منابع تولید پراکنده با ایجاد حداقل تغییرات در سیستم حفاظتی پیشنهاد می‌گردد.
- استفاده از مدل‌های بار متغیر با زمان به جای مدل‌های بار توان ثابت و نامتغیر با زمان به منظور مطالعه برای مینیمم‌سازی انرژی تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ در بازه‌های زمانی مختلف از مواردی است که مطالعه بر روی آن مفید فایده می‌باشد.
- با توجه به نیاز تمامی بخش‌های صنعت کشور و به ویژه صنعت برق به امر تحقیقات، انتخاب شبکه‌های موجود در حال کار به عنوان شبکه تست، بجای شبکه‌های IEEE که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند مفیدتر به نظر می‌رسد.

ضمیمه

جدول الف-بار در باس های شبکه مورد مطالعه

شماره باس	بار (KVA)	توان اکتیو (KW)	توان راکتیو (KVar)
۱	-	-	-
۲	۴۲۵	۳۶۰	۶۳
۳	۰	۰	۰
۴	۲۰۰	۱۷۰	۳۰
۵	۵۲۵	۴۴۵	۷۸
۶	۵۵۰	۴۶۷	۸۲
۷	۱۰۰	۸۵	۱۵
۸	-	-	-
۹	۶۷۵	۵۷۳	۱۰۱
۱۰	۱۰۰	۸۵	۱۵
۱۱	۵۰	۴۲	۷
۱۲	۱۰۰	۸۵	۱۵
۱۳	۱۰۰	۸۵	۱۵
۱۴	۱۰۰	۸۵	۱۵
۱۵	۷۵	۶۳	۱۱
۱۶	۵۷۵	۴۸۸	۸۶
۱۷	۱۷۵	۱۴۸	۲۶
۱۸	۲۲۵	۱۹۱	۳۳
۱۹	۱۵۰	۱۲۷	۲۲

-	-	-	۲۰
۳۳	۱۹۰	۲۲۵	۲۱
۲۲	۱۲۷	۱۵۰	۲۲
۵۲	۲۹۷	۳۵۰	۲۳
-	-	-	۲۴
۸۲	۴۶۷	۵۵۰	۲۵
۴۸	۲۷۶	۳۲۵	۲۶
۱۵	۸۵	۱۰۰	۲۷
۷۵	۴۳۰	۵۰۵	۲۸
۳۳	۱۹۱	۲۲۵	۲۹
-	-	-	۳۰
۱۵	۸۵	۱۰۰	۳۱
۱۱	۶۳	۷۵	۳۲

جدول ب-اطلاعات خطوط شبکه مورد مطالعه

$X(\Omega)$	$R(\Omega)$	به باس	از باس
۰,۴۸	۱,۳۲	۲	۱
۰,۵۶	۱,۵۶	۳	۲
۰,۲۸	۰,۷۸	۴	۳
۰,۵۱	۱,۴	۵	۴
۱,۲	۳,۳	۶	۵
۲,۸	۷,۸	۷	۶

1,2	3,4	8	7
2,4	6,8	9	8
4,6	12	10	9
2,8	7	11	10
1,7	4,6	12	11
1	2,9	13	12
4,5	12,5	14	13
4,2	11,7	15	14
1,1	3,1	16	15
1,9	5,4	17	16
1,7	4,6	18	17
2,4	6,8	19	18
1,6	4,4	20	19
1,6	4,4	21	20
4	11,2	22	21
2,8	7,8	23	22
1,4	3,9	24	23
1,4	3,9	25	24
1,8	5,1	26	25
2,8	5,8	27	26
4,2	11,7	28	27
1,8	5,0,8	29	28

1,6	4,4	30	29
1,3	9,1	31	30
2	5,6	32	30

- [۱] Caisheng Wang, Hashem Nehrir, "Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power System", IEEE Transaction on Power Systems, Vol ۱۹, No ۴, pp. ۱۲۵-۱۳۱, ۲۰۰۴.
- [۲] Young-Hyun Moon, Se Ho Kim, Bok-Nam Ho, "Fast and Reliable Distribution System Load Flow Algorithm Based on Y_{BUS} calculation", IEEE, Power Engineering Summer Meeting, Canada, pp. ۲۳۸-۲۴۲, ۱۹۹۹.
- [۳] Thomas Ackermann, Goran Andersson and Lenart Soder, Technical Report, "Distributed Generation: a Definition", Electric Power Systems Research Institute, Vol ۵۷, Issue ۳, pp. ۱۹۵-۲۰۴, ۲۰۰۱.
- [۴] AlHajri, M.F.; El-Hawary, M.E. "The effect of Distributed Generation modeling and static load representation on the optimal integrated sizing and network losses", IEEE Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. ۱۵۴۳-۱۵۴۸, Canada, ۲۰۰۸.
- [۵] International Energy Agency (IEA), Technical Report, "Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets", Paris, France, ۲۰۰۲.
- [۶] EPCOR (Edmond Power Corporation), Technical Report, "Distributed Generation", Canada, ۲۰۰۲, available at EPCOR official website.
- [۷] E. Marmolejo, C. Duque, M.T. Torres, G. Ramos, A. Torres "Analysis of the Prospects for Distributed Generation (DG) for Colombian Electric Power Sector", IEEE Conference on Power Systems and Exposition, , pp. ۸۰۷-۸۱۹, USA, ۲۰۰۴.
- [۸] B. Maurhoff and G. Wood, "Dispersed generation—Reduce power costs and improve service reliability", IEEE Conference of Rural Electric Power, Vol ۵, USA, pp. ۱-۷, ۲۰۰۰.
- [۹] ضیائی، امید، ۱۳۸۷، پایان نامه کارشناسی ارشد، تدوین یک رویه بهینه قیمت گذاری برای بارهای قابل قطع در بازار برق، پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- [۱۰] Reddy, G. Sridhar Singh, R. K, "Distributed generation based Dynamic Voltage Restorer ", IEEE Conference on Information and Communication Technology, pp. ۲۶۲-۲۶۶, India, ۲۰۰۷.
- [۱۱] Octavian CUREA, Ionel VECHIU, Haritza CAMBLONG, LIPSI, ESTIA, "Design of a test Bench for the analysis of a Hybrid Power System", Technopôle Izabel, France, ۲۰۰۴.

[۱۲] Darnell Group, Technical Reoprt, "Power Electronics for Distributed and Cogeneration", Darnell Group Official Website.

[۱۳] سید هادی رضایی، انواع پیل‌های سوختی و کاربرد آن‌ها، نشر دانشمند، چاپ اول، تهران،

۱۳۸۴.

[۱۴] Dan E. Kincaid, Gas Research Institute, Technical Report, "The Role of Distributed Generation in Competitive Energy Markets", ۱۹۹۹.

[۱۵] Y.Alinejad Beromi, M.Sedighzadeh, "A Particle Swarm Optimization For Sitting and Sizing of Distributed Generation In Distribution Network to Improve voltage Profile and Increase THD and Losses". IEEE Universities Power Engineering Conference, pp.۱-۵, Italy, ۲۰۰۸.

[۱۶] Konstantinos Angelepolous, MS thesis, "Integration of Distributed Generation in Low Voltage Networks: Power Quality and Economics", University of Strathclyd, Glasgow, ۲۰۰۸.

[۱۷] An D.T Le, M.A Kashem, "Maximising Voltage Support in Distribution Systems by Distributed Generation", TENCON IEEE Conference, pp.۱-۶, Australia, ۲۰۰۵.

[۱۸] A.G Madureira, J.A Pecas Lopes, "Coordinated voltage support in distribution networks with distributed generation and microgrids", Renewable Power Generation, IET, Vol۳, Issue _____ ۴, pp.۴۳۹ – ۴۵۴, ۲۰۰۹.

[۱۹] Tuba Gozel, M. Hakan Hocaoglu, "Optimal placement and sizing of distributed generation on radial feeder with different static load models ", IEEE Conference on Future Power Systems, pp.۲-۶, Netherland, ۲۰۰۵.

[۲۰] Koen J.P.Macken, Koen Vanthournout, Jeroen Van den keybus, Geert Deconinck, Ronnie J.M. Belsmans "Distributed Control of Renewable Generation Units With Integrated Active Filter", IEEE transactions on Power Electronics, Vol.۱۹. No.۵, ۲۰۰۴.

[۲۱] IEEE Std ۴۹۳TM – ۲۰۰۷, IEEE Recommanded Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial power systems.

[۲۲] IEC ۶۱۰۰۰-۴-۱۱ Standard, Testing and Measurement Techniques, Voltage Dips, Short interuptions and Voltage Variation Immunity Tests.

[۲۳] Gnativ, R. Milanovi, J.V. "Voltage sag propagation in systems with embedded generation and induction motors", Power Engineering Society Summer Meeting, Vol- ۱, pp.۴۷۴ – ۴۷۹, ۲۰۰۱.

[۲۴] Angelo Baggini, Handbook of Power Quality, First Edition, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO۱۹ ۸SQ, England John Wiley & Sons Ltd, ۲۰.

[۲۵] مهندس مهدی علیرضا، مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های ژنتیک و کاربردهای آن، انتشارات ناقوس اندیشه،

چاپ سوم ۱۳۸۷.

[۲۶] S. F.Mekhamer, Hawary, S.A.Soliman, M.A.Moustafa, M.M.Mansour, and "New Heuristic Strategies for Reactive Power Compensation of Radial Distribution Feeders" IEEE transaction on Power Delivery, Vol. ۱۷, pp. ۱۱۲۸-۱۱۳۵, ۲۰۰۲.

Abstract

Increasing trend in using distributed generation has motivated power sector planners to consider approaches that result in benefiting the most from investments in this field. Meanwhile subjects such as power loss reduction as an important part of operation costs and improvement in voltage profile and voltage sag mitigation as two important factors in power quality, has significant role is lessening imposed expenditures to utility companies and customers.

Loss reduction is important for utility companies as it directly increases company benefit in competitive electricity markets, besides reaching power quality standards is too important as it has vital effect on customer orientation. In this paper an optimization algorithm is developed to gain these goals all together. In order to evaluate sag mitigation capability of proposed algorithm, voltage in voltage sensitive buses is investigated. An existing 11KV network has been chosen as test network and DG penetration level is 30% of the load of this grid. Results show the efficiency of proposed algorithm in reducing power loss, improving voltage profile and mitigating voltage sags in voltage sensitive buses. For evaluation of goal function which defines sag mitigation capability of proposed algorithm, voltage in five buses with highest annual fault rate is short circuited and voltage magnitude in voltage sensitive buses is investigated. More reduction in power loss, voltage profile improvement in all buses and voltage support and mitigation of voltage sag propagation to voltage sensitive buses are essential criteria for evaluation of proposed algorithm.

Key Words: Distributed Generation, Genetic Algorithm, Loss Reduction, Voltage Profile, Voltage Sag.



Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical and Robotic Engineering

**Optimal Placement and Sizing of DG for Loss
Reduction, Voltage Profile Improvement and Voltage
Sag Mitigation**

Seyed-Mostafa Farashbashi-Astaneh

**Supervisor:
Dr.Ali Dastfan**

December ۲۰۰۹