

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه مهندسی قدرت

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - قدرت

تعیین مکان و ظرفیت مناسب منابع تولید پراکنده با استفاده از
الگوریتم اجتماع ذرات جهت کاهش تلفات در سیستم های توزیع

ثنا صادقی

استاد راهنما:

دکتر مهدی بانژاد

استاد مشاور:

دکتر امین حاجی زاده

دی 1389

تقدیم به

پدر و مادر دلسوز و دوست داشتنی ام

که همواره در تمام مراحل زندگی حامی، همراه و مشوق بوده‌اند...

به

برادر عزیزتر از جانم و همسر گرامی اش

که بی صبرانه منتظر شکفتن غنچه زندگیشان می‌باشند...

و

برادر کوچکترم

که زندگی ام در کنار این مجموعه معنی پیدا می‌کند.

با تشکر از زحمات و راهنمایی‌های استاد راهنمای محترم جناب آقای

دکتر مهدی بانژاد

و تشکر از مشاوره‌های مفید و سازنده استاد مشاور محترم جناب آقای

دکتر امین حاجی زاده

که مرا در تهیه این گزارش یاری نمودند.

و تشکر ویژه از اساتید محترمی که داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته‌اند.

چکیده

کاهش انرژی الکتریکی تلف شده یکی از مهمترین مسائل مورد بحث در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی می‌باشد. شرکت‌های تامین و توزیع انرژی الکتریکی به منظور کاهش هزینه‌ها و همچنین افزایش سود تولید انرژی الکتریکی همواره سعی در کاهش انرژی تلف شده داشته‌اند. امروزه استفاده از منابع تولیدات پراکنده رو به افزایش می‌باشد. یکی از مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده کاهش سطح انرژی الکتریکی تلف شده می‌باشد. استفاده از منابع تولید پراکنده می‌تواند باعث کاهش چشمگیری در سطح انرژی تلف شده شود، در صورتیکه مکان نصب و ظرفیت آن‌ها به طور مناسب انتخاب شود. در این پایان نامه به تعیین مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن الگوی بار شبکه جهت کاهش تلفات پرداخته شده است. تابع هدف معرفی شده جهت کاهش تلفات با استفاده از الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات بهینه شده است. در روش پیشنهادی منحنی بار مرتب شده با استفاده از منحنی بار شبکه بدست آمده است. سپس منحنی مرتب شده، به سه بخش بار سبک، متعادل و پیک تقسیم شده است. برای هر بخش شاخص‌های متوسط توان و زمان محاسبه شده و سپس در تابع هدف پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته شده است. برای اینکه نتایج واقع بینانه باشد رشد بار نیز در تابع هدف در نظر گرفته شده است. روش پیشنهادی بر روی قسمتی از شبکه توزیع واقعی پیاده شده است و مکان نصب و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن الگو و رشد بار با استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات یافته شده است. در این پایان نامه فرض شده است که الگوی بار باس‌ها در هر نقطه، از الگوی بار شبکه تبعیت می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در شرایط بار وزنی معادل کمترین میزان انرژی الکتریکی تلف شده نسبت به سایر شرایط بار گذاری مثل بار سبک، متعادل یا بار پیک را دارد.

فهرست مطالب:

1- مقدمه	1
2- رویکردی بر تولیدات پراکنده	5
1-2- مقدمه	6
2-2- تعاریف DG	8
3-2- تقسیم بندی DG ها بر اساس توان نامی آنها	8
4-2- گستره تحویل توان DG	10
5-2- دسته بندی تکنولوژی های DG	10
2-5-1- ژنراتورهای مبتنی بر سوخت سنتی	11
2-5-1-1- میکروتوربین ها (MTs)	11
2-5-1-2- فواید میکروتوربین ها (MTs)	12
2-5-1-3- تقسیم بندی انواع میکروتوربین ها (MTs) بر اساس سیکل کاری	13
2-5-2- ژنراتورهای مدرن (غیر سنتی)	13
2-5-2-1- ابزارهای الکتروشیمیایی (پیل های سوختی)	13
2-5-2-1-1- فواید پیل های سوختی	15
2-5-2-1-2- معایب پیل های سوختی	16
2-5-2-1-3- انواع پیل های سوختی	16
2-5-3- ذخیره کننده های انرژی	19
2-5-4- منابع انرژی مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر	20
2-5-4-1- فتوولتائیک (PV)	20

- 20.....PV مزایای PV کاربردها و مزایای PV 1-1-4-5-2
- 21.....محدودیت های سلول های خورشیدی 2-1-4-5-2
- 22.....توربین های بادی (WT) 2-4-5-2
- 22.....مزایا و معایب توربین های بادی 1-2-4-5-2
- 23.....کاربردهای مختلف DG در سیستم قدرت 6-2
- 24.....پشتیبانی از ظرفیت آماده به کار (اضطراری شبکه) 1-6-2
- 24.....کاربرد مستقل از شبکه 2-6-2
- 24.....کاربرد پیک سایه 3-6-2
- 25.....کاربرد پشتیبانی ولتاژ شبکه 4-6-2
- 25.....کاربردهای کنترل از راه دور، روشنایی و کشاورزی 5-6-2
- 26.....کاهش تلفات 6-6-2
- 26.....تولید همزمان برق و حرارت (CHP) 7-6-2
- 27.....کمک به راه اندازی شبکه در شرایط پس از خاموشی 8-6-2
- 27.....مدت زمان استفاده از DG ها و نوع توان تولیدی آنها 7-2
- 28.....فواید استفاده از منابع تولید پراکنده 8-2
- 29.....1-8-2 فواید استفاده از منابع تولید پراکنده از دیدگاه اقتصادی
- 29.....2-8-2 فواید استفاده از منابع تولید پراکنده از دیدگاه نصب، راه اندازی، نگهداری و تاثیرات متقابل
- 31.....9-2 محدودیت های اجرایی DG
- 31.....1-9-2 محدودیت های توربین های گازی و موتورهای احتراقی
- 32.....2-9-2 محدودیت های DG های مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر
- 32.....10-2 اهمیت جابجایی و تعیین سائز منابع تولید پراکنده

- 33-1-10-2- استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ.....
- 34-2-10-2- استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی جهت بهبود قابلیت اطمینان.....
- 34-3-10-2- استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی جهت بهبود کیفیت توان.....
- 34-4-10-2- استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی جهت کاهش هزینه‌ها.....
- 34-11-2- مدل سازی منابع تولید پراکنده.....
- 35-12-2- بررسی وضعیت تلفات در شبکه های توزیع با حضور DG.....
- 39-1-12-2- کاهش تلفات در حضور توزیع های مختلف بار.....
- 41-13-2- جمع بندی.....
- 42-مراجع.....
- 46-3- الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات معلق (PSO).....
- 47-1-3- مقدمه.....
- 47-2-3- انواع روش های جستجو.....
- 48-3-3- انواع روش های بهینه سازی اکتشافی.....
- 49-4-3- الگوریتم اجتماع ذرات.....
- 49-1-4-3- درک شهودی الگوریتم اجتماع ذرات.....
- 50-2-4-3- فرمول سازی مسئله و تابع هدف.....
- 51-3-4-3- اطلاعات ورودی.....
- 51-4-4-3- قیود مسئله.....
- 52-5-4-3- فضای جستجو.....
- 52-6-4-3- روش کار PSO.....
- 55-7-4-3- شرط توقف.....

- 55.....3-4-6- مقدار دهی پارامترهای الگوریتم.....
- 56.....3-4-9- شبه کد الگوریتم PSO.....
- 57.....3-4-10- همسایگی های تعریف شده.....
- 58.....3-4-11- مزایا و معایب استفاده از الگوریتم PSO.....
- 58.....3-4-11-1- مزایا.....
- 59.....3-4-11-2- معایب.....
- 60.....3-4-12- مقایسه الگوریتم PSO با الگوریتم ژنتیک.....
- 60.....3-4-12-1- شباهت ها.....
- 60.....3-4-12-2- تفاوت ها.....
- 62.....3-5- جمع بندی.....
- 63.....مراجع.....
- 65.....4- مکان یابی و تعیین ظرفیت DG با استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات.....
- 66.....4-1- مقدمه.....
- 66.....4-2- مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با روش الگوریتم اجتماع ذرات بدون در نظر گرفتن الگوی بار.....
- 66.....4-2-1- تاثیر مکان نصب و ظرفیت منابع تولید پراکنده در میزان کاهش تلفات.....
- 69.....4-2-2- محاسبه تلفات سیستم در حالت بدون نصب DG.....
- 70.....4-2-3- محاسبه تلفات سیستم در حالت نصب DG.....
- 71.....4-2-3-1- طرح اول محاسبه تلفات سیستم در حالت نصب DG.....
- 71.....4-2-3-2- طرح دوم محاسبه تلفات سیستم در حالت نصب DG.....
- 72.....4-2-3-1- طرح سوم محاسبه تلفات سیستم در حالت نصب DG.....
- 76.....4-2-4- بررسی اثر تعداد واحد های تولید پراکنده در میزان کاهش تلفات.....

- 3-4- بررسی اجمالی روش حل مسئله پیشرو و بدست آوردن نتایج با در نظر گرفتن الگوی بار 77
- 4-4- تابع هدف 80
- 1-4-4- قیود مساوی 81
- 2-4-4- قیود نامساوی 81
- 5-4- الگوی بار 83
- 6-4- اندیس بار 84
- 7-4- جمع بندی 90
- مراجع 91
- 5- شبیه سازی و نتایج 92
- 1-5- مقدمه 93
- 2-5- شبکه مورد مطالعه 93
- 3-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده بدون در نظر گرفتن الگوی بار 96
- 1-3-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت یک واحد تولید پراکنده بدون در نظر گرفتن الگوی بار 97
- 2-3-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت دو واحد تولید پراکنده بدون در نظر گرفتن الگوی بار 98
- 3-3-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت سه واحد تولید پراکنده بدون در نظر گرفتن الگوی بار 99
- 4-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن الگوی بار 100
- 1-4-5- محاسبه اندیس های بار جهت استفاده در شبکه مورد مطالعه 101
- 2-4-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شرایط بار سبک 105
- 3-4-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شرایط بار متعادل 106
- 4-4-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شرایط بار پیک 108
- 5-4-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شرایط بار وزنی معادل 109

113.....	4-5- جمع بندی
114.....	مراجع
115.....	6- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات
116	6-1- نتیجه گیری
117.....	6-2- پیشنهادات
118.....	7- ضمیمه

فهرست شکل‌ها

- شکل 2-1 انواع تکنولوژی های تولید پراکنده 11
- شکل 2-2 عملکرد یک میکروتوربین معمولی 13
- شکل 3-2 نمایش فرایندهای انجام شده درالکترودهای یک پیل سوختی 15
- شکل 4-2 قسمتهای مختلف یک توربین بادی 23
- شکل 5-2 یک فیدر شعاعی با بارهای توزیع شده در طول خط 37
- شکل 1-3 بردار بروز رسانی ذره $P_i^{(k)}$ با سرعت $V_i^{(k)}$ 54
- شکل 2-3 فلوچارت الگوریتم PSO 54
- شکل 3-3 انواع توپولوژی های همسایگی محلی 58
- شکل 1-4 یک سیستم شعاعی ساده بدون DG 67
- شکل 2-4 یک سیستم شعاعی ساده شامل DG 67
- شکل 3-4 یک سیستم شعاعی ساده بدون واحد تولید پراکنده 70
- شکل 4-4 یک سیستم شعاعی ساده همراه با یک واحد DG نصب شده با ظرفیت 400 kw در باس B 71
- شکل 5-4 یک سیستم شعاعی ساده همراه با یک واحد DG نصب شده با ظرفیت 600 kw در باس B 71
- شکل 6-4 یک سیستم شعاعی ساده همراه با یک واحد DG نصب شده با ظرفیت 600 kw در باس C 71
- شکل 7-4 روند تعیین مکان مناسب و ظرفیت بهینه واحد تولید پراکنده با روش PSO بدون الگوی بار 75
- شکل 8-4 انواع طرح‌های استفاده از چند DG در سیستم‌های توزیع 76
- شکل 9-4 فرایند تعیین مکان و ظرفیت بهینه DG با در نظر گرفتن الگوی بار 79
- شکل 10-4 الگوی مصرف اردیبهشت ماه 83

فهرست شکل‌ها

- شکل 4-11 بار مرتب شده مربوط به اردیبهشت ماه یک سال کاری 84
- شکل 4-12 میزان مصرف 120 ساعت پیک اردیبهشت ماه 85
- شکل 4-13 میزان مصرف 120 ساعت سبک اردیبهشت ماه 86
- شکل 4-14 میزان مصرف 504 ساعت متعادل اردیبهشت ماه 86
- شکل 5-1 دیاگرام تک خطی شبکه نمونه 94
- شکل 5-2 نرخ کاهش انرژی تلف شده کل در 20 نسل برای تعداد یک واحد DG 98
- شکل 5-3 نرخ کاهش انرژی تلف شده کل در 20 نسل برای تعداد دو واحد DG 99
- شکل 5-4 نرخ کاهش تلفات کل در 20 نسل برای تعداد سه واحد DG 100
- شکل 5-5 الگوریتم مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه DG با در نظر گرفتن الگوی بار 101
- شکل 5-6 الگوی مصرف یک سال کاری 102
- شکل 5-7 الگوی مصرف یکسال کاری به صورت مرتب شده از بیشترین تا کمترین میزان مصرف 103
- شکل 5-8 نرخ کاهش تلفات کل برای 100 ذره و 20 تکرار در شرایط بار سبک 106
- شکل 5-9 نرخ کاهش تلفات کل برای 100 ذره و 20 تکرار در شرایط بار متعادل 107
- شکل 5-10 نرخ کاهش تلفات کل برای 100 ذره و 20 تکرار در شرایط بار پیک 109
- شکل 5-11 مقایسه میزان تلفات کل در روش پیشنهادی با حالت بار سبک 111
- شکل 5-12 مقایسه میزان تلفات کل در روش پیشنهادی با حالت بار متعادل 111
- شکل 5-13 مقایسه میزان تلفات کل در روش پیشنهادی با حالت بار پیک 112

فهرست جدول‌ها

- جدول 1-2 تعاریف و نامهای مختلف DG 8
- جدول 2-2 تقسیم بندی انواع مختلف DG براساس اندازه آنها 9
- جدول 3-2 تقسیم بندی انواع مختلف DG براساس استانداردهای مختلف 10
- جدول 4-2 انواع پیل های سوختی 17
- جدول 5-2 کاربردهای انواع مختلف DG 27
- جدول 6-2 مقایسه انواع DG از نظر مدت استمرار و نوع توان تولیدی 28
- جدول 7-2 مکان بهینه نصب DG با هدف کاهش تلفات در سه نوع بار مختلف 40
- جدول 1-5 اطلاعات خطوط شبکه مورد بررسی 94
- جدول 2-5 اطلاعات باس های شبکه مورد بررسی 95
- جدول 3-5 نتایج شبیه سازی بدون در نظر گرفتن الگوی بار برای یک واحد DG 97
- جدول 4-5 نتایج شبیه سازی بدون در نظر گرفتن الگوی بار برای دو واحد DG 98
- جدول 5-5 نتایج شبیه سازی بدون در نظر گرفتن الگوی بار برای سه واحد DG 99
- جدول 6-5 مکان و ظرفیت پیشنهادی و میزان کاهش تلفات در شرایط بار سبک 105
- جدول 7-5 مکان و ظرفیت پیشنهادی DG و میزان کاهش تلفات در شرایط بار متعادل 107
- جدول 8-5 مکان و ظرفیت پیشنهادی DG و میزان کاهش تلفات در شرایط بار پیک 108
- جدول 9-5 مکان و ظرفیت پیشنهادی DG و میزان کاهش تلفات در شرایط بار سبک، متعادل و پیک 109

مقالات منتشر شده از این پایان نامه:

• Sana Sadeghi, Mahdi Banejad, "A Comparison Study on Optimal Sitting and Sizing Distributed Generation and Shunt Capacitor Units for Loss Reduction",^{6Th} international conference on Technical and Physical Problems of power Engineering 14-16 September 2010.

• ثنا صادقی، مهدی بانژاد، "جایابی و تعیین سایز بهینه منابع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات با در نظر گرفتن الگوی بار سیستم" بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی برق (PSC2010)، ایران، تهران، آبان 89.

• ثنا صادقی، مهدی بانژاد، "کاربردهای الگوریتم‌های هوش مصنوعی و روشهای تکاملی در سیستم‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی" سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات سما (CEIT 2011)، ایران، همدان، بهمن 89.

فصل اول

مقدمه

مقدمه

در گذشته و اوایل پیدایش شبکه‌های برق، تولید انرژی الکتریکی به صورت محلی انجام می‌شد به عبارت دیگر مراکز تولید به مراکز مصرف بسیار نزدیک بودند که امروزه با پیشرفت تکنولوژی چنین نیست. یکی از علل مهم این نوع تولید انرژی در آن زمان عدم توانایی ساخت تجهیزات فشار قوی و تولید توان در مقیاس بالا بود. اما رشد بار و افزایش مصرف انرژی الکتریکی و در نتیجه نیاز به تولید توان بالا، از یک طرف و مشکلات زیست محیطی از طرف دیگر باعث شد که تولید محلی جای خود را به نیروگاه‌های متمرکز بدهد. یکی از بزرگترین مشکلات تولید توان توسط نیروگاه‌های متمرکز، میزان بالای تلفات سالانه در خطوط انتقال توان می‌باشد که علت آن را می‌توان در زیاد بودن فاصله بین تولید و مصرف جستجو نمود، مقدار این تلفات به اندازه‌ای است که می‌تواند نقش مهمی در تعیین نوع آرایش شبکه ایفا نماید. از مزایای استفاده از تولید پراکنده (DG) می‌توان به مواردی همچون کاهش هزینه‌های تولید، کاهش تلفات به دلیل نزدیکی محل تولید و مصرف انرژی، بهبود پروفیل ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان و امکان دسترسی به انرژی‌های نو و اثرات زیست محیطی مثبت اشاره نمود. جهت دستیابی به اهداف فوق، بایستی مکان بهینه DG و ظرفیت مناسب آن تعیین گردد. تاکنون مطالعات زیادی در راستای تعیین مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده انجام شده است که هدف اصلی این پژوهش-ها کاهش تلفات شبکه و در نتیجه کاهش هزینه‌های بهره برداری در دراز مدت بوده است. که در اکثر آنها به بررسی نحوه الگوی بار سیستم و نرخ رشد سالانه بار سیستم پرداخته نشده است.

با مروری اجمالی بر کارهای انجام گرفته شده در زمینه جایابی منابع تولید پراکنده، می‌توان کارهای انجام شده تا کنون را به دسته‌های زیر تقسیم بندی نمود.

برخی از مقالات به حل مسئله جایابی با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند پرداخته‌اند که از آن میان مراجع [1,2] با استفاده از الگوریتم ژنتیک به یافتن مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده جهت کاهش تلفات پرداخته‌اند،

مرجع [3] با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان و مرجع [4] با استفاده از الگوریتم ژنتیک و سیستمهای فازی به بررسی مسئله جایابی پرداخته اند.

برخی دیگر از مقالات با استفاده از روشهای تحلیلی و مبتنی بر روابط ریاضی به بررسی مسئله جایابی پرداخته- اند [5,6]. که در مرجع [6] علاوه بر روش تحلیلی، نتایج با استفاده از الگوریتم ژنتیک نیز مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است و در مرجع [5] از قبل نوع DG و توان تولیدی آن مشخص بوده و تاثیر مکان و ظرفیت بهینه DG با استفاده از روش تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در این پژوهش با فرض کارا بودن استفاده از DG، ضمن در نظر گرفتن شرایط مختلف بارگذاری سیستم توزیع نسبت به زمان، در ابتدا یک تابع هدف مناسب جهت کاهش انرژی تلف شده معرفی شده است سپس با استفاده از الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات (PSO) از این تابع هدف جهت بدست آوردن مکان و ظرفیت بهینه منبع تولید پراکنده در شرایط مختلف بار گذاری بار سبک، بار پیک و بار متعادل استفاده شده است. الگوریتم ارائه شده بر روی یک سیستم توزیع پیاده شده و نتایج شبیه سازی نشان داده شده است.

ساختار گزارش پیش رو به شرح ذیل می باشد: در فصل دوم به معرفی سیستمهای تولید پراکنده پرداخته شده است. معرفی انواع روشهای بهینه سازی و تشریح الگوریتم بهینه سازی ذرات در فصل سوم صورت گرفته است. بیان چگونگی پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه در فصل چهارم و نتایج شبیه سازی و تعیین ظرفیت و مکان نصب مناسب واحدهای تولید پراکنده با در نظر گرفتن الگوی بار سیستم همراه با در نظر گرفتن نرخ رشد سالانه بار، در فصل پنجم بیان شده است. و در انتها در فصل ششم نتیجه گیری کلی و نیز پیشنهادات برای طرحهای تحقیقی آینده آورده شده است.

مراجع:

- [1] M. Sedighzadeh, and A. Rezazadeh “Using genetic algorithm for distributed generation allocation to reduce losses and improve voltage profile”. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 37, pp251-156, Dec.2008.
- [2] Carmen L.T. Borges and Djalma M. Falca~o “Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement” Electrical Power and Energy Systems, Vol. 28, pp.413-420, Jul.2006.
- [3] Farnaz Sheidaei , Majid Shadkam , Mahdi Zarei “optimal distributed generation allocation in distribution system employing ant colony to reduce losses”, Universities Power Engineering Conference, 2008. UPEC 2008. 43rd International , pp.1-5.Sep.2008.
- [4] H. Shayeghi, B. Mohamadi “Multi-Objective fuzzy model in optimal siting and sizing of DG for loss reduction” International journal of electrical power and energy systems Engineering, Vol.2, Nov.2009.
- [5] Francisco Jurado , Antonio Cano “Optimal placement of biomass fuelled gas turbines for reduced losses” Energy Conversion and Management, Vol.47, Issues 15-16,pp.2673-2681,Sep.2006.
- [6] T.N. Shukla, S.P. Singh and K.B. Naik “Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses” Fifteenth national power systems conference (NPSC), IIT Bombay, pp.113.118, Dec.2008.

فصل دوم

رویکردی بر تولیدات پراکنده

2-1- مقدمه

به طور کلی تولید پراکنده یا $1DG$ عبارت است از تولید برق در محل مصرف، اما برخی موارد به تکنولوژی-هایی گفته می‌شود که از منابع تجدیدپذیر برای تولید برق استفاده می‌کنند. آنچه که عموماً مورد قبول است این است که این مولدها صرف نظر از نحوه تولید توان آنها، نسبتاً کوچک بوده و ظرفیت آنها معمولاً کمتر از 300Mw می‌باشد و مستقیماً به شبکه توزیع وصل می‌شوند. بالا رفتن هزینه‌های انتقال و توزیع، به مولدهای تولید پراکنده این امکان را می‌دهد که برق تولیدی خود را به قیمتی ارزانتر در اختیار مصرف‌کنندگان قرار دهند. علاوه بر این تولید پراکنده امکان استفاده از منابع پاک برای تولید برق را فراهم می‌کند.

اگر بخواهیم تعریف اجمالی از DG داشته باشیم می‌توان به منابع تولید توان با ظرفیت محدود (در حدود Mw) تحت عنوان تولید پراکنده یاد کرد. اما به طور کامل‌تر، به منابع تولید توان الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع یا مصرف‌کننده متصل است گفته می‌شود که این تعریف به تعریف IEEE نزدیک‌تر می‌باشد. اما به طور کلی تعاریفی که برای تولید پراکنده ارائه شده است تا حدودی متفاوت است. IEEE تولید برق توسط وسایلی که به اندازه کافی از نیروگاه‌های متمرکز کوچکتر باشند و قادر به نصب در محل مصرف هستند را به عنوان تولید پراکنده تعریف کرده است.² IEA واحدهای تولید کننده توان در محل مصرف یا داخل شبکه توزیع که توان را به طور مستقیم به شبکه توزیع محلی تزریق می‌کنند را DG معرفی می‌کند اما ICLES³ شرط غیرقابل مدیریت شدن را برای این مولدها ذکر کرده است.

اما باید خاطرنشان کنیم که تولید پراکنده یک مفهوم جدید نمی‌باشد و ایده آن از مدت‌ها پیش وجود داشته و اکنون یک روند روبه رشد جهت تامین انرژی برق در قلب سیستم قدرت می‌باشد. تولید پراکنده اساساً به مفهوم

¹ -Distributed generation

² -International Energy Agency

³ -International Council on Large Electric System

نصب و عملکرد تجهیزاتی با سایز کوچک که منجر به تولید توان پاک در نزدیکی محل مصرف (مشترکین) می- باشد.

آمار و مقالات از رشد استفاده از تکنولوژی تولید پراکنده در صنعت برق حکایت دارند. در ادامه به تاریخچه‌ای از فعالیت‌های انجام گرفته در زمینه تولید پراکنده و نیز چشم اندازی از آینده آن می‌پردازیم.

- شرکت گاز و خدمات عمومی الکتریکی نیوجرسی امریکا جهت ساخت پیل‌های سوختی و سلولهای خورشیدی از سال 1970 میلادی تاکنون و نیز از سال 1995 میلادی تاکنون جهت ساخت میکروتوربین‌های گازی سهمیم شده‌اند. این شرکت ضمن تولید پیل‌های سوختی متداول در رنج 3 تا Kw-250، توزیع کننده میکروتوربین‌های 75 Kw شرکت Honey well در امریکا و کانادا می‌باشد [1].
- مطالعات انجمن علمی تحقیقاتی توان الکتریکی¹ نشان می‌دهد که DGها در سال 2010 حدود 25% از سهم تولید برق را در اختیار خواهند داشت، در صورتیکه با توجه به میزان ذخایر گاز طبیعی این مقدار تا 30% هم پیشبینی می‌شود.
- شرکتها و صنایع مرتبط با DG پیش بینی می‌کنند که در طی سه دهه آینده یک میلیون ماژول سلول خورشیدی بر روی سقفهای اماکن مختلف نصب خواهد شد.
- در سال 2000 مزرعه‌های بادی جدید به ظرفیت 3000 Mw نصب شده است.

مطالب درمورد مفهوم DG شامل تعریف DG، تکنولوژی‌های DG، کاربردها، اندازه‌ها، مکان‌های نصب، محدودیت‌های عملی و کاربردی DG و تاثیر آنها بر روی عملکرد سیستم و ابزارهای حفاظتی می‌باشد. در این فصل بیشتر بر روی انواع مختلف DG، تکنولوژی‌های مختلف آن، تعاریف و محدودیت‌های عملیاتی و فواید اقتصادی آنها صحبت خواهیم کرد.

¹ - EPRI

2-2- تعاریف DG

همانطور که قبلاً بیان شد، تاکنون تعریف دقیقی از DG ارائه نشده است، اما در هر صورت بنابر مقالات و نوشته‌های مختلف در این زمینه تعاریف مشترکی به چشم می‌خورد که برخی از آنها مطابق جدول 1-2 به شرح زیر می‌باشند.

جدول 1-2 تعاریف و نامهای مختلف DG

منطقه مورد استعمال	نام های DG
امریکای شمالی	تولید پراکنده شده ¹
کشورهای امریکای جنوبی	تولید جاسازی شده ²
اروپا و برخی کشورهای آسیایی	تولید نامتمرکز ³

اما آنچه از مقالات مختلف برداشت می‌شود این است که نام "تولید توزیع شده"⁴ یا همان نام همگانی‌تر "تولید پراکنده" در تمام دنیا فراگیر شده است [2].

2-3- تقسیم بندی DG ها براساس توان نامی آنها

برمبنای مقالات و موسسات معتبر علمی تقسیم بندی‌های متعددی برای اندازه توان تولیدی توسط DG ارائه شده است که در جدول 2-2 موجود می‌باشد. ولی در هر صورت این تعاریف براساس مقررات دولتی گاهی متغیر می‌باشد به عنوان مثال:

¹ - Dispersed Generation

² - Embeded Generation

³ - Decentralized Generation

⁴ - Distributed Generation

• درسوئد

ظرفیت DG تا حدود $1/5\text{Mw}$ می باشد که این تعریف بنا به دلایل زیر مشکلاتی دارد. چراکه مثلاً در مورد انرژی باد، ظرفیت کل مزارع بادی کنار ساحل سوئد نزدیک 1000Mw می باشد که توان نامی هر توربین $1/5\text{Mw}$ می باشد و بر اساس تعریف بالا هر توربین به تنهایی می تواند یک DG محسوب شود، نه مجموعه توربین ها. در مورد مزارع خورشیدی نیز، توان نامی کل از مجموع توان تمام ماژول ها و آرایه های خورشیدی بدست می آید، نه تک تک آنها. بنابراین برطبق این تعریف در بیشتر موارد نمی توان آنها را DG محسوب کرد.

• درآلمان

مرکز خدمات عمومی آلمان یک نیروگاه در مرکز شهر ایجاد کرده است. این نیروگاه فیدرهای 33Kv و 110Kv توزیع را تغذیه می کند و همزمان نیز به تولید حرارت می پردازد. از حرارت ایجاد شده برای گرما رسانی محلی استفاده می کند. بنابراین این نیروگاه می تواند یک DG محسوب شود. طبق بحث های بالا یک توان نامی مشترک برای DG وجود ندارد، چرا که ماکسیمم ظرفیت DG متصل به شبکه توزیع به ظرفیت سیستم توزیع و سطح ولتاژ بستگی دارد. که این مطلب بیانگر رنج وسیع تولیدات پراکنده و گوناگونی آن می باشد. به هر حال اکثر مقالات از DG های با سایز کوچک و متوسط استفاده می کنند.

جدول 2-2 تقسیم بندی انواع مختلف DG براساس اندازه آنها [2]

Type	Power
Micro DG	$1\text{w} < P < 5\text{kw}$
Small DG	$5\text{Kw} < P < 5\text{Mw}$
Medium DG	$5\text{Mw} < P < 50\text{Mw}$
Large DG	$50\text{Mw} < P < 300\text{Mw}$

جدول 2-3 تقسیم بندی انواع مختلف DG براساس استانداردهای مختلف [2]

Standard	Power
EPRI	KW<P<50MW
GRI	25KW<P<100MW
Preston&Rostler	KW<P<100MW
Cardell	50KW<P<1MW
ICLES	50KW<P<100MW

2-4- گستره تحویل توان DG

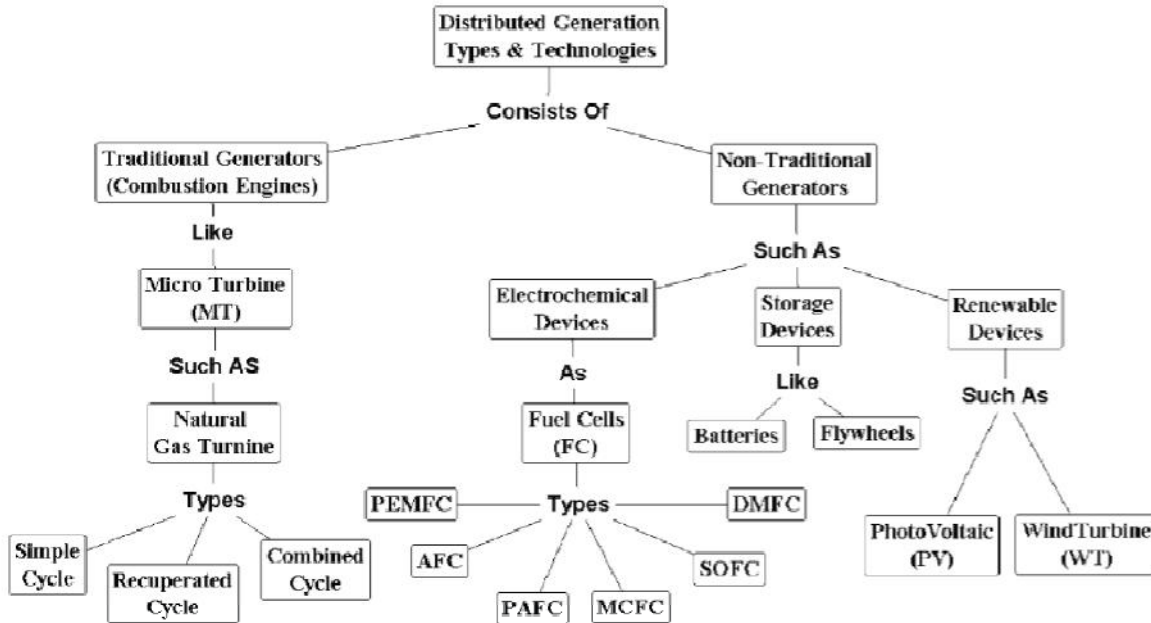
در اینجا نیز بنا به گوناگونی مولدهای تولیدپراکنده، محدوده مشخصی برای تحویل توان DG وجود ندارد اما معمولاً فرض می‌شود که انرژی ایجاد شده توسط DG در سیستم توزیع مصرف می‌شود اما در هر حال ممکن است که DG مقداری از توان تولیدی خود را به سیستم انتقال تحویل بدهد که ممکن است این پدیده به دلیل عدم جایی و تعیین سایز مناسب DG و تجاوز بار تولیدی سیستم توزیع از حد استاندارد رخ دهد.

2-5- دسته بندی تکنولوژی‌های DG

از دیدگاه‌های ساختاری و تکنولوژیکی انواع مختلفی از DG وجود دارد که در شکل 2-1¹ نمایش داده شده‌اند، این گونه DGها باید با یکدیگر مقایسه شوند تا بتوان در مورد اینکه کدام نوع برای کدام شرایط مختلف کاری مناسب است تصمیم گیری شود. انواع مختلف DGها در زیر معرفی می‌گردد.

¹ - Electrical power research Inst

² - Gas research Inst



شکل 2-1 انواع تکنولوژی های تولید پراکنده [2]

2-5-1-1- ژنراتورهای مبتنی بر سوخت سنتی

این دسته از منابع تولید پراکنده شامل میکروتوربین‌ها، توربین‌های گازی سیکل ساده، توربین‌های گازی بهبود یافته و توربین‌های گازی سیکل ترکیبی می‌باشند.

2-5-1-1-1- میکرو توربین‌ها (MT)

در مورد به کارگیری میکروتوربین‌ها در صنعت، آینده روشنی را برای میکروتوربین‌ها می‌توان تصور کرد. میکروتوربین‌ها مولدهایی با قابلیت کارکرد با سوخت گاز طبیعی، پروپان و گازوئیل و... می‌باشند. در یک نمونه ساده میکروتوربین‌ها شامل یک کمپرسور، محفظه سوخت، یک توربین کوچک و یک ژنراتور می‌باشند که در برخی نمونه‌ها تنها یک شفت و در نمونه‌های دیگر دو شفت موجود می‌باشد و از روغن یا هوا برای خنک سازی استفاده می‌شود. میکروتوربین‌ها در سایزهای کوچک از حجم 0/4 تا 1 مترمکعب و توان 20 تا 500Kw موجود

می‌باشد. برخلاف توربین‌های قدیمی، میکروتوربین‌ها در دما و فشار کمتر و سرعت‌های بالاتری کار می‌کنند که برخی مواقع نیاز به گیربکس هم موجود نمی‌باشد [5]. برخی از نمونه‌های تجاری با قیمت پایین، قابلیت اطمینان و سرعت‌های بالا، با توان 30-75 Kw در شمال شرقی آمریکا و شرق کانادا و آرژانتین با نشان "Honeywell" نصب و راه اندازی شده‌اند [7]. انواع دیگری از میکروتوربین‌ها متعلق به شرکت ABB با سایز 100Kw که در توان ماکسیمم خود دارای سرعت ۷۰۰۰۰rpm می‌باشند، موجود است که توربین، کمپرسور و ژنراتور همگی بر روی یک شفت استوار شده اند [۵].

2-1-5-2- فواید میکروتوربین‌ها:

- قابلیت نصب در سایت (مخصوصاً زمانی که محدودیت دسترسی به خطوط انتقال داشته باشد).
- اندازه و حجم کمتر نسبت به موتورهای احتراقی قدیمی.
- بازده بالا (بالای 80%) و میزان تشعشعات کمتر نسبت به موارد قدیمی.
- دارا بودن تکنولوژی شناخته شده و راحتی نصب، راه اندازی، نگهداری [5].
- پایین تر بودن هزینه بهره برداری و نگهداری نسبت به سایر DGها [1].
- دارا بودن قسمت‌های متحرک با اینرسی کمتر در مقایسه با توربین‌های گازی بزرگ که دارای اینرسی بالایی هستند.
- امکان کار با سوخت مایع و گاز.
- امکان کارکرد به صورت موازی با چند میکروتوربین دیگر [6].

شاید بتوان در مقابل مزایای ذکر شده فوق، تنها معضل استفاده از میکروتوربین‌ها را هزینه بالای نصب آن‌ها دانست. با توجه نحوه عملکرد، میکروتوربین‌های مختلفی نظیر گازی و احتراقی موجود می‌باشد. توربین‌های گازی توربین‌های احتراقی هستند که گاز با فشار و دمای بالا ایجاد می‌کنند. این گاز فشار بالا برای چرخاندن شفت

توربین که کمپرسور و در نتیجه ژنراتور را راه اندازی می کند به کار گرفته می شود. توربین های گازی معمولاً برای تولید توان 1Mw استفاده می شدند اما امروزه می توان از مدل های کوچک میکروتوربین های گازی با اندازه و توان نامی 200Kw استفاده کرد [5]. همانطور که در شکل 2-2 نمایش داده شده است، حرارت ایجاد شده می تواند به عنوان یک بازیاب حرارت تلف شده به کار گرفته شود تا جهت تولید همزمان گرما و توان الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل 2-2 عملکرد یک میکروتوربین معمولی [2]

2-5-2- ژنراتورهای مدرن (غیر سنتی)

2-5-2-1- ابزارهای الکتروشیمیایی (پیل های سوختی)¹

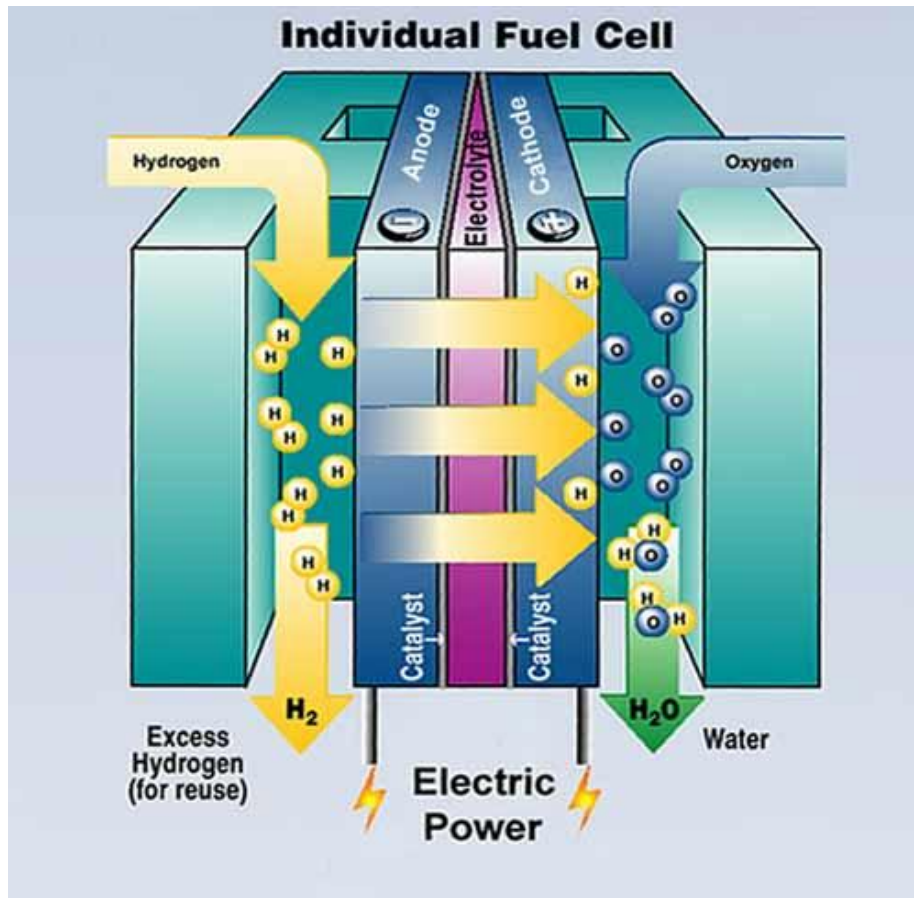
پیل سوختی ابزاری است که از نتیجه فرآیندهای شیمیایی، توان الکتریکی و حرارتی ایجاد می کند. با این تفاوت که مثل باتری ها انرژی ذخیره نمی کند و نیز نیاز به شارژ مجدد ندارد [8]. پیل های سوختی از اوایل سال 1960 که در برنامه های فضایی مورد استفاده قرار گرفتند، وارد بازار شدند. بعدها در سال 1997 سازمان انرژی آمریکا، سوخت بنزین را به عنوان سوخت مورد نیاز پیل های سوختی امتحان کرد تا میزان قابلیت استفاده از آن برای تولید توان الکتریکی را بررسی کند [6].

¹-Fuel Cell (FC)

همانطور که در شکل 2-4 نمایش داده شده است، یک FC نمونه شامل دو الکتروود شیمیایی است که بوسیله یک الکتروولیت از هم جدا شده‌اند. اکسیژن به عنوان یک اکسنده از الکتروود کاتد و سوخت از الکتروود دیگر (آند) عبور می‌کند. تکنولوژی‌های پیل‌های سوختی بر مبنای فرایند شیمیایی ترکیب اکسیژن و هیدروژن جهت ایجاد الکتریسیته بدون احتراق قرار گرفته است. به کمک کاتالیزور یک اتم هیدروژن به یک الکترون و پروتون تقسیم می‌شود. در الکتروود آند، الکترون توسط مدار خارجی از آند یا قطب مثبت به سمت کاتد یا قطب منفی جاری می‌شود، در قطب منفی الکترون و پروتون دوباره با هم ترکیب شده و هیدروژن تولید می‌کنند که با اکسیژن تزریقی به قطب منفی ترکیب شده و یک مولکول آب را ایجاد می‌کنند [8،9].

مراحل عملیات صورت گرفته و محصولات پروسه‌های شیمیایی یک پیل سوختی در شکل 2-3 نمایش داده شده است. از آنجا که نگهداری و حمل و نقل هیدروژن نیاز به دقت فراوانی دارد، ممکن است از مبدل‌هایی جهت تولید هیدروژن در محل استفاده شود [10]. هیدروژن مورد استفاده قرار گرفته شده باید بوسیله تغییر ماهیت هیدروکربن‌ها یا بوسیله عملیات شیمیایی الکتروولیز آب تامین شود [10]. روش متداول مورد استفاده، اصلاح هیدروکربن‌ها نظیر گاز طبیعی می‌باشد چرا که به صورت تجاری در دسترس بوده و بوسیله خطوط لوله‌ای قابل انتقال می‌باشد. تولید هیدروژن به صورت شیمیایی بوسیله استفاده از دمیدن بخار بر روی کربن داغ شده می‌باشد. محصولات خروجی این فرآیند H_2 و CO_2 می‌باشد. روش دیگر تولید هیدروژن الکتروولیز آب می‌باشد که این روش چندان اقتصادی نیست [10،11].

برق تولیدی به کمک این روش را جهت اتصال به شبکه و کنترل سطح ولتاژ به کمک مبدل‌هایی به جریان متناوب تبدیل می‌کنند [8،9].



شکل 2-3 نمایش فرایندهای انجام شده در الکترودهای یک پیل سوختی [11]

2-5-2-1-1-1- فواید پیل‌های سوختی

- پیل‌های سوختی انرژی شیمیایی سوخت را با بازده 60% به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند که این مقدار دو برابر میزان ایستگاه‌های سنتی می‌باشد.
- عدم حضور بخشهای متحرک در پیل‌های سوختی، به جز دمنده هوا برای (O_2) و سوخت (H_2) و یا پمپ‌های آب، باعث بی سروصدا کارکردن و بازده نسبتاً زیاد می‌شود [9، 11].
- عدم وجود احتراق در پیل‌های سوختی باعث می‌شود که از آنها به عنوان مولدهای با آلاینده‌گی کم و دوستدار طبیعت یاد شود [9].

- به دلیل ماهیت محصول خروجی (برق و حرارت) و قیمت آنها، انتظار می‌رود که در سال‌های آینده پیل‌های سوختی کوچک در کاربردهای تجاری و خانگی، جهت تولید همزمان برق و حرارت پیاده سازی شوند [10.9].
- امروزه پیل‌های سوختی به صورت پشته (ترکیب سری n پیل سوختی) ساخته می‌شوند که این امر موجب انعطاف پذیری در زمینه دستیابی به توان مطلوب می‌باشد.
- از دیگر مزایای پیل‌های سوختی می‌توان به وجود انواع قابل حمل و ثابت آنها و حجم سائزهای متفاوت آنها اشاره کرد.

2-5-2-1-2- معایب پیل‌های سوختی

از دیدگاه الکتریکی، با فرسودگی پیل سوختی، امپدانس داخلی پیل رفته‌رفته افزایش می‌یابد. بنابراین به یک عنصر الکترونیک قدرت واسطه جهت تنظیم ولتاژ خروجی نیاز می‌باشد [9].

2-5-2-1-3- انواع پیل‌های سوختی

بسته به نوع الکترولیت مورد استفاده قرار گرفته شده، انواع مختلفی از پیل‌های سوختی موجود می‌باشد. مثلاً پیل سوختی الکترولیت پلیمر¹، پیل سوختی قلیایی یا آلکالاین²، پیل سوختی متانول مستقیم³، پیل سوختی اسید فسفریک⁴، پیل سوختی کربنات مذاب⁵ و پیل سوختی اکسید جامد⁶ که اطلاعات مربوط به ساختار و مزایا و معایب برخی از انواع پیل‌های سوختی، در جدول 2-4 آورده شده است [19].

¹-Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

²-Alkaline Fuel Cell (AFC)

³-Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)

⁴-Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)

⁵-Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

⁶-Solid Oxide Fuel cell (SOFC)

جدول 2-4 انواع پیل های سوختی [19]

نوع	مشخصات	مزایا	معایب
AFC	این نوع پیل سوختی پس از اصلاحاتی، در دمای کمتر از 120 درجه سانتیگراد با الکترولیتی به غلظت 35 تا 50 درصد وزنی هیدروکسید پتاسیم کار می‌کند. طیف وسیعی از الکتروکاتالیست‌ها نظیر نیکل، نقره، اکسیدهای فلزی، فلزات نجیب و غیره می‌تواند در این نوع پیل سوختی بکار رود.	1- عملکرد بهتر کاتد نسبت به سایر پیل های سوختی. 2- ارزان تر بودن آن نسبت به سایر پیل های سوختی	عمده ترین عیب این نوع پیل‌ها حساسیت آن به ناخالصی اکسیدهای کربنی در سوخت است که با الکترولیت وارد واکنش شده و کربنات پتاسیم تولید می‌کند. این امر موجب محدودیت جدی عملکرد پیل می‌شود. لذا در این پیل‌ها هیدروژن و اکسیژن خالص جهت انجام واکنش‌ها بکار می‌روند.
MCFC	الکترولیت این نوع پیل سوختی کربنات‌هایی از فلزات قلیایی نظیر لیتیم، پتاسیم و سدیم می‌باشد. این نمک‌ها تنها زمانی به عنوان الکترولیت عمل می‌کنند که به صورت مایع باشند. لازمه اینکار عملکرد پیل در دمای 600 تا 700 درجه سانتیگراد است که در این دما، نمک‌های مذکور ذوب شده و بصورت مایع در می‌آیند. الکترولیت محل رسانایی، یونهای کربنات برای واکنشهای مربوط به الکترودهای کاتد و آند می‌باشد.	1- عملکرد نسبتاً مناسب پیل. 2- عدم نیاز به کاتالیزگرها.	دمای بالا محدودیت‌هایی را برای موادی که مناسب کار طولانی مدت هستند اعمال می‌کند (خطرات خوردگی و آب بندی).

<p style="text-align: center;">PAFC</p>	<p>پیل سوختی اسید فسفریک در حال حاضر بصورت تجاری درآمده و در مقیاس های 200 و 250 کیلوواتی قابل فروش است. الکترولیت این پیل محلول اسید فسفریک بوده و در دمای حدود 200 درجه سانتیگراد کار می کند.</p>	<p>1- پایداری شیمیایی الکتروشیمیایی و حرارتی الکترولیت پیل عالی است.</p> <p>2- اسید فسفریک در دمای بالای 15 درجه سانتیگراد دارای فراریت نسبتا پایینی است. در نتیجه تنها اسید معدنی است که برای استفاده در پیل های سوختی توسعه یافته است.</p> <p>3- ساخت پیل سوختی اسید فسفریک از سادگی نسبی خوبی برخوردار است.</p>	<p>ضرورت کاربرد فلزات گرانبه به عنوان الکتروکاتالیست برای افزایش کارایی پیل.</p>
<p style="text-align: center;">PEMFC</p>	<p>در این پیل غشای مبادله یونی به عنوان الکترولیت بکار می رود. از آنجاکه این پیل قادر نیست در دمای بالاتر از 120 درجه سانتیگراد کار کند، لذا این پیل برای کار با سوخت های دارای هیدروژن غنی که فاقد و یا دارای کمی منواکسید کربن است مناسب می باشد. منواکسید کربن اگر از حدی بیشتر باشد موجب کاهش و اکشن آند می شود و این کاهش با افزایش دمای پیل بیشتر می شود. در نتیجه پیل های با الکترولیت پلیمر جامد برای</p>	<p>1- جامد بودن الکترولیت، جابجایی، تلاطم یا تبخیر الکترولیت از سیستم را حذف میکند.</p> <p>2- تنها مایع موجود در پیل که آب است موجب کمینه کردن خوردگی می شود.</p>	<p>1- برای کار کردن، پیل بایستی هیدراته (شباع از آب) شود. لذا پیل باید در شرایطی کار کند که آب حاصل در واکنش سریعتر از تولید آن به سمت واکنش هوا جریان پیدا نکند. این کار عملکرد پیل را به دمای زیر 60 درجه سانتیگراد با فشار جو و دمای حدود 120 درجه سانتیگراد در فشار بیشتر محدود می کند.</p> <p>2- این پیل در دمای حدود صفر</p>

	کاربردهای فضایی و یا نظامی که با هیدروژن خالص کار می کند بسیار حائز اهمیت می باشد.		درجه سانتیگراد یخ می زند و پدیده خشکی در اثر یخ زدگی بوجود می آید.
SOFC	الکترولیت این پیل را اکسید فلزی غیر متخلخل تشکیل می دهد که رسانایی یونی بوسیله جابجایی یون های اکسیژن از طریق شبکه بلوری اکسید جامد عملی می گردد. زیر کونیای پایدار شده بوسیله اکسید فلزی مانند اکسید ایتیریم به عنوان الکترولیت بکار می رود. این پیل در دمای حدود 1000 درجه سانتیگراد کار می کند.	این پیل مزایایی نظیر پیل سوختی کربنات مذاب دارد یعنی: 1- عملکرد پیل با هیدروژن و سوخت های دارای منواکسید کربن خوب است. 2- نیازی به فلزات نجیب و گرانبها به عنوان الکتروکاتالیست ندارد. 3- دمای بالا، رسانای الکترونی و یونی پیل را افزایش می دهد.	دمای بالا در حدود 100 درجه سانتیگراد محدودیت هایی را روی طول عمر موادی که مناسب پیل هستند می گذارد

2-5-3- ذخیره کننده های انرژی

شامل باطری ها، خازن های مخصوص و چرخهای گردان¹ می باشند که زمانیکه تقاضای بار کم است شارژ شده و در صورت لزوم مورد استفاده قرار می گیرند. ابزارهای ذخیره کننده انرژی معمولاً با دیگر DGها ترکیب شده تا تقاضای پیک بار را تامین کنند [6]. باطری هایی که به این منظور مورد استفاده قرار می گیرند برخلاف باطری های اتوموبیل که اگر چندین بار تخلیه کامل شوند از بین می روند، می توانند بارها و بارها بدون هیچ گونه مشکلی شارژ یا دشارژ شوند. این باطری ها یک کنترلر شارژ جهت محافظت در برابر اضافه شارژ دارند

¹ -Flywheels

به طوریکه با شارژ کامل باطری عملیات شارژ قطع می‌شود. اندازه این باطری‌ها به بازه زمانی تخلیه باطری و میزان مصرف بستگی دارد.

2-5-4- منابع انرژی مبتنی بر انرژی‌های تجدید پذیر

انرژی سبز یک انرژی پاک جدید از منابع تجدیدپذیر شبیه خورشید، باد و یا آب می‌باشد. قیمت برق تولیدی از این روش فعلاً بیشتر از قیمت تمام شده بوسیله منابع سوختی می‌باشد. اما روند روبه رشدی دارد و با افزایش ساخت و تولید تکنولوژی آنها قیمت‌ها نیز در حال پیدایش سیر نزولی می‌باشند. برخی از منابع تجدیدپذیر در ادامه معرفی شده اند.

2-5-4-1- فوتولتائیک¹ (PV)

یک واحد PV شامل سلول‌های با روکش سیلیکون به شکل مربع یا دایره می‌باشد. ترکیب سلولها یک ماژول و ترکیب ماژولها درکنار هم یک آرایه را تشکیل می‌دهد. سلولهای خورشیدی انرژی خورشید را که شامل فوتون‌ها می‌باشد جذب کرده، فوتون‌ها سلولها را وادار به جاری شدن الکترون و برقرار شدن یک جریان DC می‌کنند. بسته به سایز سلول، هرسلول تقریباً 2 تا 4 آمپر جریانی 0/5 ولت برق تولید می‌کند. معمولاً یک آرایه که از سلول‌های سری تشکیل شده است 12 ولت برق برای شارژ باطری‌ها تولید می‌کند.

2-5-4-1-1- کاربردها و مزایای PV

- کاربرد در سفینه های فضایی جهت تامین توان الکتریکی مورد نیاز تجهیزات.
- نداشتن قطعات متحرک و بی صدا بودن آنها.
- کاربرد در مناطق دورافتاده از شبکه.

¹ -Photovoltaic(PV)

- عمر مفید طولانی، تعمیر و نگهداری کم (شستشو و تعویض باطری‌ها) و عدم وجود آلاینده‌ها.
- استفاده از PV در سیستم‌های هیبرید جهت تولید هیدروژن برای FCها. زیرا مخزن نگهداری H₂ نیاز به حفاظت بالایی دارد، بنابراین در ساعاتی که نیاز به روشنایی نیست، از PV برای تولید برق مورد نیاز جهت الکترولیز آب و تولید هیدروژن استفاده می‌شود و FC هیدروژن مورد نیاز خود را بدست می‌آورد.
- کمک به کاهش پیک بار (همانند سایر DGها). به عنوان مثال سلول‌های خورشیدی در تابستان می‌توانند برای تولید برق دستگاه‌های تهویه و کولرها به کار گرفته شوند که تاثیر زیادی در سایش پیک بار دارد.

2-1-4-5-2- محدودیت‌های سلول‌های خورشیدی

سلول‌های خورشیدی از ماژول‌های سری شده برای تولید توان الکتریکی تشکیل شده‌اند که محدودیت‌هایی

در این زمینه به شرح زیر موجود می‌باشد [1].

- هزینه راه اندازی بالا.
- توان خروجی و بازده کم.
- عدم هماهنگی بین تولید و نیاز بار (زمانیکه آفتاب و نور هست تولید انرژی داریم و در سایر مواقع تولید نداریم).
- هزینه نصب مزرعه خورشیدی مسئله مهمی بوده و باید در جایی نصب شود که علاوه بر وجود شرایط مناسب جوی و جغرافیایی از لحاظ هزینه زمین نیز با محدودیت روبرو نباشیم.

2-4-5-2- توربین های بادی¹ (WT)

استفاده از انرژی باد موضوع جدیدی نمی باشد و دهها سال است که از آن استفاده می شود. یک توربین بادی شامل یک روتور با پره های توربین، ژنراتور، درایو با ایزرکوپلینگ، شفت و کله توربین² که داخل آن گیربکس و درایو ژنراتور قرار دارد می باشد. توربین های بادی مدرن می توانند الکتریسیته پاک را به صورت فردی یا مزرعه های بادی تولید کنند، پره های توربین های بادی معمولاً دارای دو یا سه تیغه می باشند که هرکدام 10 تا 30 متر ارتفاع دارند. انرژی باد پس از برخورد با پره ها موجب چرخش آنها شده و پره ها هر چیزی که به شفت وصل باشد را می چرخانند و شفت، روتور ژنراتور را چرخانده و در نتیجه برق تولید می شود. شکل 2-4 قسمت های مختلف یک توربین بادی را نشان می دهد.

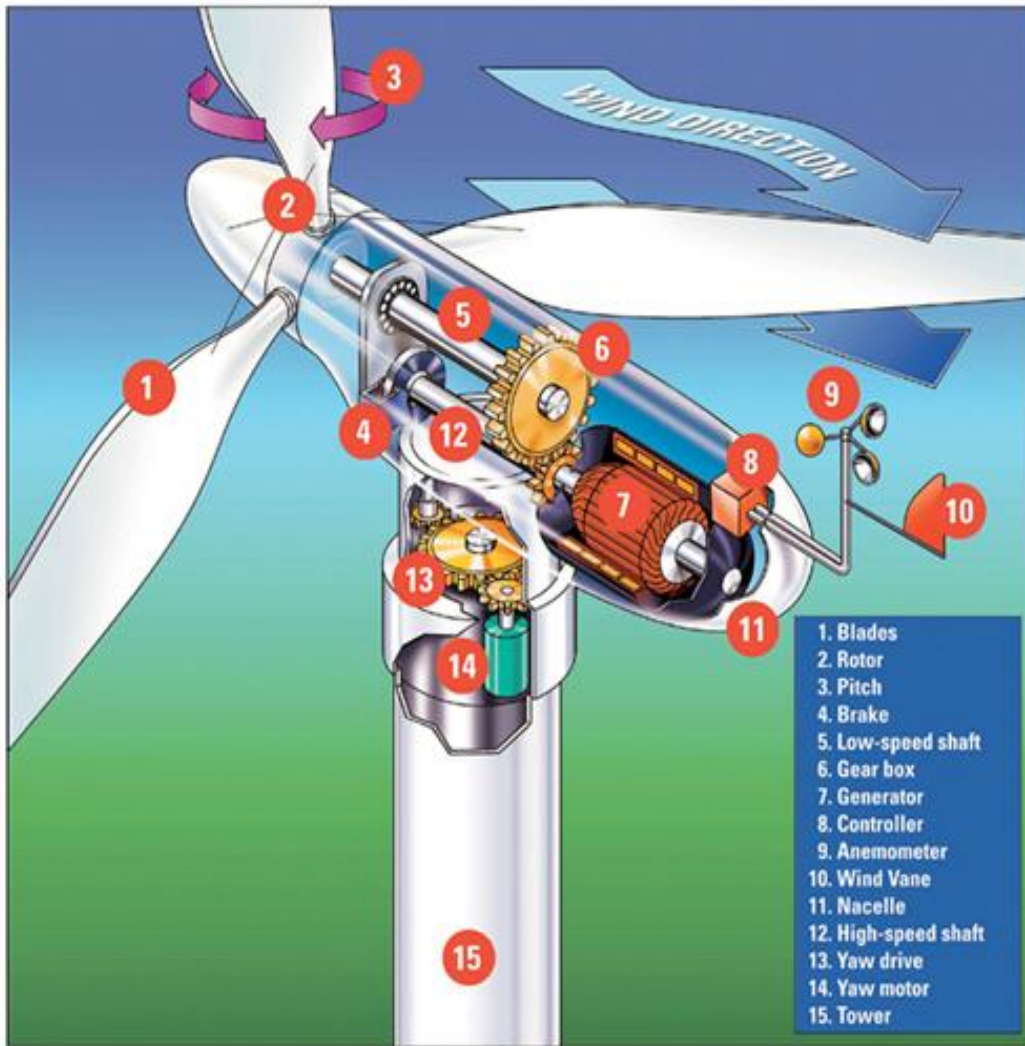
2-4-5-2-1- مزایا و معایب توربین های بادی

استفاده از توربین های بادی مانند دیگر DG های مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر شامل مزایای زیر می باشد

- تولید انرژی پاک و عدم تولید و انتشار گازهای آلاینده محیط زیست.
- در دسترس بودن و فناپذیری انرژی محرک اولیه (برخلاف سوخت، بادهرگز تمام نمی شود).
- در مقایسه با مولدهای سنتی مبتنی بر سوخت، قیمت حامل های انرژی مدام در حال افزایش می باشد اما انرژی باد در مقایسه با سوخت هزینه ای ندارد.
- همانند مزرعه های خورشیدی، شاید تنها عیب یا به عبارتی محدودیت استفاده از توربین های بادی محدودیت جغرافیایی و هزینه زمین احداث نیروگاه بادی می باشد.

¹ - Wind Turbines (WT)

² -Nacelle



شکل 2-4 قسمتهای مختلف یک توربین بادی [11]

2-6- کاربردهای مختلف DG در سیستم قدرت

معمولاً DGها براساس انواع مختلف تکنولوژی و کاربردهایشان طبقه بندی می شوند. اما اصولاً DGها جهت تامین بخش و یا تمام توان حقیقی مشترکین و یا به عنوان منبع اضطراری مورد استفاده قرار می گیرد [۲۰۱]. در هر صورت مناسب است که آنها را از دیدگاه الکتریکی طبقه بندی کنیم تا تاثیر آنها بر روی سیستم الکتریکی مطالعه شود. طبقه بندی های متفاوت DGها از تمایز قائل شدن بین انواع DGها بر مبنای کاربردهای الکتریکی،

مدت زمان تامین انرژی، انواع توان تولید شده و تجدید پذیر و ناپذیر بودن منابع بدست آمده است. که در بخش‌های گذشته به طور مفصل مورد بحث قرار گرفته‌اند اما در ادامه به بررسی کاربردهای مختلف DG از دیدگاه الکتریکی می‌پردازیم. برخی از کاربردها و مزایای تولید پراکنده به شرح زیر می‌باشد [37].

2-6-1- پشتیبانی از ظرفیت آماده به کار¹(اضطراری) شبکه

DG می‌تواند به عنوان ظرفیت اضطراری استفاده شود، تا هنگام بروز قطعی‌های شبکه، بارهای حساس نظیر مراکز صنعتی مهم و بیمارستانها و... را تامین کند که علاوه بر این خاصیت مهم کمک بزرگی به افزایش قابلیت اطمینان شبکه و بارهای محلی نیز می‌شود.

2-6-2- کاربرد مستقل از شبکه²

معمولا نواحی جدا شده از شبکه (جزیره‌ها) و یا نواحی که به دلیل موانع جغرافیایی، اتصال به شبکه برای آنها غیرممکن و یا گران تمام می‌شود، به جای اتصال به شبکه از DG به عنوان تامین کننده توان استفاده می‌کنند.

2-6-3- کاربرد پیک سایبی³

اغلب تولید برق در ساعات پیک مصرف توسط DGها در کشورهایی که از سیاست چند نرخ در شبکه برق خود بهره‌مند هستند، برای مصرف‌کنندگان مقرون به صرفه است. که این مسئله باعث کاهش بار شبکه در ساعات اوج مصرف می‌شود که علاوه بر صاحبان DGها برای مصرف‌کنندگان شبکه که از تولید پراکنده

¹-Standby

²-Stand alone

³-Peak shaving

استفاده نمی‌کنند نیز مفید می‌باشد. یک DG پیک‌سایبی به این مفهوم است که از یک واحد DG در زمان پیک بار استفاده شود و این روش یک روش اقتصادی مفید جهت اصلاح پیک بار می‌باشد [37].

2-6-4- کاربرد پشتیبانی ولتاژ شبکه

ولتاژ و توان راکتیو یک شبکه قدرت بایستی در یک محدوده مجاز حفظ و کنترل شوند. به این منظور ژنراتورها و نیز بارها در محدوده‌های توصیه شده ضریب توان کار می‌کنند تا از افت ولتاژ در مواقع پیک بار و افزایش ولتاژ در هنگام کاهش مصرف جلوگیری شود. این سرویس در صورتی که تجهیزات لازم برای کنترل و تنظیم واحدهای تولید پراکنده نصب گردد، به شبکه قابل ارائه می‌باشد. استفاده از منابع تولید پراکنده در پست-های توزیع باعث کاهش بارهای مصرفی از دید شرکت تولید کننده برق می‌گردد که این امر به صورت غیرمستقیم منجر به کاهش افت ولتاژ در خطوط انتقال می‌شود. این مزیت به خصوص در مواقع پیک بار شبکه که بروز افت ولتاژ شدید می‌تواند 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 خازن‌های نصب شده در سیستم توزیع انجام شود.

2-6-5- کاربردهای کنترل از راه دور، روشنایی و کشاورزی

همانطور که گفته شده DG می‌تواند به صورت مستقل از شبکه به تولید برق مورد نیاز برخی نواحی همچون مناطق روستایی و بارهای کشاورزی بپردازد. در این نواحی می‌توان از واحدهای تولید پراکنده، برای مصارفی همچون روشنایی، گرمایش، سرمایش، راه‌اندازی پمپ‌های آبرسانی، مخابرات و پروسه‌های صنعتی کوچک استفاده نمود. همچنین برخی از این واحدها برای تغذیه بارهای حساس، جهت تنظیم ولتاژ و نیز پشتیبانی هنگام اتصال به شبکه استفاده می‌شود.

2-6-6- کاهش تلفات

استفاده از منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع باعث کاهش 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، باعث کاهش تلفات در شبکه خواهد شد. این تاثیر به خصوص در مواقع پیک بار مشهود تر خواهد بود.

2-6-7- تولید همزمان برق و حرارت

با استفاده از پدیده تولید همزمان برق و حرارت و یا سرما در میکروتوربین‌ها، می‌توان حرارت خروجی آنها را مورد استفاده قرار داده و با بکارگیری دوباره انرژی حرارتی در سیستم‌های تولید پراکنده، راندمان کل سیستم را تا 70% بالا برد [38].

افزایش قابل توجه راندمان در کشورهایی که انرژی (برق و سوخت) دارای قیمت واقعی می‌باشد بسیار قابل توجه است و انگیزه‌ای بسیار قوی برای استقرار واحدهای DG در محل مصرف می‌باشد. اضافه کردن مبدل حرارتی به واحد مولد برق، قیمت مجموعه را بالا می‌برد اما در عوض همراه با هر کیلووات انرژی الکتریکی تولیدی حدود 2 کیلووات انرژی حرارتی برای مصارف گرمایش و سرمایش برداشت می‌شود و این خود هزینه سرمایه گذاری و نیز هزینه سوخت و نگهداری واحدهای سنتی تاسیسات حرارتی و تهویه مطبوع را کاهش می‌دهد. ضمناً همراه با گازهای خروجی از میکروتوربین‌ها مقداری گرما و گاز CO₂ نیز به محیط اطراف منتشر می‌شود که می‌توان CO₂ موجود را به طور مستقیم وارد گلخانه‌ها کرده و از گازهای تولیدی توسط این مولدها نیز استفاده بهینه کرد.

2-6-8- کمک به راه اندازی شبکه در شرایط پس از خاموشی¹

از آنجا که ظرفیت DGها کم می‌باشد، باعث می‌شوند که راه‌اندازی شبکه بعد از خاموشی سراسری راحت‌تر باشد و کمک بزرگی در این زمینه هستند. از طرفی DGها بخشی از توان اصلی شبکه را جهت بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات و بهبود کیفیت توان تامین می‌کنند که باعث می‌شود به عنوان بار پایه به کار گرفته شوند.

خلاصه ای از مقایسه مهمترین کاربردهای انواع DGها در جدول 2-5 آورده شده است.

جدول 2-5 کاربردهای انواع مختلف DG [19]

نوع DG	کاربردها
میکرو توربین ها	پیک سایه - تولید همزمان برق و حرارت
پیل های سوختی	تولید همزمان برق و حرارت
فوتو ولتائیک	در ترکیب با باتری ها در کاربردهای مستقل از شبکه به ویژه در مناطق روستایی
توربین بادی	در مناطق باد خیز جهت و کاربردهای کشاورزی و کنترل از راه دور
موتورهای دیزلی	جهت کاربرد در پیک سایه و عملکرد به عنوان پشتیبان در سیستم های قدرت

2-7- مدت زمان استفاده از DGها و نوع توان تولیدی آنها

مدت زمان تامین توان بوسیله DGها به طور محسوسی بر اساس سایز DG و نوع کاربری آنها تغییر می‌کند. سیکل‌های کاری که مدت زمان استمرار تولید توان و نوع آن را مشخص می‌کند، در جدول 2-6 آورده شده است.

¹ - Black start

جدول 2-6 مقایسه انواع DG از نظر مدت استمرار و نوع توان تولیدی [2]

مدت زمان استفاده از DG	نوع DG	نوع توان تولیدی
مدت زمان طولانی	توربین های گازی و پیل های سوختی	توان اکتیو و راکتیو
مدت زمان متغییر	سیستم های انرژی نو شامل فوتوولتاییک و توربین های بادی	بسته به شرایط اکتیو و راکتیو. فوتو ولتاییک عموماً اکتیو تولید کرده و برای تولید توان راکتیو نیاز به مولدهای الکترونیکی دارد
مدت زمان کوتاه	باطری ها و پسل های سوختی	تامین توان اکتیو و راکتیو به صورت پیوسته

جریان الکتریکی خروجی DG می تواند هم مستقیم و هم متناوب باشد. FC و PV و باطری ها جریان مستقیم تولید می کنند که برای بارهای DC مناسب می باشند. اما در هر صورت می توان برای مصارف جریان متناوب و اتصال به شبکه، این جریان را به کمک مولدهای الکترونیک قدرت مناسب به جریان متناوب تبدیل کرد. برخی دیگر از انواع DG ها شبیه MT و WT جریان متناوب تولید می کنند که برای برخی کاربردها، بوسیله ابزارهای مدرن الکترونیک قدرت کنترل شده و ولتاژ تنظیم شده ای ایجاد می کنند.

2-8- فواید استفاده از منابع تولید پراکنده

پیاده سازی DG ها در سیستم های توزیع مزایای بسیاری دارد که برخی از این مزایا به شرح زیر می باشند:

2-8-1- فواید استفاده از منابع تولید پراکنده از دیدگاه اقتصادی

- DGها با نصب در محل‌های مناسب می‌توانند توان مورد نیاز محلی را تامین کنند که این امر موجب کاهش یا اجتناب از ایجاد خطوط جدید توزیع و انتقال می‌شود. همچنین باعث تقویت سیستم‌های قدرت موجود و کاهش ظرفیت شبکه‌های انتقال و توزیع در مرحله طراحی می‌شوند [3،12،18].
- DGها می‌توانند باعث کاهش قیمت عمده فروشی برق شوند. در واقع با تامین بخشی از توان مورد نیاز شبکه، منجر به کاهش تقاضای بار از دید تولید کننده می‌شوند و باعث ایجاد سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر می‌شوند [15].
- DGهای تولید همزمان برق و حرارت بسیار اقتصادی بوده [14] و می‌توانند حرارت گسترده خود را برای گرمادهی یا خنک‌سازی در مناطقی که تولید متمرکز اقتصادی نیست به کارگیرند [13].
- DGها باعث افزایش طول عمر تجهیزات، ترانسفورماتورها و نیز ذخیره سوخت می‌شوند.
- با توجه به گوناگونی منابع انرژی مورد استفاده در تولید پراکنده، محدودیت‌های انتخاب نوع انرژی و نیاز به سوخت‌های فسیلی کمتر می‌شود [16].

2-8-2- فواید استفاده از منابع تولید پراکنده از دیدگاه نصب، راه اندازی، نگهداری

و تاثیرات متقابل

- DGها به راحتی می‌توانند در هر جایی نصب شوند (به جز مزارع خورشیدی و بادی) که این امر مزایای بسیاری دارد [2]. همچنین تاثیرات مثبتی بر روی پروفیل ولتاژ سیستم توزیع [3،17،18] و مسائل کیفیت توان دارند [3،12]. که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ضمن اینکه در مقایسه با نیروگاه‌ها و مراکز تولید متمرکز در مدت کوتاهی نصب و راه‌اندازی می‌شوند، می‌توانند به صورت مجزا کار کرده و در صورت بروز خطا در هر کدام، تاثیری در عملکرد دیگری نداشته باشند.
- با افزودن یا کاستن واحدهای دیگر می‌توان ظرفیت بهره‌برداری از آنها را به راحتی تغییر داد.
- نصب DGها موجب کاهش زمان‌بندی برنامه‌ها و طرح‌های گسترش و ساخت و ساز مراکز تولید، انتقال و توزیع می‌شود بنابراین می‌توان زمان مورد نظر را جهت برنامه‌ریزی در زمینه رشد بار و نوسانات انرژی صرف نمود [16].
- هزینه و زمان تعمیر و نگهداری واحدهای تولید پراکنده در مقایسه با واحدهای متمرکز بسیار ناچیز می‌باشد.
- DGها می‌توانند تلفات شبکه توزیع را کاهش دهند [3, 15, 17, 18]. با تامین بار قسمت توزیع بوسیله DG، شبکه انتقال از تامین آن مقدار بار که در شبکه توزیع بوسیله DG تامین شده است، معاف می‌گردد و بدین ترتیب قسمتی از تلفات در بخش انتقال نیز کاسته شده و پروفیل ولتاژ بهبود می‌یابد [15].
- DGها در "پیک سایی" و برنامه‌های مدیریت بار می‌توانند کمک کنند [13].
- DGها می‌توانند با کمک تولید در نقاط متعدد به جای تولید در یک نقطه متمرکز با تولید بالا، به افزایش قابلیت اطمینان سیستم کمک کنند. از طرفی می‌توانند در کنار بارهای حساس، درسایت به صورت آماده به کار قرار گرفته و در زمان قطعی وارد مدار شوند تا قابلیت اطمینان محلی را بالا ببرند [15].
- DGها پایداری سیستم را بهبود بخشیده و باعث ایجاد ظرفیت چرخان می‌شوند [12].

- ظرفیت DGها از محدوده میکرو تا بزرگ تغییر می‌کند بنابراین جهت نصب آنها بر روی شبکه توزیع متوسط یا کم ولتاژ انعطاف‌پذیری مناسبی در انتخاب اندازه و محل مناسب وجود دارد [16]. که باعث آزادسازی ظرفیت شبکه توزیع و سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر می‌شود.
- در رابطه با مسایل زیست محیطی DGهای مبتنی بر انرژی‌های نو، باعث کاهش و یا رفع آلاینده‌های زیست محیطی می‌شوند [12].

2-9- محدودیت‌های اجرایی DG

جهت مطالعه تاثیر پیاده سازی DG در شبکه توزیع ناگذیریم که محدودیت‌های اجرایی DG را که در عمل وجود دارد مورد بحث قرار دهیم. در این بخش به بررسی مدل حالت ماندگار DG می‌پردازیم به طوری که تاثیر پیاده سازی DG را به عنوان یک منبع ثابت توان اکتیو در نظر می‌گیریم. عملکرد حالت ماندگار، معمولاً در حالت کارکرد نرمال و یا در صورت اتصال DG به شبکه با وجود یک اغتشاش کوچک در سیستم و یا تولید توان با یک فرکانس ثابت در نظر گرفته می‌شود.

محدودیت‌های عملیاتی DG براساس نوع آنها متفاوت می‌باشد که به شرح زیر می‌باشند [12]:

2-9-1- محدودیت‌های توربین‌های گازی و موتورهای احتراقی

مهمترین محدودیت در مورد این نوع DGها، توان تولید شده خروجی است. توان خروجی DG (P_g) دارای محدودیت ماکسیمم و می‌نیمم مقدار می‌باشد. توان خروجی مینیمم و ماکسیمم تولید شده DGها در مورد تولید همزمان برای برخی کاربردها نظیر اهداف حرارتی مورد نیاز است.

$$P_{gmax} \leq P_g \leq P_{gmin} \quad (1-2)$$

2-9-2- محدودیت های DG های مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر

این دسته از DGها که شامل توربین های بادی و مزارع خورشیدی می باشند، مهمترین مشکلی که دارند این است که در شرایط اضطراری قابلیت مدیریت کردن را ندارند به دلیل اینکه خروجی شدیداً تحت تاثیر شرایط جوی نظیر سرعت باد و میزان تابش نور می باشند. در برخی از این دسته DGها، توان خروجی تولید شده با فرکانس سیستم (f) و ولتاژ باسی که به آن متصل است در ارتباط است.

$$P_g = f(f, V_g) \quad (2-2)$$

- همانطور که قبلاً اشاره شده بود، از دیگر محدودیت های این دسته از DGها شرایط جغرافیایی و بحث قیمت زمین مورد نیاز جهت احداث واحد تولیدی می باشد.
- از دیگر معضلات DGها که جنبه عمومی داشته و مختص DGهای مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر نمی باشد، برهم خوردن تنظیمات حفاظتی و پیچیدگی نحوه اتصال DG به شبکه می باشد.

2-10- اهمیت جایی و تعیین سائز مناسب منابع تولیدات پراکنده

همانطور که قبلاً بیان شد، استفاده از تولیدات پراکنده در سیستم توزیع مزایای بسیاری دارد که مهمترین آن نزدیکی به مصرف کننده و در نتیجه کاهش و یا حذف هزینه های مربوط به انتقال و توزیع می باشد. اما عدم توجه به تعیین اندازه و مکان نصب مناسب واحد تولید پراکنده موجب بروز مشکلات بسیاری از جمله افزایش تلفات، اختلال در سیستم های حفاظتی و مشکلات کیفیت توان مثل ایجاد هارمونیک، تخریب وضعیت ولتاژ، فلیکر و تضعیف قابلیت اطمینان می شود. [20,36].

بنابراین توجه به چالش‌های احتمالی ذکر شده، اهمیت جایابی و تعیین سائز مناسب منابع تولید پراکنده را آشکار می‌کند چرا که در صورت عدم توجه به این نکته، نصب تولیدات پراکنده نه تنها مفید واقع نخواهد شد، بلکه موجب بروز مشکلات فراوان نیز می‌شود.

در بین مقالات علمی مربوط به تولید پراکنده مقالات زیادی دیده می‌شود که به بحث جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده پرداخته‌اند. به همین دلیل و نیز نزدیکی موضوع فوق با محتوی این پژوهش در این قسمت به طور نسبتاً مفصلی به این بحث و موضوعات جانبی آن پرداخته خواهد شد.

در مقالات مختلف از روشها و الگوریتم‌های مختلفی به منظور جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده استفاده شده است [20-38]. در مسئله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده پارامترهای گوناگونی در نظر گرفته می‌شوند که برآورده شدن هر یک از پارامترهای فوق توسط الگوریتم‌های متنوعی صورت گرفته است. برخی از این پارامترها به شرح زیر می‌باشند.

2-10-1- استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ

در این روش با استفاده از الگوریتم‌هایی نظیر ژنتیک [21-24] و اجتماع ذرات¹ [26,25] و کلونی مورچگان² [20,36] به یافتن مکان و اندازه بهینه منبع تولید پراکنده در سیستم توزیع جهت کاهش تلفات سیستم و بهبود پروفیل ولتاژ پرداخته می‌شود. در اینگونه مسائل تابع هدف می‌تواند تلفات اکتیو و یا راکتیو یا کل تلفات سیستم باشد که باید مینیمم شود.

¹ - Particle swarm(PSO)

² - ant colony(AC)

2-10-2- استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی جهت بهبود قابلیت اطمینان

در این روش با استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی مختلف، به دنبال یافتن یک سایز و مکان بهینه جهت رسیدن به حداکثر میزان بهبود قابلیت اطمینان سیستم می‌باشیم. به عبارتی تابع هدف در این مورد می‌تواند ماکسیمم یا مینیمم شدن یکی از شاخص‌های قابلیت اطمینان باشد [۳۹].

2-10-3- استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی جهت بهبود کیفیت توان

در بسیاری از موارد نیاز است که پارامترهای مربوط به کیفیت توان شبکه را کنترل کرد و بهبود بخشید در این روش می‌توان میزان یکی از پارامترهای کیفیت توان، مثلاً میزان THD را به عنوان تابع هدف در نظر گرفت که با یافتن اندازه و مکان مناسب منبع تولید پراکنده قرار است کاهش یابد [28، 40].

2-10-4- استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی جهت کاهش هزینه‌ها

دسته دیگری از مقالات و تحقیقات با استفاده از روش‌های بهینه سازی مختلف، به جستجوی مکان و اندازه مناسبی از منابع تولید پراکنده جهت مینیمم کردن هزینه‌های نصب و سایر هزینه‌ها پرداخته‌اند [27]. در میان مطالب فوق، مسئله کاهش تلفات بیشتر به چشم می‌خورد و حجم بیشتری از مطالب را به خود اختصاص داده است. ما نیز در اینجا اشاره‌ای به مقدمات روش‌های بهینه‌سازی مختلف، جهت یافتن مکان و اندازه مناسب منابع تولید پراکنده جهت کاهش تلفات می‌پردازیم. قبل از تشریح این مطلب ابتدا به شرح برخی مفاهیم در مورد مسئله بهینه سازی می‌پردازیم.

2-11- مدلسازی منابع تولید پراکنده

به طور کلی منابع تولید پراکنده‌ای که به شبکه‌های توزیع متصل می‌شوند، به دلیل کوچک بودن ظرفیت تولیدی، نمی‌توان آنها را مانند نیروگاه‌های متمرکز که شین متصل شده به آنها را همواره PV در نظر می‌گرفتیم

در نظرگرفت و در بیشتر مطالعات با توجه به میزان توان راکتیو تولیدی آنها به دو صورت مدل PV و PQ مدلسازی می‌کنیم [۲۸].

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

در نظر گرفتن هر یک از مدل‌های یاد شده بستگی به این دارد که منابع تولید پراکنده به چه منظوری در شبکه توزیع به کار گرفته شده باشد. باید توجه داشت که مدل PV 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 می‌گردد. لازم به ذکر است که به دلیل کوچک بودن ظرفیت تولیدی منابع تولید پراکنده و نیز هزینه صرف شده برای تولید انرژی در این منابع، قسمت اعظم تولید توان در این مولدها به تولید توان اکتیو برای تامین توان مفید مصرف کننده‌ها اختصاص داده می‌شود به این معنی که حداقل توان راکتیو ممکن را به شبکه تزریق می‌کنند تا استفاده از این منابع از لحاظ اقتصادی 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 با مدل PQ در نظر گرفته می‌شوند.

2-12- بررسی وضعیت تلفات در شبکه‌های توزیع با حضور DG

کاهش تلفات توان توسط منابع تولید پراکنده (DG) در حال تبدیل شدن به یک رویکرد مهم در سطح جهان می‌باشد [29]. از آنجا که لحاظ کردن DG در سیستم‌های توزیع باعث تغییر شارش توان می‌شود، واضح

است که تلفات سیستم دچار تغییر خواهد شد [۳۰،۲۹]. روش‌های مختلفی جهت کاهش تلفات در سیستم توزیع به کار برده می‌شود، از جمله تجدید ساختار فیدر، خازن‌گذاری در شبکه، DG گذاری در شبکه، گروه‌بندی هادی‌ها یا تغییر در هادی‌های خط و آرایش آنها، استفاده از رگولاتورهای ولتاژ و تپ چنجرها و...

در بیشتر موارد فوق به جز استفاده از DG با عناصر پسیو در تماس می‌باشیم. واحدهای DG و بانکهای خازنی هر دو تلفات را کاهش داده و پروفیل ولتاژ را بهبود می‌بخشند اما با کمک DG ها میزان کاهش تلفات تقریباً دو برابر میزان کاهش تلفات در خازن‌ها می‌باشد [29].

با بررسی مقالات و تحقیقات انجام گرفته در زمینه کاهش تلفات سیستم به کمک انتخاب و جایگذاری DG مناسب در شبکه توزیع می‌توان دریافت که مقالات به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند.

- استفاده از DG جهت کاهش تلفات اکتیو [31,21].

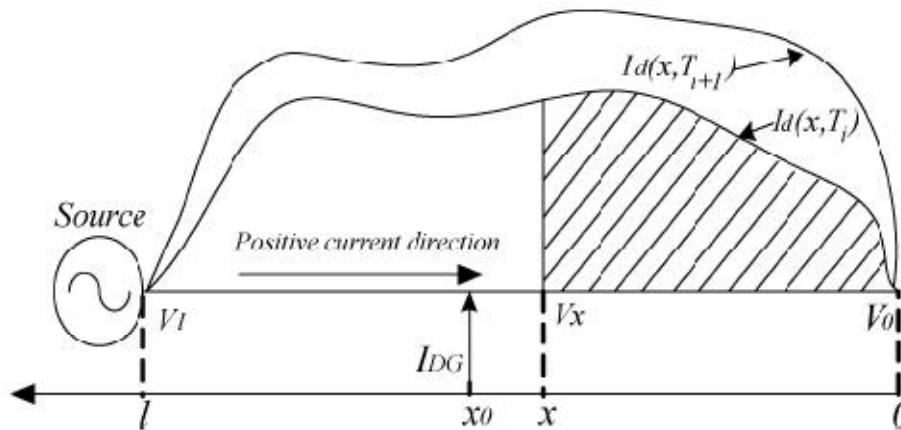
- استفاده از DG جهت کاهش تلفات راکتیو [32,40].

البته برخی محققان به بررسی همزمان هر دو جنبه نیز پرداخته اند [33].

در این بخش با روش تحلیلی اشاره‌ای به تاثیر واحدهای تولید پراکنده بر مسئله کاهش خواهد شد. مکان‌یابی بهینه بر روی یک فیدر شعاعی در توزیع‌های گوناگون بار می‌تواند این قضیه را به روشنی مشخص کند.

در این بخش با فرض گسسته بودن مقدار بار در بازه‌های زمانی مختلف، فرمول بندی مسئله کاهش تلفات مورد بررسی قرار می‌گیرد [۳۴].

به عنوان مثال توزیع بار در طول فیدر در بازه‌های زمانی T_i و T_{i+1} در شکل 2-5 نمایش داده شده است.



شکل 2-5 یک فیدر شعاعی با بارهای توزیع شده در طول خط [34]

ابتدا یک فیدر شعاعی بدون DG در نظر گرفته می‌شود. در بازه زمانی T_i بارها با چگالی جریان $I_d(x, T_i)$ نشان داده شده در شکل 2-6 در طول فیدر توزیع شده است.

بنابراین جریان فیدر در نقطه x برابر است با:

$$I(x, T_i) = \int_0^x I_d(x, T_i) dx \quad (3-2)$$

از آنجا که امپدانس طول واحد خط $Z=R+jX$ (Ω/Km) می‌باشد، بنابراین دیفرانسیل تلفات خط به شکل رابطه (4-2) در می‌آید.

$$d(x, T_i) = \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 \cdot R dx \quad (4-2)$$

تلفات کل در طول فیدر، در مدت زمان T_i برابر با رابطه (5-2) می‌باشد

$$P_{loss}(T_i) = \int_0^l dP(x, T_i) = \int_0^l \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 \cdot R dx \quad (5-2)$$

حال فرض می‌شود که یک DG در نقطه x شکل 2-6 نصب شود، در این حالت جریان فیدر به صورت رابطه (6-2) در می‌آید.

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^x I_d(x, T_i) dx \quad 0 \leq x \leq x_0 \\ \int_0^x I_d(x, T_i) dx - I_{DG}(T) \quad x_0 \leq x \leq l \end{array} \right\} \quad (6-2)$$

با توجه به رابطه های (5-2) و (6-2) می توان نتیجه گرفت که تلفات در طول خط با حضور DG به فرم رابطه (۷-۲) در می آید.

$$P_{loss}(x_0, T_i) = \int_0^{x_0} \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx \right)^2 \cdot R dx + \int_{x_0}^l \left(\int_0^x I_d(x, T_i) dx - I_{DG}(T_i) \right)^2 \cdot R dx \quad (۷-۲)$$

از طرفی تلفات متوسط در یک بازه زمانی (به عنوان مثال T) از رابطه (۸-۲) بدست می آید:

$$\bar{P}_{loss}(x_0) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{N_i} P_{loss}(x_0, T_i) T_i \quad (۸-۲)$$

جهت یافتن مکان بهینه نصب DG باید معادله زیر حل شود:

$$\frac{d\bar{P}_{loss}(x_0)}{dx_0} = 0 \quad (9-2)$$

از حل معادله بالا بر حسب x_0 مکان نصب واحد DG جهت بهینه شدن تلفات بدست می آید، اما هیچ تضمینی بر اینکه ولتاژ تمام نقاط فیدر در گستره مناسب قرار بگیرند وجود ندارد. بنابراین اگر ولتاژ در گستره مناسب $(1 \pm 0.5) pu$ قرار نگیرد، یا باید DG در نزدیکترین مکان به x_0 قرار گیرد تا در حد امکان ولتاژ در گستره مناسب قرار گرفته و تلفات نیز به حد قابل قبولی کاهش یابد و یا ظرفیت DG افزایش یابد.

روش تحلیلی رسیدن به مکان نصب واحد تولید پراکنده در یک فیدر شعاعی به شرح زیر می باشد:

- 1- بدست آوردن بار توزیع شده $I_d(x, T_i)$ در طول فیدر.
- 2- بدست آوردن جریان خروجی منبع تولید پراکنده $I_{DG}(T_i)$.
- 3- محاسبه تلفات متوسط با استفاده از رابطه (8-2).
- 4- یافتن x_0 از معادله (9-2).

- 5- چک کردن مناسب بودن گستره ولتاژ.
- 6- اگر ولتاژ تمام باس‌ها در گستره قابل قبول بودند، در آن صورت x_0 بدست آمده از رابطه (۲-۹) مکان بهینه نصب واحد DG می باشد.
- 7- اگر ولتاژ باس‌ها در گستره مناسب نبود، مکان DG را حول x_0 تغییر داده تا ولتاژ به حد مطلوب برسد.
- 8- اگر با تغییر مکان نصب DG شرط ولتاژ باس‌ها برآورده نشد، ظرفیت DG را افزایش داده و مراحل 2 تا 8 تکرار شود.

گاهی اوقات بیش از یک DG مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت فیدر را به چند قسمت تقسیم کرده و مراحل 1 تا 8 برای هر قسمت به طور مجزا اجرا خواهد شد.

2-12-1- کاهش تلفات در حضور توزیع‌های مختلف بار

نتایج پیاده سازی روش تحلیلی فوق برای سه نوع بار مختلف یکنواخت¹، توزیع شده متمرکز² و توزیع افزایشی³ در جدول 7-2 نمایش داده شده است.

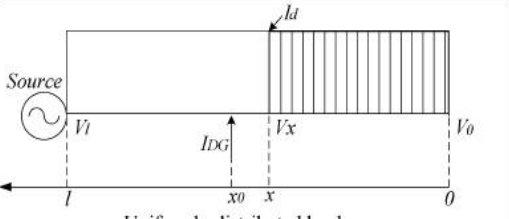
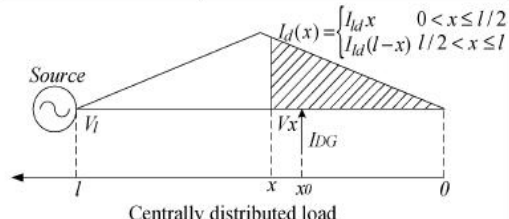
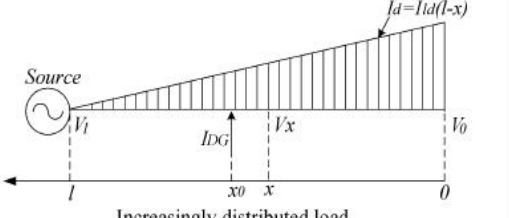
در این جدول 7-2 فرض شده که در هر یک از موارد معرفی شده، DG به تامین بارهای فیدر پرداخته و شبکه توزیع تنها تلفات توان را برآورده می‌کند. همچنین لازم به یاد آوری است که قانون سرانگشتی $\frac{2}{3}$ که در خازن‌گذاری شبکه‌های توزیع به کار می‌رود، تنها در بارهای یکنواخت جواب تقریباً دقیق بدست می‌آورد [۳۴].

¹ - Uniformly Distributed

² - Centrally Distributed

³ - Increasing Distributed

جدول 7-2 مکان بهینه نصب DG با هدف کاهش تلفات در سه نوع بار مختلف [34]

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%	$\frac{l}{2}$
 <p>Centrally distributed load</p> $I_d(x) = \begin{cases} I_d x & 0 < x \leq l/2 \\ I_d(l-x) & l/2 < x \leq l \end{cases}$	$\frac{23}{960} I_d^2 R l$	$\frac{1}{320} I_d R l^5$	87%	$\frac{l}{2}$
 <p>Increasingly distributed load</p>	$0.1333 I_d^2 R l^5$	$0.01555 I_d R l^5$	88%	$(1 - \sqrt{2}/2)l$

13-2 جمع بندی

در این فصل انواع تکنولوژی‌های تولید پراکنده، تعاریف و مزایا و معضلات اجرایی بررسی شد. برخی از دسته بندی‌های DGها جهت تاکید و روشن شدن مطلب معرفی و نیز فواید اقتصادی و عملیاتی DG معرفی گردید تا اهمیت حضور DG در سیستم‌های توزیع به خوبی مشخص شود. همچنین با استفاده از روش تحلیلی، تاثیر تولید پراکنده بر کاهش تلفات شبکه های توزیع مورد بررسی قرار گرفت.

در فصل بعدی به معرفی یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه سازی که همراستا با این پژوهش می‌باشد پرداخته خواهد شد.

مراجع:

- [1] J.L. Del Monaco, "The role of distributed generation in the critical electric power infrastructure", Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting IEEE, vol. 1, pp.144-145, August. 2002.
- [2] A. Thomas, A. Göran, S. Lennart, "Distributed generation: a definition, Electric Power Syst". Electric Power Systems Research, Volume 57, Issue 3, pp.195-204, April. 2001.
- [3] P.P. Barker, R.W. De Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems In Radial distribution systems", Proceedings of the Power Engineering Society Summer Meeting IEEE, vol. 3, pp.1645-1656, August. 2002.
- [4] S. Gilbert, "The nations largest fuel cell project, a 1MW fuel cell power plant deployed as a distributed generation resource", Proceedings of the Rural Electric Power Conference, pp. A4/1-A4/8, August. 2002.
- [5] M. Suter, "Active filter for a microturbine", Proceedings of the Telecommunications Energy Conference, pp. 162-165, August. 2002.
- [6] B. Lasseter, Microgrids "distributed power generation", Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting IEEE, vol.1, pp. 146-149, August. 2002.
- [7] William, E. Liss, "Natural gas power systems for the distributed generation market", Proceedings of the Power-Gen International'99 Conference, New Orleans, LA, 1999.
- [8] M.W. Ellis, M.R. Von Spakovsky, D.J. Nelson, "Fuel cell systems: efficient, flexible energy conversion for the 21st century", Proceedings of the IEEE, vol. 89, issue 12, pp. 1808-1818, December. 2001.
- [9] M. Farooque, H.C. Maru, "Fuel cells—the clean and efficient power generators", Proceedings of the IEEE, vol. 89, issue 12, pp. 1819-1829, August. 2001.
- [10] Wm.L. Hughes, "Comments on the hydrogen fuel cell as a competitive energy source", Proceedings of the Power Engineering Society Summer Meeting IEEE, vol. 1, pp.726-730, August. 2002
- [11] S. Rahman, "Fuel gm as a distributed generation technology", Proceedings of the Power Engineering Society Summer Meeting IEEE, vol. 1, pp. 551-552, 2001.

- [12] D. Xu, A.A. Girgis, "Optimal load shedding strategy in power systems with distributed generation", Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting IEEE, vol. 2, pp. 788–793, August. 2002.
- [13] F.L. Alvarado, "Locational aspects of distributed generation", Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting IEEE, vol. 1, p. 140, August. 2002.
- [14] M. Ilic, "The information technology (IT) role in future energy generation", Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting IEEE, vol. 1, pp. 196–198. August. 2002.
- [15] L. Coles, R.W. Beck, "Distributed generation can provide an appropriate customer price response to help fix wholesale price volatility", Proceedings of the Power Engineering Society Winter Meeting IEEE, vol. 1, pp. 141–143, August. 2002.
- [16] A. Silvestri, A. Berizzi, S. Buonanno, "Distributed generation planning using genetic algorithms", Proceedings of the Electric Power Engineering International Conference PowerTech, Budapest, p. 257, Sep. 1999.
- [17] N. Hadjsaid, J.-F. Canard, F. Dumas, "Dispersed generation impact on distribution networks", IEEE Computer Applications in Power, vol. 12, issue 2, Apr. 1999
- [18] W. El-Khattam, M.M.A. Salama, "Impact of distributed generation on voltage profile in deregulated distribution system", Electric Power Systems Research, Impact of Distributed Generation, vol. 78, Issue 9, pp 1537-1545, September. 2008.
- [19] W. El-Khattam, M.M.A. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits". Electric Power Systems Research, vol. 71, issue 2, pp 119–128, October. 2004.
- [20] Farnaz Sheidaei, Majid Shadkam, Mahdi Zarei. "Optimal distributed generation allocation In Distribution systems employing Ant Colony to Reduce losses", CCEC, 2007, IEEE, Canada, may. 2007.
- [21] Raj Kumar Singh and S. K. Goswami, "A genetic algorithm based approach for optimal allocation of distributed generation in power systems for voltage sensitive loads", Journal of Engineering and Applied Sciences ©2006-2009 Asian Research Publishing Network (ARPN), Vol. 4, Issue 2, April. 2009.
- [22] T.N. Shukla, S.P. Singh and K.B. Naik, "Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses", Fifteenth National Power Systems Conference (NPSC), IIT Bombay, pp 113-118, December. 2008.

- [23] M. Sedighzadeh, and A. Rezazadeh, " Using genetic algorithm for distributed generation allocation to reduce losses and improve voltage profile", World Academy of Science, Engineering and Technology ,vol.35, pp251-256, October. 2008.
- [24] Deependra Singh, Devender Singh, and K. S. Verma, " GA based optimal sizing & placement of distributed generation for loss minimization", World Academy of Science, Engineering and Technology ,vol.26, pp101-107, December. 2007.
- [25] P. Ajay-D-Vimal Raj, S. Senthilkumar, J. Raja, S. Ravichandran and T. G. Palanivelu, " Optimization of Distributed Generation Capacity for Line Loss Reduction and Voltage Profile Improvement Using PSO", Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi Malaysia Vol. 10, Issue 2, pp 41-48, Octobr.2008.
- [26] Wichit Krueasuk, Weerakorn Ongsakul, " Optimal placement of distributed generation using particle swarm optimization", CCECE, 2008, Control, Automation and Systems, 2008. ICCAS 2008. International Conference, pp 1663-1668, December. 2008.
- [27] Amin Hajizadeh, Ehsan Hajizadeh, " PSO-Based planning of distribution systems with distributed generations", Proceedings of word academy of science, engineering and technology vol. 35, pp 599-604, November. 2008.
- [28] Y.Alinejad Beromi, M.Sedighzadeh, "A particle swarm optimization for Sizing and Placement of distributed generation network to improve voltage profile and increase THD and losses".IEEE Engineering conference ,pp.1-5, Italy, 2008.
- [29] An D.T. Le, M.A. Kashem, M. Negnevitsky, G. Ledwich, " Minimising power losses in distribution systems with distributed resources", Electrical and Electronic Systems Engineering Queensland University of Technology Brisbane, Australia. June .2006.
- [30] Adel Mellit, " Artificial intelligence based-modeling for sizing of a Stand-Alone Photovoltaic Power System: Proposition for a New Model using Neuro-Fuzzy System (ANFIS)", 3rd International IEEE Conference Intelligent Systems, PP606-611, September. 2006.
- [31] Francisco Jurado, Antonio Cano , " Optimal placement of biomass fuelled gas turbines for reduced losses", Energy Conversion and Management, vol.47, Issues 15-16 ,pp2673–2681,September. 2006.

- [32] B.mozafari , T.amraee , A.M.ranjbar, M.mirjafari,"Particle swarm optimization method for optimal reactive power procurement considering voltage stability", scientica Iranica ,Vol.14 Issue 6 ,pp 534-545, December. 2007.
- [33] Wichit Krueasuk, Weerakorn Ongsakul," Optimal placement of distributed generation using particle swarm optimization", CCECE,2008, Control, Automation and Systems, 2008. ICCAS 2008. International Conference,pp 1663-1668, December. 2008.
- [34] Caisheng Wang, Student Member, IEEE, and M. Hashem Nehrir, Senior Member, IEEE," Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems ", IEEE transactions on power systems, Vol.19, Issue 4, PP 2068-2076, Nov. 2004 .
- [35] Reddy,G.Sridhar Singh, R. K, "Distributed Generation based Dynamic Voltage Restorer", IEEE Confrance on Information and Comunication Technology, pp 262-266, Dec. 2007.

[36] مجید شادکام، مجید گندمکار، "جایابی بهینه تولید پراکنده در شبکه های توزیع جهت کاهش تلفات با استفاده از الگوریتم مورچگان" شانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران ، دانشگاه تربیت مدرس، اردیبهشت 1387.

[37] ثنا صادقی، پرهام جلیلی، حامد ده یادگاری، حسین هوشمندی صفا، "یک روش تحلیلی جهت ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های توزیع شامل DG "بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق، PSC 2009 ، آبان 1388.

[38] علی معینی، محمد کمیجانی، مهدی بانزاد، محسن اولادی، "بهینه سازی استفاده از سیستم های تولید همزمان برای کاهش تلفات و تامین انرژی گرمایش مشترکین در شبکه های توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک". بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق، PSC 2009 ، آبان 1388.

[39] رامین صمدی ، حسین شایقی، حیدرعلی شایانفر، "جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه های توزیع" یازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق، دانشگاه زنجان، شهریور 1387 .

[40] محمد تقی عرب یارمحمدی ، محبوبه صادقیان لمراسکی، "جایابی منابع تولید پراکنده و یافتن ظرفیت بهینه آنها به منظور بهبود کیفیت توان با استفاده از الگوریتم RCGA₂-PSO". شانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، اردیبهشت 1387.

فصل سوم

الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات (PSO)

3-1- مقدمه

در مقالات علمی مربوط به تولید پراکنده مقالات زیادی دیده می‌شود که به بحث جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده پرداخته‌اند. در این مقالات مختلف از روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی به منظور جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده استفاده شده است [1-16]. در مسئله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده پارامترهای گوناگونی در نظر گرفته می‌شوند که برآورده شدن هر یک از پارامترهای فوق توسط الگوریتم‌های متنوعی صورت گرفته است. برخی از این پارامترها عبارتند از کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، حداقل سازی هزینه های بهره برداری، بهبود قابلیت اطمینان، بهبود کیفیت توان، حداقل سازی آرایش کلیدها و... به این منظور از الگوریتم‌های بهینه سازی مختلفی جهت امر بهینه سازی استفاده شده است.

در این فصل ضمن معرفی مختصر انواع روشهای بهینه سازی، به تشریح الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات¹ و مفاهیم مربوط به آن خواهیم پرداخت.

3-2- انواع روشهای جستجو

روش های بهینه سازی به دو دسته اصلی اکتشافی² و قطعی³ تقسیم می شوند.

روشهای اکتشافی به الگوریتم‌هایی گفته می‌شود که از میان تمام راه‌حل‌های موجود، به دنبال یک راه حل ممکن می‌گردد که هیچ تضمینی برای بهینه‌گی کامل، روش موجود نیست. در واقع روش اکتشافی معمولاً بهترین راه حل‌ها را که تا حدی بهینه و سریع می‌باشند را پیشنهاد می‌کند. در هر صورت روشهای اکتشافی جهت حل طیف وسیعی از مسایل عددی پیشنهاد شده است.

¹ - Particle Swarm Optimization (PSO)

² - Heuristic

³ - Deterministic

هدف از الگوریتم‌های بهینه‌سازی اکتشافی این است که از میان راه‌حل‌های ممکن¹ با یافتن ترکیبی مناسب از پارامترهای ورودی، تابع هدف² را مینیمم یا ماکسیمم کند.

روش‌های قطعی³ به روشهایی گفته می‌شود که برعکس روشهای تکاملی و وابسته به جمعیت، بیشتر بر روی مفاهیم ریاضی تاکید دارند. از آنجا که در این پژوهش تاکید بر روی بررسی روشهای بهینه‌سازی هوشمند می‌باشد، از ذکر جزئیات این روش چشم‌پوشی کرده و تنها به ذکر نام "برنامه ریزی خطی"⁴ به عنوان یکی از روشهای بهینه‌سازی قطعی اکتفا می‌کنیم.

3-3- انواع روش‌های بهینه‌سازی اکتشافی

برخی از روشهای بهینه‌سازی اکتشافی به شرح زیر می‌باشند

- جستجوی ممنوع⁵
- شبیه‌سازی گداختگی فلزات⁶
- بهینه‌سازی کلونی مورچگان⁷
- الگوریتم ژنتیک⁸
- اجتماع ذرات⁹

که از میان روشهای بالا الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچگان و اجتماع ذرات را به دلیل الهام‌گیری از طبیعت روشهای تکاملی و یا مبتنی بر جمعیت نیز می‌نامند.

¹ - Search Space

² - Objective Function

³ - Deterministic

⁴ - Linear Programming (LP)

⁵ - Tabu Search (TS)

⁶ - Simulated Annealing (SA)

⁷ - Ant Colony Optimization (ACO)

⁸ - Genetic Algorithm (GA)

⁹ - Particle Swarm Optimization (PSO)

3-4- الگوریتم اجتماع ذرات

طبق گفته Wilson که یکی از زیست شناسان اجتماعی می باشد، اعضای یک جامعه برای جستجوی طعمه هایی که به صورت تصادفی در فضای مورد جستجو پخش شده است از کشفیات و تجربیات قبلی بقیه اعضا استفاده می کنند. بدین ترتیب این موجودات از رقابتی که بین اعضا برای دست یافتن به غذا وجود دارد و یک عیب محسوب می شود اجتناب می کنند. این اشتراک اجتماعی اطلاعات بین اعضای یک جامعه یک سری مزیت های تکاملی در پی دارد و این فرضیه پایه و اساس توسعه PSO محسوب می شود. در PSO، هر عضو جامعه موقعیت خود را با توجه به تجربیات شخصی و تجربیات کل جامعه تغییر می دهد.

الگوریتم اجتماع ذرات بر مبنای رفتار اجتماعی پرندگان بنا شده است. این روش در سال 1995 میلادی توسط Eberhart و Kennedy ارائه شد که در واقع تلفیقی از حیات مصنوعی و محاسبات تکاملی می باشد [17,18,19].

الگوریتم PSO خیلی ساده و از نظر سرعت و حافظه خیلی کم هزینه می باشد و کاربرد عمده آن در تعیین وزن های شبکه عصبی و سیستم های کنترلی و هر جایی که بتوان الگوریتم ژنتیک را به کار برد، می باشد.

3-4-1- درک شهودی الگوریتم اجتماع ذرات

برای درک بهتر نحوه عملکرد الگوریتم PSO که رفتار اجتماعی پرندگان را شبیه سازی می کند می توان سناریوی زیر را در نظر گرفت.

یک دسته از پرندگان به طور تصادفی در یک محیط به دنبال غذا می گردند. هیچ کدام از پرندگان اطلاعی در مورد محل غذا ندارند ولی در هر مرحله می دانند که چقدر از محل غذا فاصله دارند. حال این سؤال مطرح است که بهترین استراتژی برای پیدا کردن غذا چیست؟ به نظر می رسد که دنبال کردن نزدیک ترین پرنده به غذا راه

حل مناسبی است. الگوریتم PSO این سناریو را یاد می‌گیرد و از آن برای حل مسائل بهینه سازی استفاده می‌کند.

3-4-2- فرمول سازی مسئله و تابع هدف

از آنجا که در هر مسئله بهینه سازی باید یک تابع هدف مشخص شود، در این جا هم با توجه به نوع کمیتی که قرار است بهینه شود و روابط ریاضی مربوط به آن کمیت به یک تابع ریاضی که آن را تابع هدف می‌نامیم دست پیدا می‌کنیم. آنچه که در تعیین تابع هدف مهم هست آن است که تابع در نظر گرفته شده تا حد ممکن ساده و در عین حال جامع باشد.

برای یک مسئله بهینه سازی خاص به عنوان مثال "کاهش تلفات یا کاهش انرژی تلف شده" می‌توان توابع مختلفی را به عنوان تابع هدف معرفی کرد و نیز تابع مذکور را با قیود مختلفی محدود کرد. این که چه نوع تابعی از نظر طراح مسئله پیشنهاد شود، تا حد زیادی امری سلیقه‌ای به شمار می‌رود با تاکید بر این نکته که تابع معرفی شده جامع باشد. پس به طور کلی تابع هدف تابعی ریاضی به فرم کلی رابطه (3-1) می‌باشد.

$$\text{Minimize } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \min C_T \quad (1-3)$$

or

$$\text{Maximize } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max C_T$$

که :

CT : تابع هزینه یا تابع هدف بهینه شده می باشد.

3-4-3- اطلاعات ورودی

اطلاعات ورودی در واقع دانسته‌های ما در مورد مسئله بهینه سازی است. باز هم به طور خاص اگر هدف از بهینه‌سازی، کاهش تلفات سیستم باشد، اطلاعات ورودی که می‌توان داشت شامل اطلاعات کلی سیستم (مشخصات فیدرها)، در برخی موارد مکان‌های کاندید قرار گرفتن DG و احیانا قیود مسئله می‌باشد که در بخش‌های بعدی معرفی خواهند شد.

3-4-4- قیود مسئله

در نظر گرفتن قیودی برای رابطه (1-3) الزامی می‌باشد چرا که شرایط فیزیکی این موضوع را تحمیل می‌کند. در صورت رعایت نکردن قیود، حتی در صورت بهینه شدن تابع هدف، ممکن است جوابهای بدست آمده از نظر فنی از اعتبار کافی برخوردار نباشند. باز هم اگر به طور خاص، هدف از نصب DG کاهش تلفات باشد از سری قیودی که می‌توان برای مسئله در نظر گرفت، محدوده مجاز اندازه DG یا رابطه (2-3) و نیز محدوده مجاز ولتاژ شین‌ها یا رابطه (3-3) می‌باشد که حتما باید به این نکته دقت کرد. در برخی مقالات دیده شده که بین برخی از قیود می‌توان هماهنگی ایجاد کرد مثلا درصدی از دقت را به رعایت محدوده ولتاژ و درصدی را به رعایت محدوده ظرفیت DG اختصاص داد [19,8].

$$P_{imin} \leq P_{DGi} \leq P_{imax} \quad (2-3)$$

$$Q_{imin} \leq Q_{DGi} \leq Q_{imax}$$

$$V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax} \quad (3-3)$$

3-4-5- فضای جستجو

در حل یک مسئله بهینه سازی، هدف پیدا کردن بهترین جواب از میان جواب‌های مختلف است. فضای همه حالت‌های ممکن در حل یک مسئله را فضای جستجو می‌نامند. هر جواب می‌تواند با یک مقدار عددی که بیانگر میزان مناسب بودن آن است نشان داده شود¹. جستجو برای جواب به معنی جستجو برای پیدا کردن اکسترمم در فضای جستجو می‌باشد.

3-4-6- روش کار PSO

در این الگوریتم، هر جواب به عنوان یک پرنده در فضای جستجو در نظر گرفته می‌شود که آن را ذره² می‌نامند. هر یک از این افراد یک تابع برازش دارند که می‌خواهند آن را بهینه کنند و مقدار آن با توجه به فاصله شخص تا هدف محاسبه می‌شود. همین طور هر یک جهتی دارند که در راستای آن حرکت می‌کنند. در ابتدا، PSO توسط یک گروه از افراد که به طور تصادفی تولید شده‌اند مقداردهی می‌شود و جستجو برای پیدا کردن جواب بهینه آغاز می‌گردد. در ساختار کلی جستجو هر فرد از فردی تبعیت می‌کند که بهینه‌ترین تابع برازش را دارد، ضمن اینکه تجربه خودش را نیز فراموش نمی‌کند و از حالتی که خودش در آن بهترین تابع برازش را داشته نیز پیروی می‌کند. بنابراین در هر تکرار الگوریتم، هر فرد موقعیت بعدی خود در فضای جستجو را با توجه به دو مقدار تغییر می‌دهد، یکی بهترین موقعیتی است که خود آن فرد تا کنون داشته است (pbest) و دیگری بهترین موقعیتی که تا کنون توسط کل افراد جمعیت به وجود آمده است و در واقع بهترین pbest در کل جمعیت می‌باشد (gbest). از نظر مفهومی، pbest برای هر فرد در واقع حافظه اتوبیولوژیکی آن فرد محسوب می‌شود و تغییر موقعیت افراد بر اساس pbest در واقع پاسخ به احساس غربتی است که افراد هنگام دوری از محلی که در آن بیشتر راضی هستند، دارند. gbest همان دانش عمومی جمعیت است و وقتی که افراد موقعیت

¹ - Fitness

² - Particle

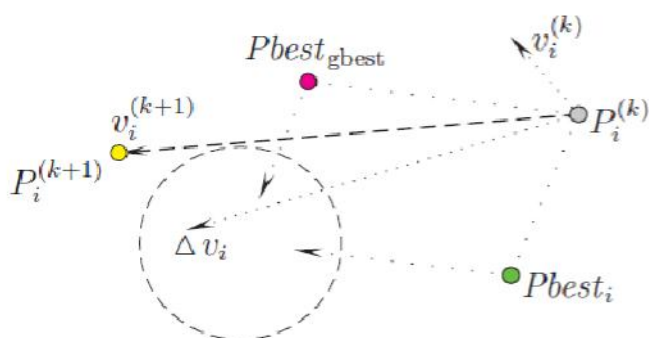
خود را بر اساس gbest تغییر می دهند در واقع تلاش می کنند که سطح دانش خود را به سطح دانش جمعیت برسانند. البته در نوع دیگر این الگوریتم هر فرد به جای تبعیت از بهترین فرد کل جمعیت از بهترین فرد بخش محدودی از جمعیت که در اطراف خودش قرار دارند پیروی می کند. به این مقدار lbest می گویند و در بخش های بعد در مورد آن توضیح بیشتری داده می شود.

با توجه به مقادیر pbest و gbest، هر فرد از روابط (4-3) و (5-3) برای تعیین موقعیت بعدی خود استفاده می کند.

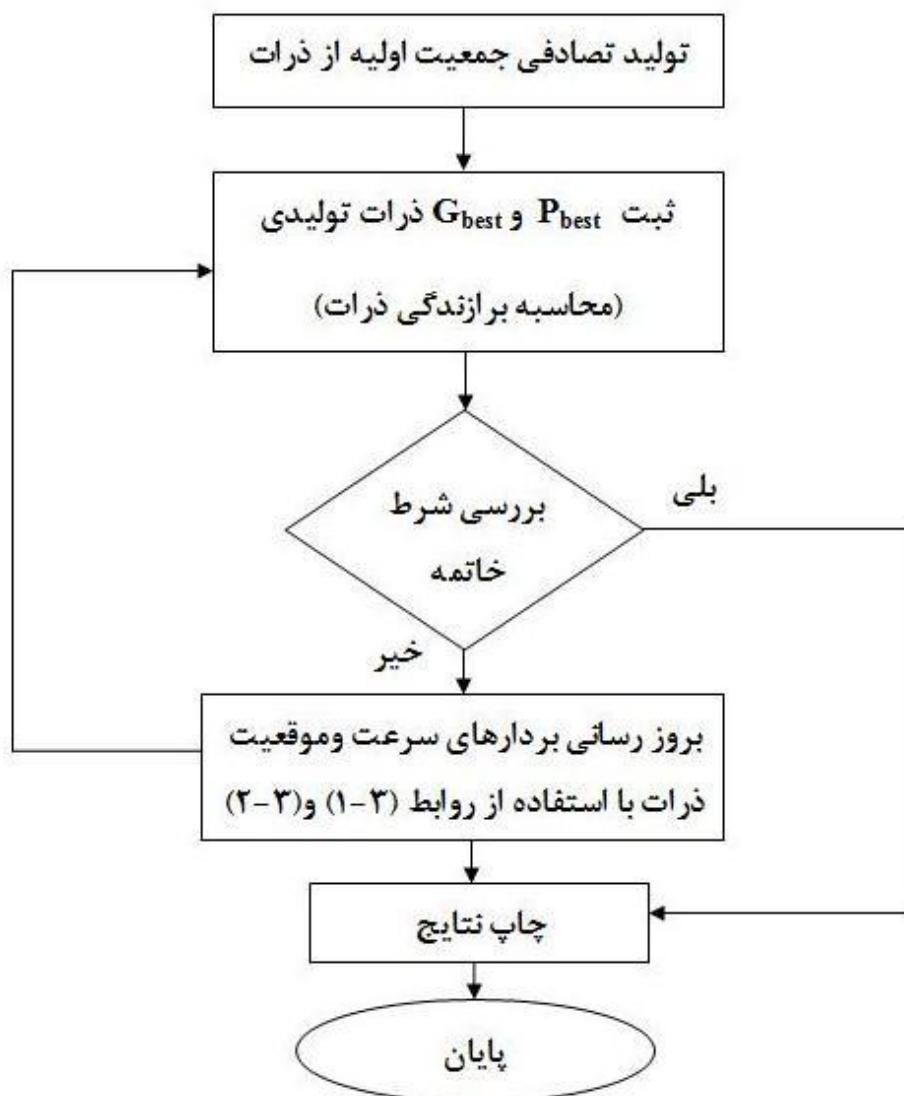
$$v_{t+1} = w_t \cdot v_t + c_1 \cdot \text{rand}()(\text{pbest} - \text{present}_t) + c_2 \cdot \text{rand}()(\text{gbest} - \text{present}_t) \quad (4-3)$$

$$\text{present}_{t+1} = \text{present}_t + v_{t+1} \quad (5-3)$$

در روابط بالا c_1 و c_2 پارامترهای یادگیری هستند که معمولاً مساوی با 2 انتخاب می شوند. $\text{rand}()$ تابعی برای تولید اعداد تصادفی در محدوده [0,1] است. present_t موقعیت فعلی و v_t سرعت حرکت افراد می باشد. w_t یک پارامتر کنترلی است که تأثیر سرعت فعلی (v_t) را بر سرعت بعدی کنترل می کند و یک حالت تعادل بین توانایی الگوریتم در جستجو به صورت محلی و جستجو به صورت سراسری ایجاد می نماید و در نتیجه به طور میانگین در زمان کمتری به جواب می رسیم. منطقی به نظر می رسد که w_t به صورت تدریجی کاهش یابد تا در ابتدا جستجو به صورت سراسری صورت بگیرد و به تدریج به سمت جستجوی محلی پیش برویم. بردار به روز رسانی به صورت شکل 3-1 می باشد. همچنین روند اجرای الگوریتم PSO در شکل 3-2 نمایش داده شده است.



شکل 1-3 بردار بروز رسانی ذره $P_i^{(k)}$ با سرعت $V_i^{(k)}$



شکل 2-3 فلوچارت الگوریتم PSO

3-4-7- شرط توقف

معیار توقف در الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات معلق یا رسیدن به تعداد ماکسیمم تکرار است یا ارضا شدن شرط خطای مینیمم. که معمولاً ملاک توقف، رسیدن به تعداد ماکسیمم تکرار است و با تعیین تعداد مناسبی از ذرات و تکرار الگوریتم، پیش از رسیدن به ماکسیمم تعداد تکرار تعیین شده الگوریتم همگرا خواهد شد.

3-4-8- مقداردهی پارامترهای الگوریتم

تعداد افراد جمعیت معمولاً در محدوده 20 تا 40 انتخاب می شود. برای بیشتر مسائل 10 فرد هم برای گرفتن یک جواب خوب کافی است ولی برای بعضی مسائل پیچیده یا خاص می توان از 100 تا 200 فرد هم استفاده کرد. بردار موقعیت هر فرد (present) و بالطبع بردارهای pbest، gbest و v_t می توانند به صورت چند مؤلفه ای باشند که تعداد مؤلفه های آنها توسط مسأله ای که باید بهینه شود، مشخص می گردد. هر مؤلفه بردار موقعیت هر فرد باید در محدوده فضای جستجو باشد به این صورت که:

$$present_{min} \leq present_{t+1} \leq present_{max} \quad (6-3)$$

با کمک رابطه (7-3) نیز می توان پارامتر w را در هر مرحله مقداردهی کرد.

$$\omega = \omega_{max} - \frac{[(\omega_{max} - \omega_{min}) * iter]}{\max iter} \quad (7-3)$$

پارامترهای c_1 و c_2 نیز می توانند مقادیر مختلفی بگیرند که این مقادیر در جهت دهی الگوریتم بسیار موثر است.

تاثیر آنها را می توان به صورت زیر خلاصه کرد

- Full Model $(c_1, c_2 > 0)$
- Cognition Only $(c_1 > 0 \text{ and } c_2 = 0)$
- Social Only $(c_1 = 0 \text{ and } c_2 > 0)$

- Selfless ($c_1 = 0$ and $c_2 > 0$, and $g \neq i$)

3-4-9- شبه کد الگوریتم PSO

در ادامه شبه کد الگوریتم PSO به شرح زیر معرفی می‌گردد [17].

For each particle

 Initialize particle

End

Do

 For each particle

 Calculate fitness value

 If the fitness value is better than the best fitness value (pbest) in history

 set current value as the new pbest

 End

 Choose the particle with the best fitness value of all the particles as the gbest

For each particle

 Calculate particle velocity according equation (1)

 Update particle position according equation (2)

End

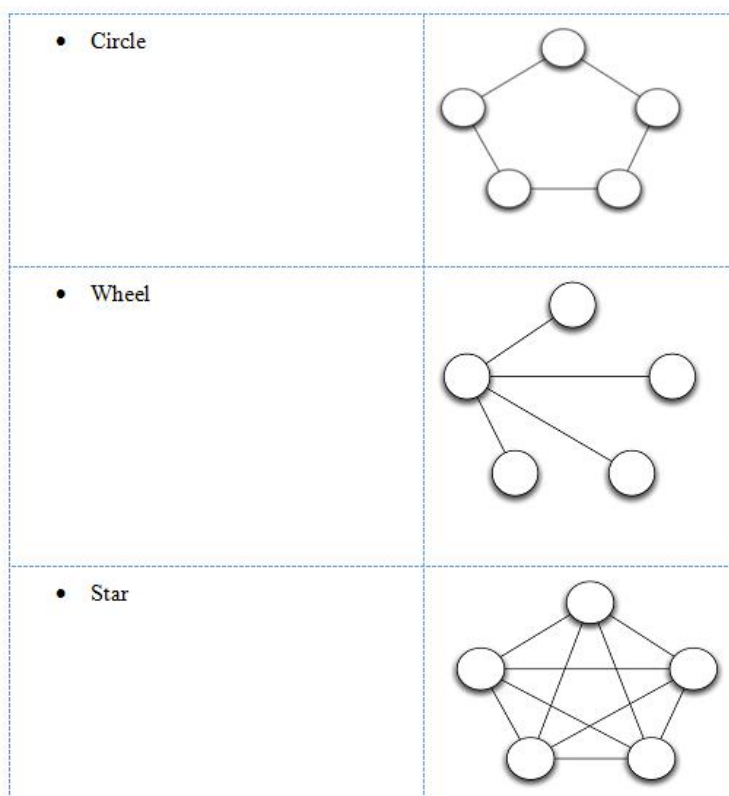
While maximum iterations or minimum error criteria is not attained

که معادلات (1) و (2) در شبه کد بالا همان روابط (3-4) و (3-5) می‌باشند.

3-4-10- همسایگی‌های تعریف شده

بر اساس این که هر فرد، فرد بهینه جمعیت را در یک شعاع همسایگی و یا در کل جمعیت جستجو کند، الگوریتم PSO به ترتیب دارای دو نسخهٔ محلی (Local) و سراسری (Global) خواهد بود. نسخهٔ سراسری، که gbest را برای هر فرد در کل جمعیت در نظر می‌گیرد، سریعتر است ولی احتمال گیر افتادن در مینیمم محلی برای بعضی از مسائل وجود دارد. نسخه محلی، که در آن از Ibest استفاده می‌شود، برای هر فرد یک شعاع همسایگی تعریف می‌شود و کمی کندتر می‌باشد ولی در عوض به آسانی در دام مینیمم محلی نمی‌افتد. بنابراین خوب است که در ابتدای جستجو از نسخه سراسری بهره ببریم تا سریعتر به جواب برسیم و آنگاه از نسخه محلی برای پالایش جواب استفاده کنیم.

اگر بخواهیم از نسخه محلی استفاده کنیم می‌توانیم از سه نوع توپولوژی مختلف برای تعیین همسایگی افراد استفاده کنیم. این توپولوژی‌ها شامل موارد شکل (11) می‌شود که با ارائه یک تصویر از آن‌ها می‌توان به ساختارشان پی برد.



شکل 3-3 انواع توپولوژی‌های همسایگی محلی

3-4-11- مزایا و معایب استفاده از الگوریتم PSO

در این بخش به معرفی مزایا و معایب الگوریتم اجتماع ذرات پرداخته خواهد شد.

3-4-11-1- مزایا

- پیاده‌سازی این الگوریتم بسیار ساده می‌باشد و همچنین برای کار با این الگوریتم پارامترهای بسیار کمی را می‌بایست تنظیم کرد.
- این روش، بر خلاف بسیاری از روشهای بهینه سازی سنتی، نیازی به مشتق گیری ندارد.
- دارای انعطاف پذیری برای تلفیق با سایر روشهای بهینه سازی می‌باشد.
- دارای حساسیت کمتری نسبت به ماهیت تابع هدف می‌باشد.

- بر خلاف بسیاری دیگر از روشهای محاسباتی تکاملی، به تنظیم پارامترهای کمتری نیاز دارد.
- دارای قابلیت فرار از مینیمم محلی است.
- برای شروع فرآیند تکرار، نیازی به یک جواب اولیه خوب و مناسب ندارد
- کارایی این الگوریتم به جمعیت وابسته نیست و با جمعیت‌های کم نیز جواب بهینه را می‌توان به دست آورد به صورتی که جواب‌های بدست آمده از یک الگوریتم PSO با سائز جمعیت کم با جواب‌های یک الگوریتم ژنتیک با سائز جمعیت بزرگ قابل قیاس است و در مسائل بسیار مشکل مهندسی نیز جواب‌های بسیار خوبی ایجاد می‌کند.
- یکی از نکات قوت این الگوریتم استفاده همزمان از جستجوی محلی و کلی می‌باشد. در این الگوریتم با استفاده از فاکتور اینرسی w بین جستجوی محلی و جستجوی کلی تعادل ایجاد می‌شود و هر دو جستجو در این الگوریتم لحاظ شده است.

3-4-11-2- معایب

- در کنار نقاط قوت، نقاط ضعفی نیز در این الگوریتم دیده می‌شود، برای نمونه:
- بعد از مدت زمان کوتاهی جمعیت به یک نقطه همگرا می‌شود که ممکن است نقطه بهینه نباشد زیرا افراد به سمت نقطه‌ای ما بین بهینه کلی و بهینه شخصی همگرا می‌شوند که ممکن است حتی یک نقطه بهینه محلی نیز نباشد. دلیل دیگر به وجود آمدن این مشکل جریان سریع انتشار اطلاعات در گروه می‌باشد که منجر به بوجود آمدن particle های مشابه می‌شود که امکان افتادن در یک بهینه محلی را افزایش می‌دهند و با افزایش تعداد دفعات تکرار الگوریتم هیچ بهبودی در نتیجه بدست آمده داده نمی‌شود. برای حل این مشکل می‌توان از مدل‌های IBest و یا مدل‌های ترکیبی استفاده نمود.

3-4-12- مقایسه الگوریتم PSO با الگوریتم ژنتیک

از آنجا که بسیاری از کاربردهای الگوریتم ژنتیک و PSO به یکدیگر شبیه می‌باشند، بد نیست مقایسه‌ای اجمالی بین این دو الگوریتم داشته باشیم.

3-4-12-1- شباهت‌ها

هر دو روش از برخی جهات با یکدیگر مشابهت دارند

- در هر دوی این الگوریتم‌ها جمعیت اولیه‌ای که مورد استفاده قرار می‌گیرد به صورت تصادفی ایجاد می‌شود و با استفاده از تکنیک‌های تصادفی جمعیت به روز می‌شود و برای ارزیابی جمعیت ایجاد شده از یک تابع Fitness استفاده می‌شود.
- در هر دوی این روش‌ها فضای جستجو برای یافتن جواب بهینه مورد بررسی قرار می‌گیرد ولی تضمینی برای یافتن جواب بهینه وجود ندارد.
- هر دو از تکنیک به اشتراک‌گذاری اطلاعات استفاده می‌کنند در الگوریتم ژنتیک اطلاعات به وسیله‌ی کروموزوم‌ها از یک نسل به نسل بعد منتقل می‌شود و در الگوریتم PSO با استفاده از gBest (و یا در حالت محلی با استفاده از lBest) اطلاعات در کل جمعیت به اشتراک گذاشته می‌شود.

3-4-12-2- تفاوت‌ها

هر دو روش از بعضی جهات با یکدیگر تفاوت دارند که برخی از این موارد به شرح زیر می‌باشد:

- در الگوریتم PSO برخلاف الگوریتم ژنتیک هیچ اپراتور تکاملی (نه تابع ترکیب و نه تابع جهش) وجود ندارد و چون از تابع ترکیب استفاده نمی‌شود بنابراین نیاز به وجود اپراتور انتخاب نیز نمی‌باشد. در این

روش تمام افراد به سمت مکان فرد بهینه‌ای که تا کنون مشاهده شده است حرکت می‌کنند و به سرعت به سمت جواب بهینه همگرا می‌شوند.

- در این روش افراد برای نگهداری بهترین مکانی که تا کنون مشاهده کرده‌اند و توسط دیگران مشاهده شده است نیاز به حافظه دارند.

- تفاوت اصلی بین این دو روش در این است که الگوریتم PSO برخلاف الگوریتم ژنتیک که روشی ذاتاً گسسته است، یک روش ذاتاً پیوسته می‌باشد.

3-5- جمع بندی

در این فصل انواع روشهای جستجو و بهینه سازی معرفی و به عنوان نمونه اصول و مفاهیم الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات معلق (PSO) که از سادگی و سرعت قابل قبولی برخوردار می باشد تشریح گردید. در انتها، به ذکر معایب و مزایای این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم های هوشمند و مقایسه آن با الگوریتم ژنتیک پرداخته شد.

مراجع

- [1] Farnaz Sheidaei, Majid Shadkam, Mahdi Zarei." Optimal Distributed generation allocation In Distribution systems employing Ant Colony to Reduce losses", CCEC,IEEE, may. 2007.
- [2] Raj Kumar Singh and S. K. Goswami," A genetic algorithm based approach for optimal allocation of distributed generation in power systems for voltage sensitive loads ", Journal of Engineering and Applied Sciences ©2006-2009 Asian Research Publishing Network (ARPN), Vol. 4, Issue 2, April.2009.
- [3] T.N. Shukla, S.P. Singh and K.B. Naik," Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses", Fifteenth National Power Systems Conference (NPSC), IIT Bombay, pp 113-118, December.2008.
- [4] M. Sedighzadeh, and A. Rezazadeh," Using genetic algorithm for distributed generation allocation to reduce losses and improve voltage profile", World Academy of Science, Engineering and Technology ,vol.35,pp251-256, October. 2008.
- [5] Deependra Singh, Devender Singh, and K. S. Verma," GA based optimal sizing & placement of distributed generation for loss minimization", World Academy of Science, Engineering and Technology ,vol.26, pp101-107, December. 2007.
- [6] P. Ajay-D-Vimal Raj, S. Senthilkumar, J. Raja, S. Ravichandran and T. G. Palanivelu," Optimization of distributed generation capacity for line loss reduction and voltage profile improvement using PSO", Faculty of Electrical Engineering University Technology Malaysia Vol. 10, Issue 2,pp 41-48, December.2008.
- [7] Wichit Krueasuk, Weerakorn Ongsakul," Optimal placement of distributed generation using particle swarm optimization", CCECE, 2008, Control, Automation and Systems, 2008. ICCAS 2008. International Conference,pp 1663-1668, December.2008.
- [8] Amin Hajizadeh, Ehsan Hajizadeh, " PSO-Based planning of distribution systems with distributed generations", Proceedings of word academy of science, engineering and technology vol. 35, pp 599-604, November. 2008.
- [9] Y.Alinejad Beromi, M.Sedighzadeh, "A particle swarm optimization for siting and sizing of distributed generation network to improve voltage profile and increase THD and Lossese".IEEE Engineering confrance , pp 1-5, Italy, 2008.

- [10] An D.T. Le, M.A. Kashem, M. Negnevitsky, G. Ledwich, " Minimising power losses in distribution systems with distributed resources", Electrical and Electronic Systems Engineering Queensland University of Technology Brisbane, Australia.june. 2006.
- [11]Adel Mellit," Artificial intelligence based-modeling for sizing of a Stand-Alone Photovoltaic Power System: Proposition for a New Model using Neuro-Fuzzy System (ANFIS)", Third International IEEE Conference Intelligent Systems, pp 606-611, September. 2006.
- [12] Francisco Jurado, Antonio Cano , " Optimal placement of biomass fuelled gas turbines for reduced losses", Energy Conversion and Management ,Vol.47, pp 2673–2681, 2006.
- [13] B.Mozafari , T.Amraee , A.M.ranjbar, M.mirjafari, "Particle swarm optimization method for optimal reactive power procurement considering voltage stability", scientica Iranica ,Vol.14 Issue 6 , pp 534-545, December. 2007.
- [14] Wichit Krueasuk, Weerakorn Ongsakul, " Optimal placement of distributed generation using particle swarm optimization", CCECE, 2008, Control, Automation and Systems, 2008. ICCAS 2008. International Conference, pp 1663-1668, December. 2008.
- [15] T.Q.D.Khoa, P.T.T. Binh, and H.B. Tran," Optimizing location and sizing of distributed generation in distribution systems", CCECE, 2006 IEEE, pp 725-732, February. 2007.
- [16] Reddy,G.Sridhar Singh, R. K, "Distributed Generation based Dynamic Voltage Restorer",IEEE Confrance on Information and Comunication Technology, pp 262-266, Dec. 2007.
- [17] M.Gilli, P.winker , PHD.Thesis(2007), "Heurictic optimization methods in economics", Department of Economics, University of Giessen, Germany.
- [18] Xiaohui Hu, "Particle Swarm Optimization Tutorials,"<http://web.ics.purdue.edu/~hux/tutorials.shtml>, 2002.
- [19] Kennedy, J. and Eberhart, R.C., "Particle swarm optimization," Neural Networks, 1995. Proceedings, IEEE International Conference ,Vol. 4, pp 1942-1948, Dec.1995.

فصل چهارم

مکان‌یابی و تعیین ظرفیت

بهینه DG با استفاده از

الگوریتم اجتماع ذرات

4-1- مقدمه

در فصل‌های 2 و 3 به معرفی منابع تولید پراکنده و الگوریتم بهینه سازی ذرات پرداخته شد. در این فصل با معرفی الگوریتم پیشنهادی جهت مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده به برقراری ارتباط بین مطالب دو فصل گذشته پرداخته خواهد شد.

در این فصل در گام نخست به معرفی کلیات روش مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن الگوی بار پرداخته می‌شود لذا جهت برآورده شدن هدف مورد نظر که کاهش انرژی تلف شده می‌باشد، تابع هدف مربوط به هر سیکل کاری معرفی شده و در انتها با معرفی ضرایب وزنی مناسب به یافتن پاسخ بهینه پرداخته خواهد شد.

4-2- مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با روش الگوریتم اجتماع**ذرات بدون در نظر گرفتن الگوی بار**

در این بخش بدون در نظر گرفتن الگوی بار، ابتدا با ذکر سه طرح مختلف به بیان تاثیر مکان و ظرفیت مناسب منابع تولید پراکنده در میزان انرژی تلف شده پرداخته می‌شود. سپس تاثیر تغییر تعداد واحدهای تولید پراکنده در کاهش انرژی تلف شده و انواع طرح‌های پیشرو در استفاده از چندین واحد تولید پراکنده تشریح خواهد شد.

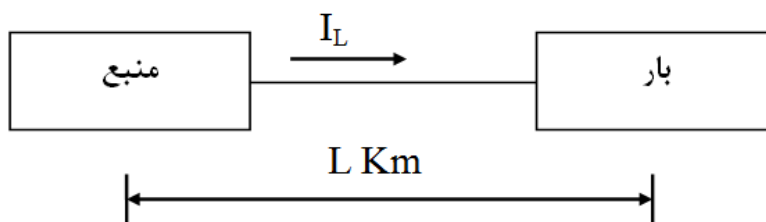
4-2-1- تاثیر مکان نصب و ظرفیت منابع تولید پراکنده در میزان کاهش تلفات

در ادامه جهت بیان اهمیت توجه به مسئله جایابی و تعیین اندازه مناسب DG در جهت کاهش تلفات، صرفاً به تاثیر این مهم در نرخ تغییرات تلفات اکتیو می‌پردازیم و از بررسی میزان اثر گذاری تعیین مکان و ظرفیت بهینه در نرخ تغییر تلفات راکتیو در این بخش صرف نظر می‌کنیم.

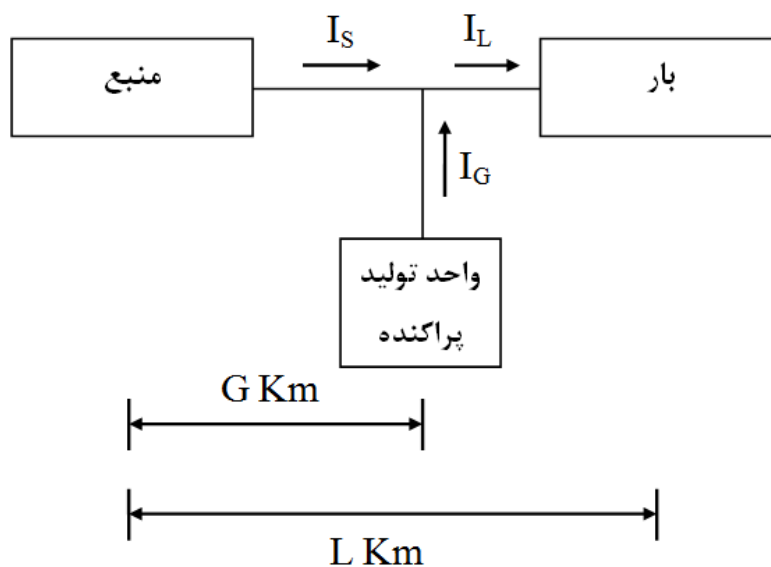
تلفات خطوط توزیع وقتی که جریان از انتقال به توزیع جاری می‌شود رخ می‌دهد. دامنه تلفات به مقدار جریان جاری شده و مقاومت خطوط بستگی دارد بنابراین تلفات خطوط بوسیله کاهش یکی از دو پارامتر جریان و مقاومت کاهش می‌یابد. اگر DG به صورت محلی به تامین بار پردازد به دلیل اینکه جریان قسمتی از شبکه کاهش می‌یابد، تلفات نیز کاهش می‌یابد.

همانطور که در شکل‌های 1-4 و 2-4 دیده می‌شود، اگر یک سیستم توزیع سه فاز DG داشته باشیم تلفات شبکه از دو ترم زیر تشکیل می‌شود [1].

- تلفات خط از منبع تا محل DG .
- تلفات از محل DG تا محل بار.



شکل 1-4 یک سیستم شعاعی ساده بدون DG



شکل 2-4 یک سیستم شعاعی ساده شامل DG

می توان ثابت کرد که تلفات در یک سیستم توزیع سه فاز بدون DG به صورت رابطه (1-4) می باشد [1,2].

$$LOSS = \frac{rL(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_p^2} \quad (1-4)$$

که در این رابطه:

r : مقاومت واحد طول خط

L : طول خط بر حسب Km

V_p : ولتاژ فاز

P_L و Q_L به ترتیب بارهای اکتیو و راکتیو می باشند.

همچنین می توان ثابت کرد که اگر سیستم توزیع شامل DG نیز باشد، جریان خروجی DG نیز یک توان مختلط به فرم رابطه (2-4) تولید می کند.

$$S_G = P_G + jQ_G \quad (2-4)$$

که از رابطه (2-4) می توان رابطه (5-4) را نتیجه گرفت.

$$I_G = \frac{(P_G - jQ_G)}{3V_p} \quad (5-4)$$

در این حالت با توجه به شکل 2-4 می توان گفت که:

$$I_S = I_L - I_G \quad (6-4)$$

بنابراین میزان تلفات خط از منبع تا محل DG از رابطه (7-4) بدست می آید [1,2].

$$LOSS = \frac{rG(P_L^2 + Q_L^2 + P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G)}{3V_p^2} \quad (7-4)$$

همچنین میزان تلفات از محل DG تا بار هم از رابطه (8-4) بدست می‌آید [۲،۱].

$$\text{Loss} = \frac{r(L-G)(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_p^2} \quad (8-4)$$

با جمع دو رابطه (7-4) و (8-4) می‌توان تلفات کل سیستم توزیع در حضور DG را محاسبه کرد که به فرم رابطه (9-4) درمی‌آید

$$\text{Loss} = \frac{R}{3V_p^2} \left[P_L^2 + Q_L^2 + (P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G) \left(\frac{G}{L} \right) \right] \quad (9-4)$$

که در رابطه فوق $R=rL$ ، مقاومت کل خط و L و G به ترتیب فاصله های منبع تا بار و منبع تا DG می‌باشد.

اما آنچه که از روابط (7-4) تا (9-4) برداشت می‌شود این است که می‌توان گفت افزودن DG به سیستم می‌تواند باعث کاهش تلفات شود.

3-4 - الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم به کار رفته در این پژوهش الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات (PSO) می‌باشد که جزئیات آن در فصل 3 به طور کامل بیان شده است.

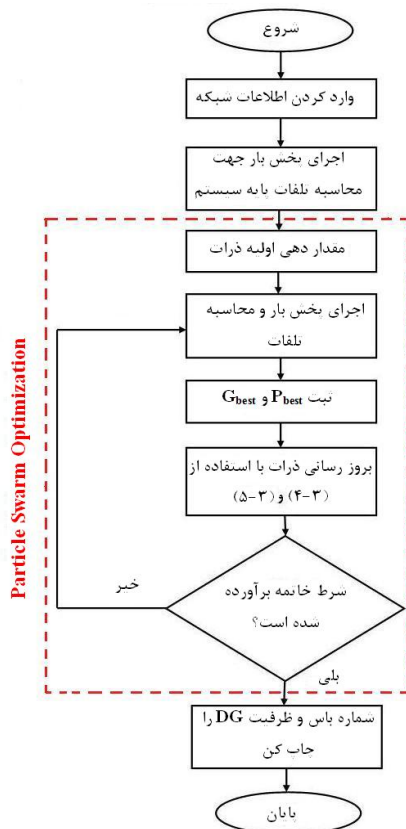
جهت پیاده‌سازی این الگوریتم بر روی شبکه مورد نظر، ابتدا قبل از هر اقدامی محدودیت‌های شبکه را مشخص کرده و با وارد کردن اطلاعات شبکه و اجرای برنامه پخش بار، از وضعیت تلفات شبکه مطلع می‌شویم. سپس به صورت کاملاً تصادفی به تولید اولین نسل از ذرات می‌پردازیم. یعنی به صورت تصادفی اولین کاندیدای سایز و مکان نصب DG را تولید می‌کنیم. در مرحله بعدی میزان برازندگی ذرات تولید شده را بررسی می‌کنیم، به این مفهوم که اولاً بررسی می‌کنیم که آیا ذرات تولید شده محدودیت‌های شبکه را رعایت کرده اند یا خیر؟ در صورت مثبت بودن پاسخ با اجرای برنامه پخش بار بررسی می‌کنیم که این ذرات میزان تلفات را تا چه میزانی تغییر داده اند. در صورت مناسب نبودن ذره از نظر پایبندی به قیود شبکه

اعلام می‌کنیم که ذره تولید شده نمی‌تواند پاسخ مناسبی باشد. پس از تولید نسل اولیه و ثبت میزان برازندگی یا همان P_{best} و G_{best} آنها با استفاده از روابط (3-4) و (3-5) فصل قبل به تولید نسل بعدی ذرات یا تغییر وضعیت نسل‌های اولیه می‌پردازیم.

در ادامه اگر تعداد تکرارها به میزانی که از ابتدا مشخص شده بود (شرط خاتمه) الگوریتم خاتمه یافته و بهترین G_{best} به عنوان جواب بهینه معرفی می‌شود در غیر این صورت مراحل قبلی آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا شرایط خاتمه الگوریتم ارضا شود.

روند اجرای مراحل فوق جهت مکان‌یابی و تعیین ظرفیت یک واحد تولید پراکنده در فلوچارت شکل 3-4 نمایش داده شده است.

لازم به ذکر است که الگوریتم پیشنهادی برای تعداد 100 ذره و 20 تکرار برنامه ریزی شده است که هر یک از این ذرات شامل خصوصیات تعداد DG ها، ظرفیت DG ها و مکان پیشنهادی جهت نصب می‌باشند.

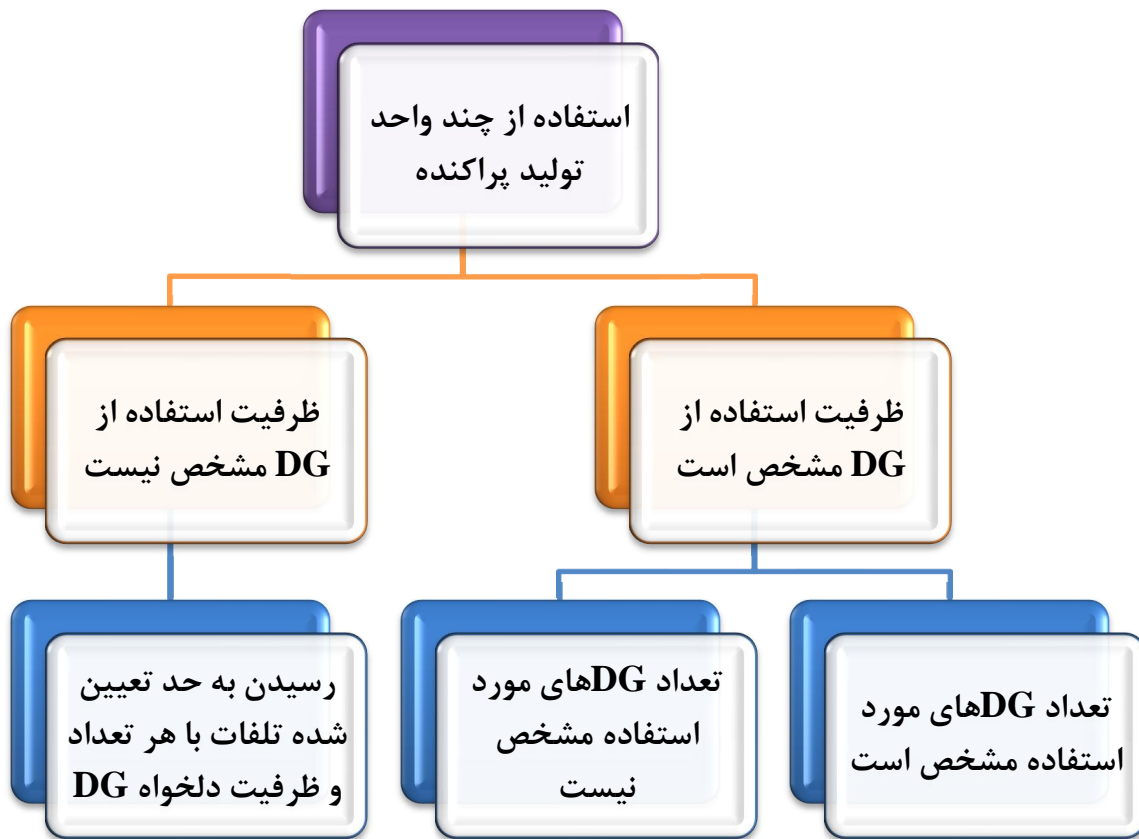


شکل 3-4 روند تعیین مکان مناسب و ظرفیت بهینه یک واحد تولید پراکنده با روش PSO بدون در نظر گرفتن الگوی بار

4-3-1- بررسی اثر تعداد واحدهای تولید پراکنده در میزان کاهش تلفات

طراحان سیستم هنگام پرداختن به مسئله مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه چند واحد تولید پراکنده¹ به صورت همزمان، با حالت‌های مختلفی مواجه می‌شوند. در این بخش از پژوهش انواع طرح‌های مختلف استفاده از چندین واحد تولید پراکنده جهت کاهش تلفات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به طور کلی انواع طرح‌های پیشرو در استفاده از DG در سیستم‌های توزیع در شکل 4-4 نمایش داده شده است.



شکل 4-4 انواع طرح‌های استفاده از چند DG در سیستم‌های توزیع

با توجه به شکل 4-4 می‌توان گفت در مسئله طراحی سیستم‌های توزیع با حضور DG دو حالت کلی رخ می‌دهد. یا ظرفیت استفاده از DG مشخص است، مثلاً شرکت توزیع انرژی، مجری طرح را مقید می‌کند که

¹ - Multi-Distributed Generation

بر فرض 20% تقاضای بار با کمک DG تامین شود که در این حالت ممکن است علاوه بر تعیین این قید اولیه طراح را مکلف کنند که این 20% ظرفیت کمکی در قالب تعداد مشخصی DG برآورده شود و یا دست طراح را در استفاده از تعداد DG باز می‌گذارند.

حالت دیگری که ممکن است در استفاده از چندین DG رخ دهد این است که برای شرکت توزیع انرژی، فقط استفاده از DG جهت رسیدن به مقدار تلفات از پیش تعیین شده مهم است و اینکه مجری طرح از چند DG و با چه ظرفیت‌هایی قرار است استفاده کند مهم نیست. که معمولاً از این طرح کمتر استفاده می‌شود. در این پروژه با توجه بر این قید که مجموع ظرفیت DGهای مورد استفاده حداکثر 35% تقاضای بار باشد، با تعداد حداکثر 4 واحد DG قرار است به بهترین ظرفیت و مکان نصب این واحدها جهت رسیدن به بیشترین میزان کاهش تلفات پرداخته شود.

4-3-2- بررسی اجمالی روش حل مسئله پیشرو و بدست آوردن نتایج با در نظر

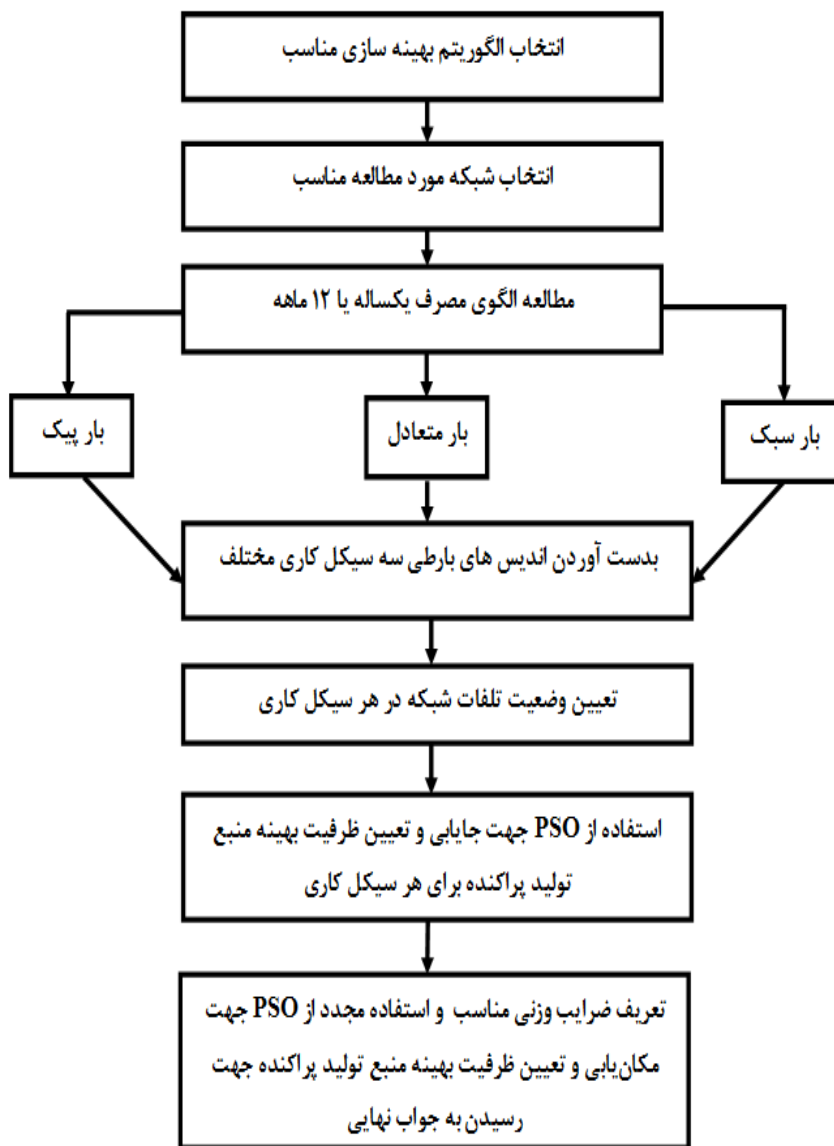
گرفتن الگوی بار

- 1- اصول کلی این پژوهش بدین ترتیب است که در ابتدا پس از انتخاب الگوریتم بهینه‌سازی و شبکه مورد مطالعه مناسب، به استخراج الگوی بار در طول یک سال کاری می‌پردازیم.
- 2- در این مرحله، الگوی بار یا مصرف را به سه سیکل کاری مختلف بار سبک، بار متعادل و بار پیک تقسیم می‌کنیم.
- 3- در این مرحله با توجه به میزان اختلاف مصرف بین بار پیک و بار سبک، جهت مشخص شدن میزان مصرف و تلفات بار به تعریف اندیس‌های بار¹ خواهیم پرداخت.
- 4- با استفاده از اندیس‌های بدست آمده از مرحله قبل و در نظر گرفتن نرخ رشد سالانه برای بازه زمانی مورد مطالعه، به صورت مجزا برای هر یک از شرایط بار سبک، پیک و متعادل به حل مسئله جایابی و تعیین سائز DG می‌پردازیم.

² - Load Indexes

5- در این مرحله پس از اتمام عملیات جستجو برای یافتن پاسخ بهینه به ازای هر یک از شرایط سه گانه الگوی بار، جهت رسیدن به یک جواب بهینه سراسری با تعریف ضرایب وزنی مناسب به یافتن مکان نصب و ظرفیت بهینه واحد تولید پراکنده به ازای یک سال کاری و در نظر گرفتن نرخ رشد بار در یک بازه زمانی چند ساله پرداخته خواهد شد.

فرایند رسیدن به جواب نهایی در شکل 4-5 نمایش داده شده است. هریک از مراحل نشان داده شده در شکل 4-5 در این فصل تشریح خواهند شد.



شکل 4-5 فرایند تعیین مکان و ظرفیت بهینه DG با در نظر گرفتن الگوی بار

برای بیشتر روشن شدن مطلب نیاز به آشنایی با برخی مفاهیم می باشد که در ادامه به آنها اشاره می شود.

4-4- تابع هدف

همانطور که در فصل گذشته بیان شد هدف از این پژوهش کاهش انرژی تلف شده می باشد اما از آنجا که سیکل های کاری متفاوت می باشند و تلفات نسبت به زمان بستگی دارد، این هدف در سیکل های مختلف برآورده می شود سپس در نهایت با تعریف ضرایب وزنی مناسب یک جواب بهینه نهایی بدست خواهد آمد. آنچه مسلم است این است که هدف نهایی، کاهش انرژی تلف شده می باشد و تابع هدفی به فرم کلی رابطه (10-4) خواهیم داشت [3].

$$E_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [\alpha_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)] * (8760) \quad (10-4)$$

که در آن:

$$\alpha_{ij} = \frac{R_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j)$$

$$\beta_{ij} = \frac{R_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$$

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$$

Z_{ij} المان i و j ام ماتریس امپدانس سیستم یا $[Zbus] = [Ybus]^{-1}$ می باشد؛

P_i و P_j : به ترتیب توان های اکتیو باسهای i و j ؛

Q_i و Q_j : به ترتیب توان های راکتیو باسهای i و j ؛

n : تعداد باس ها؛

V_i و δ_i و V_j و δ_j به ترتیب ولتاژها و زوایای باس های i و j می باشند.

بنابراین تابع هدف نهایی که منجر به کاهش تلفات کل سیستم می‌شود به فرم رابطه (11-4) نوشته می‌شود

$$\text{Minimize } E_L = \sum_{k=1}^N E_{loss_k} \quad (11-4)$$

که در آن E_{loss_k} : انرژی تلف شده در شاخه K ام؛

N : تعداد شاخه‌ها می‌باشد.

مسئله بهینه‌سازی شامل قیود مساوی و نامساوی به ترتیب زیر می‌باشد.

4-4-1- قیود مساوی

قیود مساوی در روش پیشنهادی مطابق روابط (12-4) و (13-4) می‌باشند:

$$P_{Gi} - P_{Di} - \sum_{j=1}^n V_i |V_j| (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \quad (12-4)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - \sum_{j=1}^n V_i |V_j| (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0 \quad (13-4)$$

که n تعداد باسها، P_{Gi} توان اکتیو شین i ام، Q_{gi} توان راکتیو شین i ام و P_{Di} و Q_{Di} توانهای اکتیو و راکتیو مصرفی باس i ام و $i=1,2,\dots,n$ می‌باشد.

4-4-2- قیود نامساوی

قیود نامساوی در روش پیشنهادی مطابق روابط (14-4) و (15-4) و (16-4) می‌باشند:

$$|V_i|_{\min} \leq |V_i| \leq |V_i|_{\max} \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (14-4)$$

$$P_{Gi,\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,\max} \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (15-4)$$

$$Q_{gi,\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,\max} \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (16-4)$$

همانطور که در بخش‌های گذشته بیان شد، الگوی بار به سه سیکل بار سبک، متعادل و پیک تقسیم می‌شود که برای هر یک از این سه وضعیت به تنهایی یک تابع هدف به فرم رابطه (4-11) معرفی می‌شود.

این سه سیکل را به ترتیب با حروف P, M, L نمایش می‌دهیم. تقسیم بندی سیکل کاری و توجه به هر سه سیکل جهت تصمیم گیری یکی از نقاط قوت این پژوهش می‌باشد چراکه در اکثر موارد بار پیک معیار برنامه ریزی و طراحی قرار می‌گیرد اما در این پژوهش هر سه سیکل، همزمان مد نظر قرار گرفته است.

بنابراین با توجه به آنچه گفته شد، برای یک سال کاری تابع هدف کلی به فرم رابطه (4-12) خواهیم داشت.

$$f = \alpha P_{Loss,L} + \beta P_{Loss,M} + \gamma P_{Loss,P} \quad (12-4)$$

که در آن:

α : مدت زمان استمرار بار سبک بر حسب ساعت برای یک سال کاری؛

β : مدت زمان استمرار بار متعادل بر حسب ساعت برای یک سال کاری؛

γ : مدت زمان استمرار بار پیک بر حسب ساعت برای یک سال کاری؛

$P_{Loss,L}$: تلفات محاسبه شده در حالت بار سبک بر حسب MW؛

$P_{Loss,M}$: تلفات محاسبه شده در حالت بار متعادل بر حسب MW؛

$P_{Loss,P}$: تلفات محاسبه شده در حالت بار پیک بر حسب MW می‌باشد.

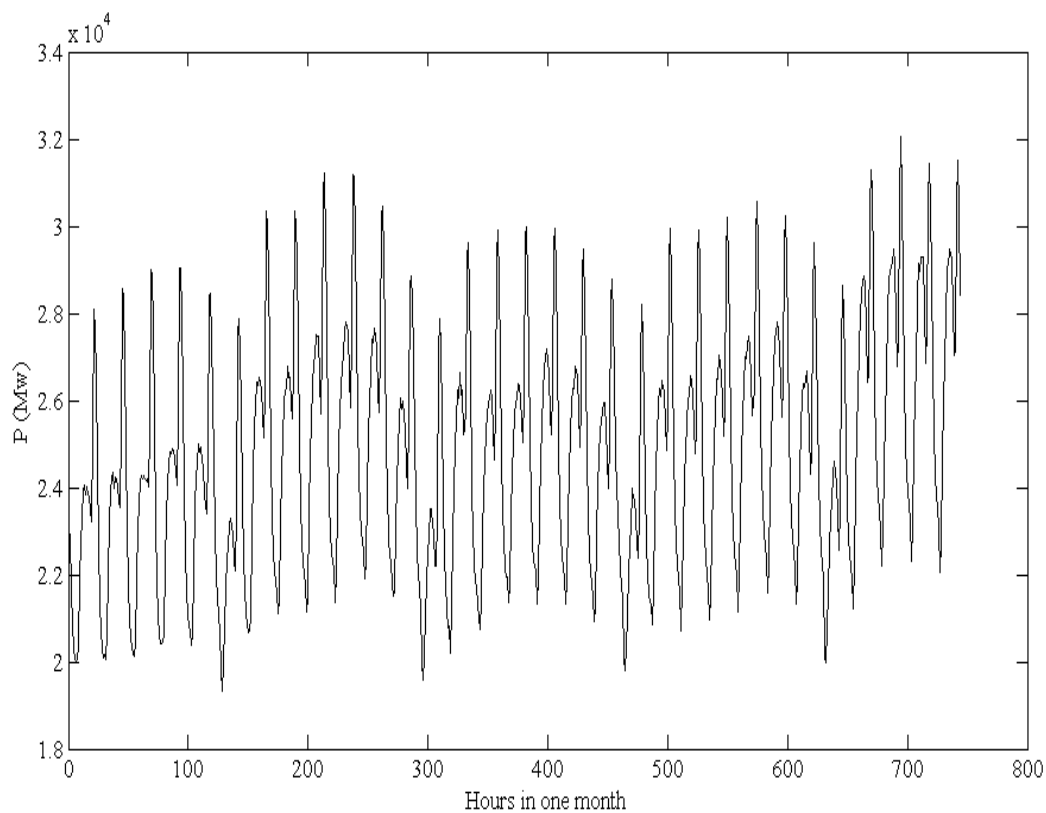
که:

$$\alpha + \beta + \gamma = 8760 \text{ Hours} \quad (13-4)$$

4-5- الگوهای بار

همانطور که در قسمتهای مختلف این پروژه بیان شد، الگوی مصرف نسبت به زمان متغیر می‌باشد و از آنجا که قرار است در این پروژه به میزان تغییرات بار نسبت به زمان توجه شود، لازم است که الگوی مصرف مطالعه شده و میزان اختلاف بارسبک تا بار پیک مشخص شود.

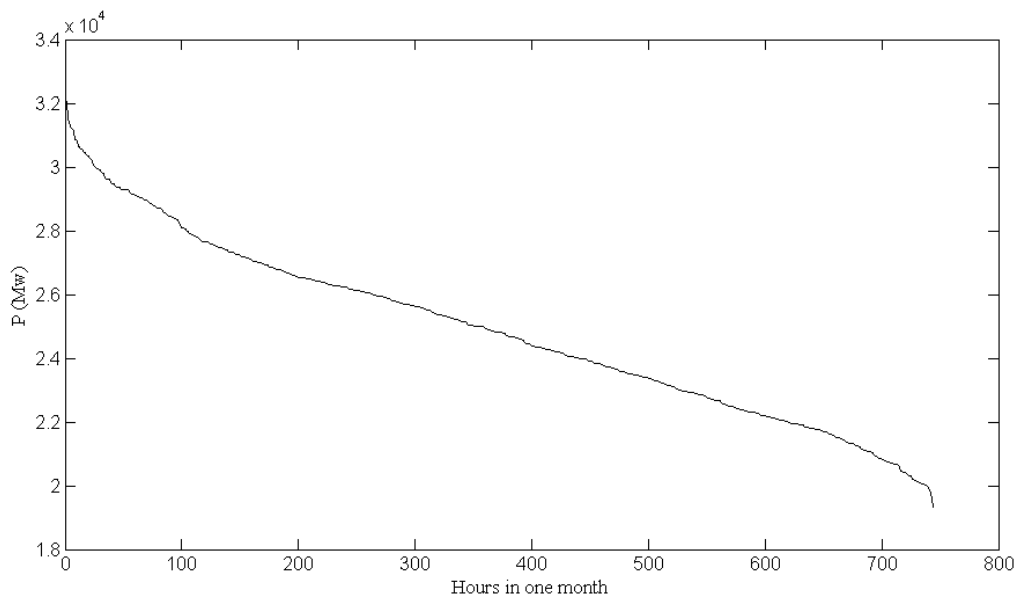
جهت معرفی روش پیشنهادی الگوی مصرف یک ماه از سال¹ کشور ایران مطابق شکل 4-6 می‌باشد.



شکل 4-6 الگوی مصرف اردیبهشت ماه

همانطور که در شکل 4-6 مشاهده می‌شود الگوی بار نسبت به زمان بسیار متغیر می‌باشد. اگر منحنی شکل 4-6 را به ترتیب از بیشترین میزان مصرف تا کمترین مقدار مرتب کنیم نمودار 4-7 حاصل می‌شود. در بخش بعدی با استفاده از این نمودار، به محاسبه اندیس‌های بار پرداخته می‌شود.

¹ - اردیبهشت سال ۱۳۸۷



شکل 7-4 بار مرتب شده مربوط به اردیبهشت ماه یک سال کاری

6-4- اندیس بار

با توجه به این نکته که میزان مصرف و تلفات مشترکین در سیکل‌های کاری سبک (L)، متعادل- (M) و پیک (P) متفاوت می‌باشد، لذا لازم است که این میزان اختلاف مصرف و تلفات در هر سیکل کاری مشخص گردد. به همین دلیل در این پایان نامه اندیس‌های بار معرفی می‌شود.

از آنجا که الگوی بار برای کل شبکه موجود می‌باشد و برای هر باس به صورت مجزا در دسترس نمی‌باشد، لذا لازم است که الگوی بار سالانه برای هر باس مشخص گردد.

در این پایان نامه فرض می‌شود که الگوی بار در هر باس از الگوی بار کل شبکه تبعیت می‌کند، همچنین میزان بار نامی هر باس به عنوان بار متعادل در نظر گرفته می‌شود و شاخص‌های بار سبک و بار پیک بر اساس الگوی بار کل شبکه انتخاب می‌شود.

همچنان‌که قبلاً بیان شد و در شکل 7-4 نیز نمایش داده شد، الگوی بار به سه سیکل کاری بار سبک، بار متعادل و بار پیک تقسیم می‌شود که برای هر یک از این سه سیکل کاری شاخص متوسط تعریف می‌شود.

شاخص متوسط میانگین مصرف در یک بازه زمانی در واقع سطح زیر منحنی در بازه زمانی مربوطه می‌باشد. مثلاً اگر در شکل 7-4 فرض شود که 16 درصد از سیکل کاری یک ماهه یا همان 120 ساعت میزان مصرف، پیک باشد و همین مدت زمان هم بار سبک باشد، این روند در شکل 8-4 و 9-4 نمایش داده شده است.



شکل 8-4 میزان مصرف 120 ساعت پیک اردیبهشت ماه

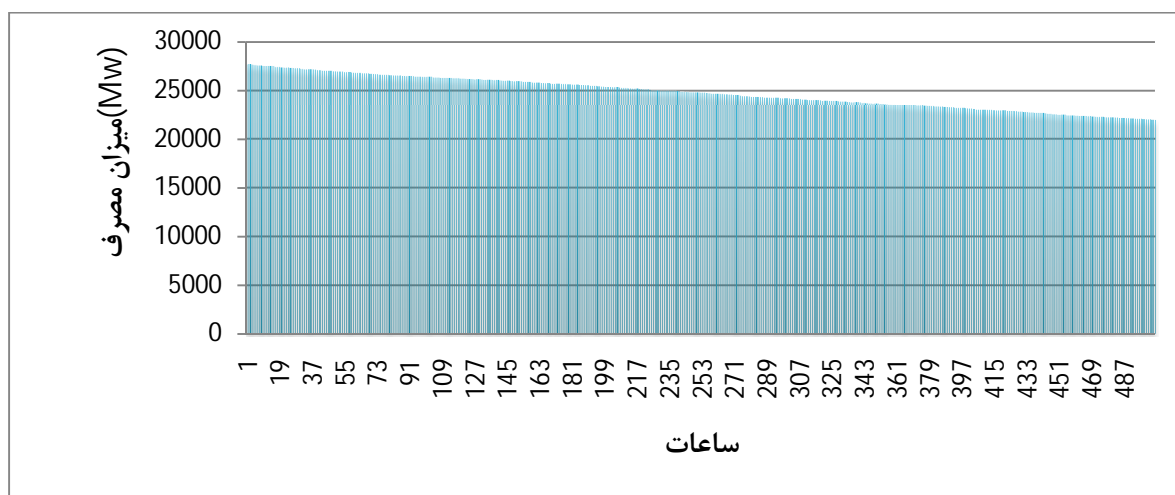
همان‌طور که در شکل 8-4 نمایش داده شده است، مشاهده می‌شود که میانگین مقدار برای 120 ساعت ماکسیمم مصرف یا همان سطح زیر منحنی شکل 8-4 برابر با $29204/88 \text{Mw}$ می‌باشد که به این کمیت شاخص متوسط الگوی بار پیک شبکه گفته می‌شود.

از طرفی با توجه به شکل 7-4 می‌توان گفت که میانگین 120 ساعتی که کمترین میزان مصرف را دارا می‌باشند یا همان سطح زیر منحنی شکل 9-4، برابر $21052/29 \text{ Mw}$ می‌باشد که به این کمیت شاخص متوسط الگوی بار سبک شبکه گفته می‌شود.



شکل 4-9 میزان مصرف 120 ساعت سبک اردیبهشت ماه

با فرض اینکه در 68 درصد باقی مانده از روزهای ماه یا همان 20 روز باقی مانده از ماه، میزان مصرف به صورت متعادل باشد شاخص متوسط الگوی بار متعادل شبکه یا سطح زیر منحنی شکل 4-10 برابر با Mw 24752/16 می‌باشد.



شکل 4-10 میزان مصرف 504 ساعت متعادل اردیبهشت ماه

حال با استفاده از آنچه در شکل‌های (4-8) تا (4-10) نمایش داده شد، می‌توان شاخص‌های زیر را معرفی کرد:

I_n : شاخص متوسط الگوی بار سبک شبکه که معادل Mw 21052/29 می‌باشد.

M_n : شاخص متوسط الگوی بار متعادل شبکه که معادل 24752/16 MW می باشد.

P_n : شاخص متوسط الگوی بار پیک شبکه که معادل 29204/88 MW می باشد.

در الگوی بار هر باس، مقادیر نامی توان اکتیو و راکتیو به عنوان شاخص متوسط الگوی بار متعادل آن باس در نظر گرفته می شود این مقدار با M_{LF} مطابق رابطه (14-4) نمایش داده می شود.

$$M_{LF} = \frac{M_n}{M_n} \quad (14-4)$$

به روش مشابه برای بارهای سبک و پیک به ترتیب روابط (15-4) و (16-4) ضرایب بار سبک و پیک تعریف می شود:

$$L_{LF} = \frac{L_n}{M_n} \quad (15-4)$$

$$P_{LF} = \frac{P_n}{M_n} \quad (16-4)$$

بنابراین با استفاده از شاخص های بار بدست آمده از روابط (14-4) تا (16-4) می توان گفت که میانگین بار پیک، سبک و متعادل هر باس به ترتیب با استفاده از روابط (17-4) تا (19-4) بدست خواهد آمد.

$$L_b = (L_{LF})P_r \quad (17-4)$$

$$M_b = (M_{LF})P_r \quad (18-4)$$

$$P_b = (P_{LF})P_r \quad (19-4)$$

که در روابط بالا منظور از P_r توان نامی شبکه (اکتیو و راکتیو) می باشد.

در واقع اندیس های میانگین بار سبک، متعادل و پیک در مقادیر نامی توان اکتیو و راکتیو ماتریس بار سیستم (Bus data) ضرب خواهد شد تا میزان تلفات پایه سیستم در هر یک از سه سیکل کاری یاد شده مشخص گردد.

بنابراین مطابق آنچه تا کنون گفته شده شاخص‌های متوسط الگوی بار سبک، متعادل و پیک به ترتیب برابر با:

$$P_{LF} = \frac{P_n}{M_n} = \frac{29204.88}{24752.16} = 1.1798 \text{ و } L_{LF} = \frac{L_n}{M_n} = \frac{21052.29}{24752.16} = 0.8505 \text{ و } M_{LF} = \frac{M_n}{M_n} = 1$$

4-7- در نظر گرفتن رشد بار

همانطور که قبلاً بیان شد، مسئله مکان‌یابی و تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده یک مسئله طراحی¹ می‌باشد و بایستی کلیه محاسبات در یک بازه زمانی صورت گیرد. در این پژوهش به این نکته توجه شده است و علاوه بر اینکه محاسبات براساس الگوی بار سالانه انجام گرفته، میزان نرخ رشد بار نیز در آن لحاظ گردیده است.

در این بخش نحوه اعمال نرخ رشد بار تشریح خواهد شد.

رشد بار معمولاً به صورت یک تابع نمایی در نظر گرفته می‌شود که این تابع نمایی می‌تواند رابطه‌ای شبیه رابطه (20-4) باشد.

$$LG^2 = K_0(1 + \delta)^n \quad (20-4)$$

که در این رابطه:

K_0 : مقدار نامی کمیت مورد نظر

δ : درصد نرخ رشد سالانه و n تعداد سال افق می‌باشد.

بنابراین بادر نظر گرفتن رشد بار سالانه δ درصد و نیز بازه زمانی n ساله روابط (4-17) تا (4-19) با در نظر گرفتن این نرخ رشد و بازه زمانی به صورت زیر بازنویسی می‌شوند.

¹ - Planning

² - Load Growth

$$L_{b,new} = (L_b)(1 + \delta)^n \quad (21-4)$$

$$M_{b,new} = (M_b)(1 + \delta)^n \quad (22-4)$$

$$P_{b,new} = (P_b)(1 + \delta)^n \quad (23-4)$$

که در آن $L_{b,new}$ بار سبک (اکتیو و راکتیو) با در نظر گرفتن الگوی بار و اعمال نرخ رشد بار؛

که در آن $M_{b,new}$ بار متعادل (اکتیو و راکتیو) با در نظر گرفتن الگوی بار و اعمال نرخ رشد بار؛

که در آن $P_{b,new}$ بار پیک (اکتیو و راکتیو) با در نظر گرفتن الگوی بار و اعمال نرخ رشد بار می باشند.

4-8- جمع بندی

در این فصل به طور خلاصه چهارچوب اصلی روش ارائه شده در این پژوهش معرفی گردید. همچنین الگوریتم بهینه‌سازی و نحوه پیاده‌سازی آن بر روی شبکه نمونه تشریح شد، سپس انواع طرح‌های استفاده از چندین واحد تولید پراکنده مورد بررسی قرار گرفت. تابع هدف مورد نظر معرفی گردید و در انتها، جهت بیان مفهوم اندیس‌های مختلف بار، یک بازه زمانی یک ماهه به عنوان مثال مورد بررسی قرار گرفت و نحوه استفاده از اندیس‌های بار تشریح گردید. همچنین با توجه به اهمیت مسئله طراحی سیستم، نرخ رشد بار و نحوه استفاده از آن در این پژوهش معرفی گردید.

در فصل بعدی با معرفی الگوی بار سالانه شبکه سراسری ایران و استخراج اندیس‌های بار در یک بازه زمانی یک ساله به تحلیل نتایج شبیه‌سازی و جزئیات مربوط به آن پرداخته خواهد شد.

مراجع

- [1] T.Q.D.Khoa, P.T.T. Binh, and H.B. Tran," Optimizing location and sizing of distributed generation in distribution systems", CCECE, 2006 IEEE, pp. 725-732, Canada, February 2007.
- [2] T.N. Shukla, S.P. Singh and K.B. Naik," Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses", Fifteenth National Power Systems Conference (NPSC), IIT Bombay, pp. 113-118, December. 2008.
- [3] Duong Quoc Hung, Nadarajah Mithulananthan,"Analytical Expressions for DG Allocation in Primary Distribution Networks", IEEE transactions on energy conversion, Vol.25, Issue 3, PP. 814-820, Sept 2010.

فصل پنجم

شبیه سازی و نتایج

5-1- مقدمه

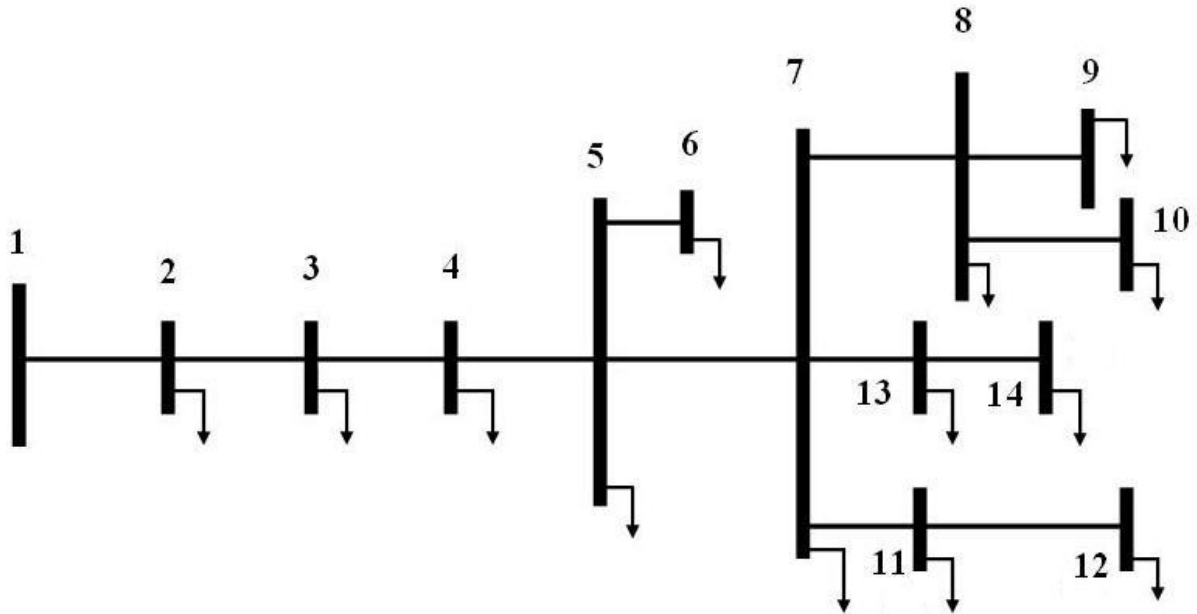
آنچه به عنوان شبیه سازی در این فصل مطرح خواهد شد شامل دو بخش مجزا می‌باشد. در ابتدا با توجه به الگوریتم ارائه شده در فصل قبل، بدون توجه به الگوی بار سیستم، به مکان‌یابی و تعیین ظرفیت DG خواهیم پرداخت. سپس در بخش دوم با اثر دادن الگوی بار سیستم به مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده پرداخته می‌شود تا تاثیر توجه به الگوی بار در حل مسئله جایابی به خوبی آشکار شود. با بررسی نتایج شبیه سازی، این نکته برداشت خواهد شد که مکان و ظرفیت پیشنهادی الگوریتم، به تغییرات بار در طول زمان بستگی دارد به طوری که الگوریتم پیشنهادی برای هر یک از شرایط بار سبک، متعادل و پیک یک ظرفیت و مکان بهینه پیشنهاد خواهد داد و این بدین مفهوم خواهد بود که در هر یک از شرایط سه گانه الگوی بار ناچار به تغییر ظرفیت و مکان نصب واحد تولید پراکنده می‌باشم که چنین امری منطقی نخواهد بود، بنابراین جهت اجتناب از ایجاد چندین نقطه بهینه مختلف و رسیدن به یک جواب بهینه سراسری، با تعریف ضرایب وزنی مناسب به یک پاسخ بهینه که در هر سه شرایط بار سبک، متعادل و پیک می‌تواند کاندیدای یک جواب بهینه باشد خواهیم رسید.

در هر یک از مراحل فوق علاوه بر نمایش میزان تغییرات تلفات اکتیو و راکتیو به صورت جداگانه و مستقل، میزان تغییرات تلفات کل هم نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش امکان استفاده همزمان از چندین منبع تولید پراکنده با توانایی تولید توان اکتیو و راکتیو مورد استفاده قرار می‌گیرد و نیز صرف نظر از مکان نصب و ظرفیت واحد، فرض بر این است که استفاده از DG از لحاظ اقتصادی و سایر مسائل فنی مطرح شده در فصل اول، مقرون به صرفه می‌باشد.

5-2- شبکه مورد مطالعه

شبکه مورد مطالعه در این تحقیق یک فیدر 14 شینه 20 کیلو ولت که خروجی یکی از پستهای 63/20 و بخشی از شبکه توزیع می‌باشد که دیاگرام تک‌خطی آن در شکل 5-1 نمایش داده شده است.

اطلاعات مربوط به مشخصات شاخه‌ها و نیز بارهای متصل به باس‌های این شبکه در جدول‌های 1-5 و 2-5 نمایش داده شده است.



شکل 1-5 دیاگرام تک خطی شبکه نمونه

جدول 1-5 اطلاعات خطوط شبکه مورد بررسی

اطلاعات خطوط شبکه			
از باس	به باس	R (Ω)	X (Ω)
۱	۲	۰/۱۷۶	۰/۱۲۸
۲	۳	۰/۱۷۶	۰/۱۲۸
۳	۴	۰/۰۴۵	۰/۰۲۵
۴	۵	۰/۰۸۹	۰/۰۶۹
۵	۶	۰/۰۴۵	۰/۰۲۵
۵	۷	۰/۱۱۶	۰/۰۹۱
۷	۸	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲
۸	۹	۰/۰۷۴	۰/۰۵۸
۸	۱۰	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲
۷	۱۱	۰/۰۶۲	۰/۰۵
۱۱	۱۲	۰/۰۶۸	۰/۰۵۲
۱۲	۱۳	۰/۰۶۲	۰/۰۵۲
۷	۱۴	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶

جدول 2-5 اطلاعات باس های شبکه مورد بررسی

اطلاعات باس های شبکه		
شماره باس	P(Kw)	Q(Kvar)
1	0	0
2	490	366
3	628	470
4	970	720
5	586	320
6	474	344
7	1342	1078
8	1020	392
9	766	498
10	662	480
11	690	186
12	1292	554
13	1124	480
14	1242	570

5-3- مکان‌یابی و تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده بدون در نظر گرفتن الگوی بار

در این بخش به حل مسئله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با هدف کاهش انرژی تلف شده پرداخته خواهد شد.

جهت تعیین مکان و ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده فرض می‌شود که حداکثر از چهار واحد DG می‌توان استفاده کرد به طوری که این واحدها مجموعاً 15 تا 35 درصد تقاضای بار را برآورده خواهند کرد و حتی اگر این تقاضای بار با تعداد کمتری DG برآورده شد الگوریتم خاتمه می‌یابد. به عبارتی برای ظرفیت DGها محدودیتی مطابق با رابطه (1-5) و (5-2) خواهیم داشت:

$$0.15 \sum P_D \leq \sum P_g \leq 0.35 \sum P_D \quad (1-5)$$

$$0.15 \sum Q_D \leq \sum Q_g \leq 0.35 \sum Q_D \quad (2-5)$$

قبل از اجرای الگوریتم پیشنهادی ابتدا با اجرای پخش بار وضعیت انرژی تلف شده کل سیستم قبل از نصب واحدهای تولید پراکنده مشخص می‌گردد که مقدار انرژی تلف شده کل قبل از DG گذاری برابر با Mw.h 2806/17 می‌باشد.

در این بخش اجرای الگوریتم پیشنهادی در سه مرحله صورت می‌گیرد، در ابتدا به بررسی میزان اثر گذاری یک واحد DG در کاهش سطح انرژی تلف شده می‌پردازیم به عبارتی به تحلیل جواب‌هایی می‌پردازیم که الگوریتم تنها استفاده از یک واحد DG را پیشنهاد داده است. در مرحله بعدی به تحلیل جواب‌هایی می‌پردازیم که الگوریتم استفاده از دو واحد DG را پیشنهاد داده است و در انتها به تحلیل جواب‌هایی می‌پردازیم که الگوریتم استفاده از سه واحد DG را پیشنهاد داده است در انتها مشخص می‌شود که الگوریتم استفاده بیش از سه واحد DG را پیشنهاد نمی‌دهد.

لازم به ذکر است که DGهای مورد استفاده همگی قادر به تولید همزمان توان اکتیو و راکتیو می‌باشند.

نتایج شبیه سازی در جدول های 3-5 تا 5-5 آورده شده است.

5-3-1- مکان یابی و تعیین ظرفیت یک واحد تولید پراکنده بدون در نظر گرفتن

الگوی بار

در این بخش بدون در نظر گرفتن الگوی بار سیستم، فرض می شود که تنها از یک واحد تولید پراکنده جهت کاهش تلفات استفاده شده است.

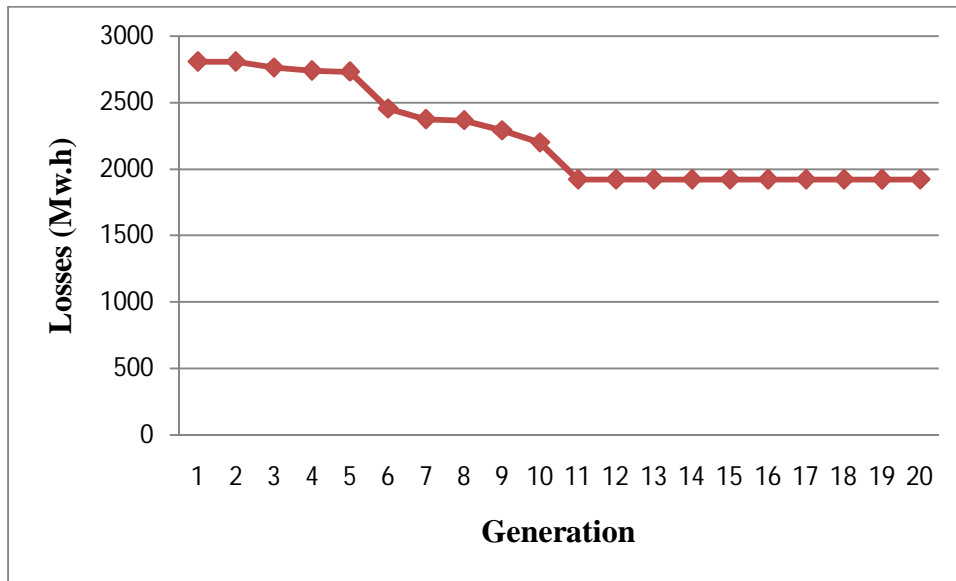
نتایج شبیه سازی به شرح جدول 3-5 می باشد.

جدول 3-5 نتایج شبیه سازی بدون در نظر گرفتن الگوی بار برای یک واحد DG

شماره باس پیشنهادی	ظرفیت DG		ظرفیت نهایی		انرژی تلف شده بعد از نصب DG (Mw.h)
	PG(KW)	QG(Kvar)	PG(Kw)	QG(Kvar)	
14	1428/06	685/29	1428/06	685/29	1917/415

همانطور که در جدول 4-5 نشان داده شده است، قرار گرفتن یک DG با ظرفیت 1428/06 Kw و 685/29 Kvar در باس 14 باعث کاهش 31/67 درصدی انرژی تلف شده کل شده است.

نتایج جدول 3-5 با استفاده از 20 تکرار و تعداد 100 ذره بدست آمده است که مشخصه همگرایی آن در شکل 2-5 آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود از تکرار 12 به بعد الگوریتم همگرا شده است.



شکل 2-5 نرخ کاهش انرژی تلف شده کل در 20 نسل برای تعداد یک واحد DG

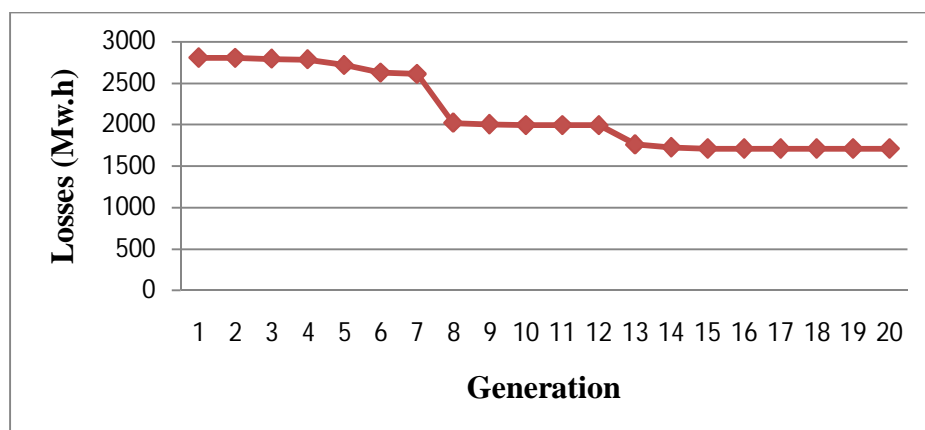
5-3-2- مکان‌یابی و تعیین ظرفیت دو واحد تولید پراکنده بدون در نظر گرفتن الگوی بار

نتیج شبیه سازی در این مرحله مطابق جدول 4-5 نشان می‌دهد که قرار گرفتن دو واحد DG در باس‌های 13 و 5 با ظرفیت کل 1873/97 Kw و 906/42 Kvar باعث 38/98 درصدی انرژی تلف شده کل شده است.

جدول 4-5 نتایج شبیه سازی بدون در نظر گرفتن الگوی بار برای دو واحد DG

شماره باس پیشنهادی	ظرفیت DG		ظرفیت نهایی		انرژی تلف شده بعد از نصب DG (Mw.h)
	PG(KW)	QG(Kvar)	PG(Kw)	QG(Kvar)	
۱۳	۹۹۶/۷۶	۴۸۶/۱۱	۱۸۷۳/۹۷	۹۰۶/۴۲	۱۷۱۲/۳۸۱۲
۵	۸۷۷/۲۱	۴۲۰/۳۱			

نتایج جدول 4-5 با استفاده از 20 تکرار و تعداد 100 ذره بدست آمده است که مشخصه همگرایی آن در شکل 3-5 آورده شده است.



شکل 3-5 نرخ کاهش انرژی تلف شده کل در 20 نسل برای تعداد دو واحد DG

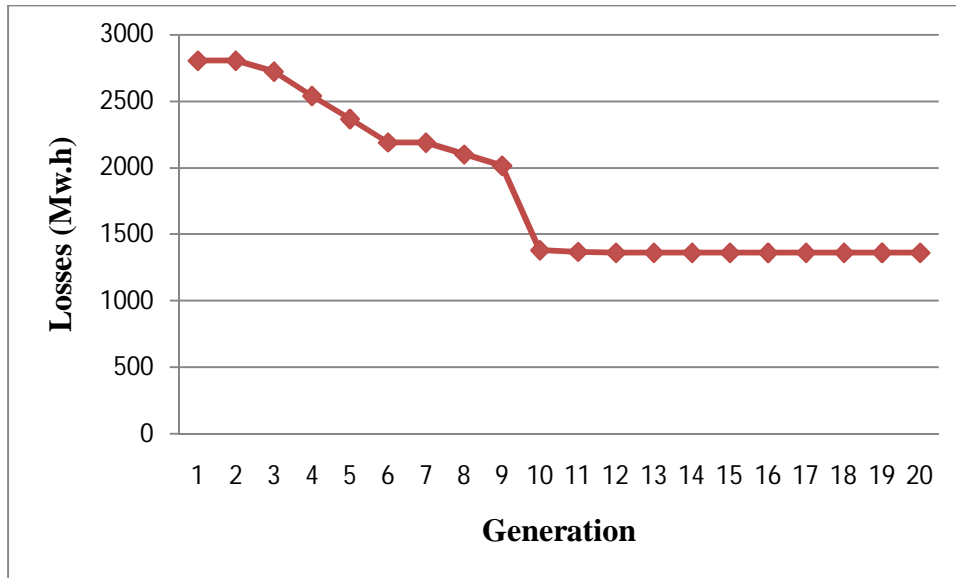
5-3-3- مکان یابی و تعیین ظرفیت سه واحد تولید پراکنده بدون در نظر گرفتن الگوی بار

نتایج شبیه سازی در این مرحله مطابق جدول 5-5 نشان می دهد که قرار گرفتن سه واحد DG در باس-های 12 و 13 و 7 با ظرفیت کل 2925/64 Kw و 1850/94 Kvar باعث کاهش 51/39 درصدی انرژی تلف شده کل شده است.

جدول 5-5 نتایج شبیه سازی بدون در نظر گرفتن الگوی بار برای سه واحد DG

شماره باس پیشنهادی	ظرفیت DG		ظرفیت نهایی		انرژی تلف شده بعد از نصب DG (Mw.h)
	PG(KW)	QG(Kvar)	PG(Kw)	QG(Kvar)	
11	884/84	550/33	2925/64	1850/94	1362/8
9	920/17	610/19			
7	1120/63	690/42			

نتایج جدول 5-5 با استفاده از 20 تکرار و تعداد 100 ذره بدست آمده است که مشخصه همگرایی آن در شکل 4-5 آورده شده است.



شکل 4-5 نرخ کاهش تلفات کل در 20 نسل برای تعداد سه واحد DG

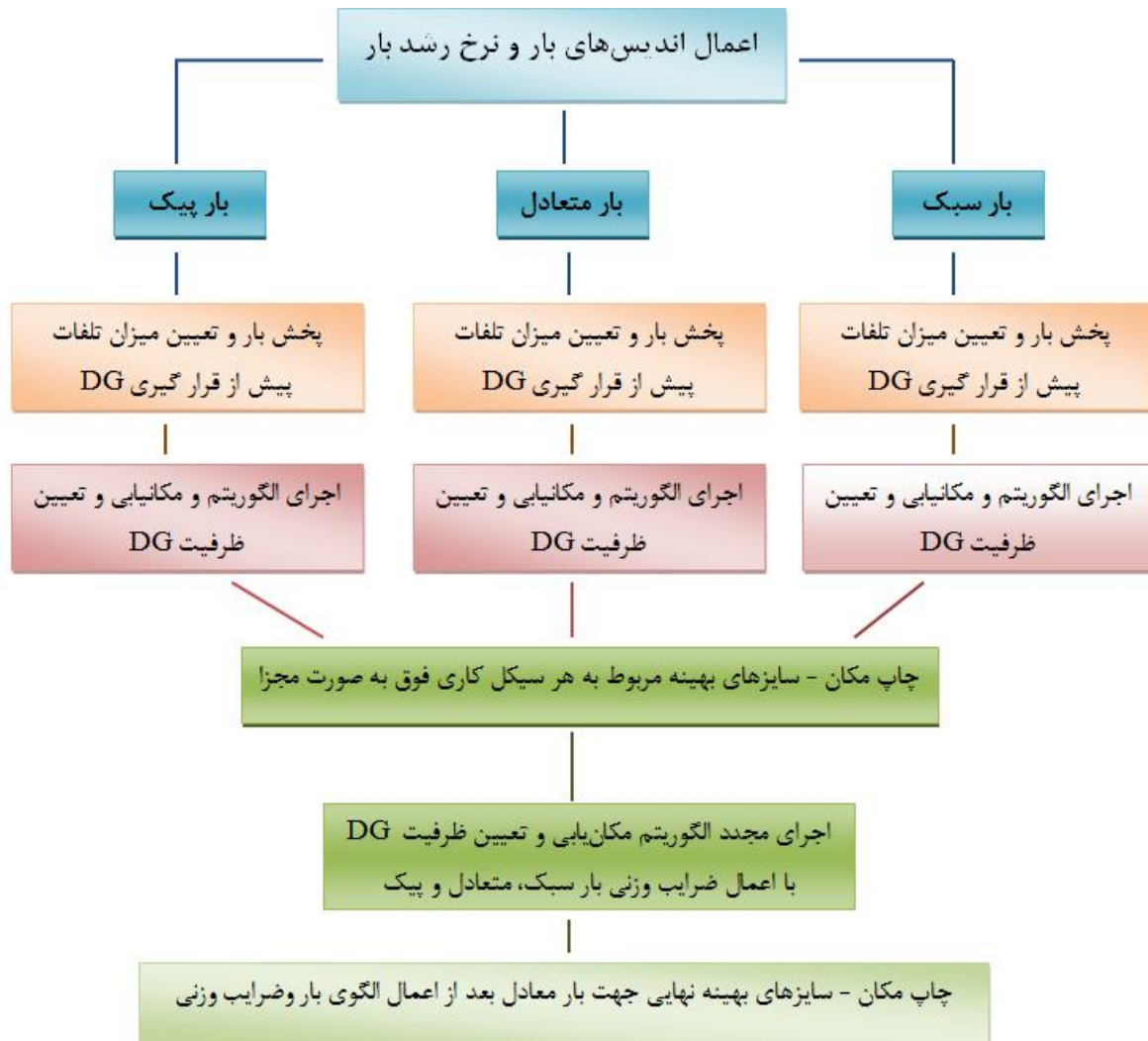
مشاهده می شود که با افزایش تعداد DGها، میزان کاهش انرژی تلف شده افزایش می یابد اما همانطور که قبلاً اشاره شده بود، الگوریتم با آنکه برای بیش از 3 واحد DG برنامه ریزی شده است اما بیشتر از سه واحد DG پیشنهاد نمی دهد.

4-5- مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن الگوی بار

در این بخش به مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با توجه به الگوی بار پرداخته خواهد شد.

روند اجرای الگوریتم معرفی شده در این بخش به این صورت خواهد بود که ابتدا به صورت مجزا الگوریتم برای هریک از شرایط بارگذاری بار سبک، متعادل و پیک اجرا خواهد شد و در نهایت جهت رسیدن به یک جواب نهایی که هر سه شرط مذکور را برآورده کند، با استفاده از تعریف ضرایب وزنی مناسب به یافتن مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده پرداخته می شود.

روند اجرای الگوریتم پیشنهادی در شکل 5-5 نمایش داده شده است.

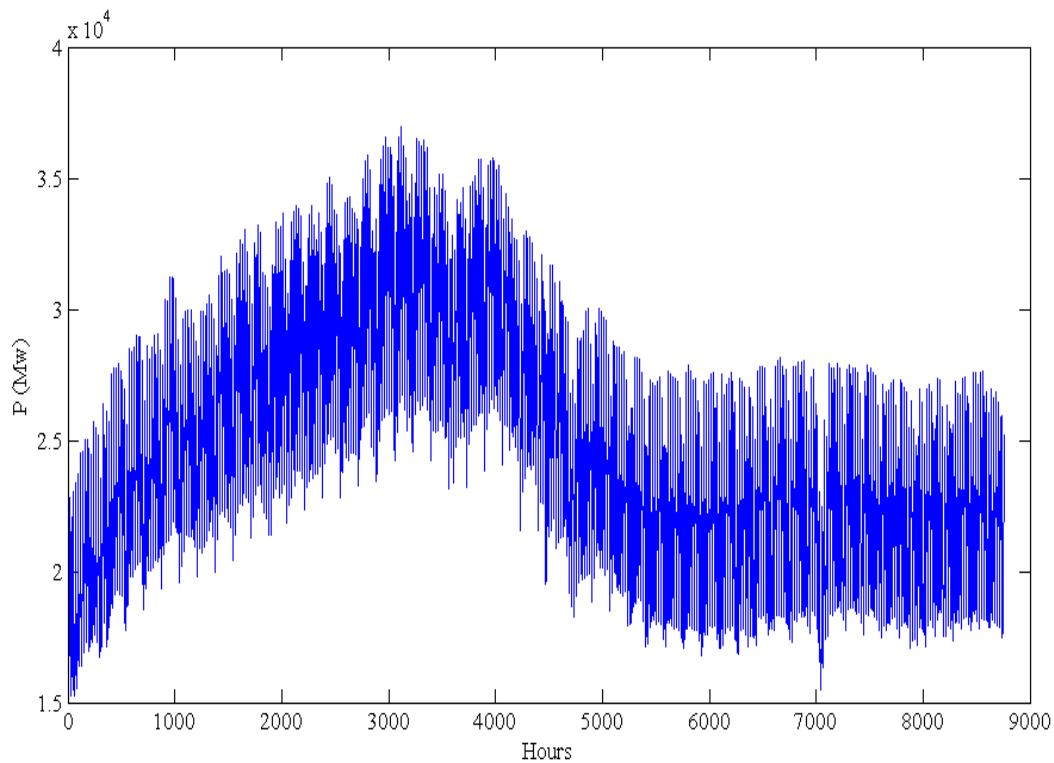


شکل 5-5 الگوریتم مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه DG با در نظر گرفتن الگوی بار

5-4-1- محاسبه اندیس‌های بار جهت استفاده در شبکه مورد مطالعه

در فصل گذشته نحوه محاسبه اندیس‌های بار برای یک بازه زمانی یک ماهه مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش ضمن معرفی کردن الگوی بار سالانه شبکه سراسری ایران، به استخراج اندیس‌های بار و استفاده از آن‌ها جهت حل مسئله مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده پرداخته می‌شود.

الگوی مصرف سالیانه^۱ کشور ایران مطابق شکل 5-6 می باشد.



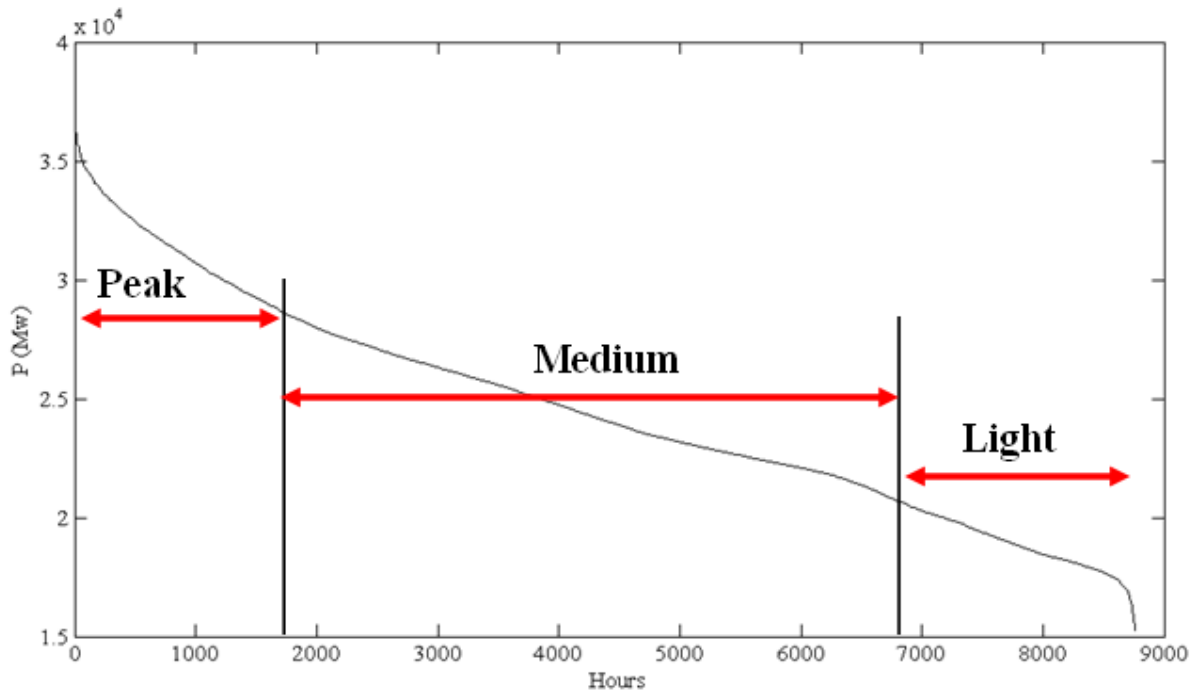
شکل 5-6 الگوی مصرف یک سال کاری

همانطور که در شکل 5-6 مشاهده می شود الگوی بار نسبت به زمان متغیر می باشد. با بررسی شکل 5-6 مشخص می شود که فصل تابستان با میانگین توان مصرف شده $29591/7 \text{ Mw}$ در مقام نخست مصرف، سپس فصل بهار با میانگین توان صرف شده $24383/8 \text{ Mw}$ در رتبه دوم و فصل پاییز با میانگین توان مصرف شده $22461/2 \text{ Mw}$ در رتبه سوم مصرف و در نهایت فصل زمستان با میانگین توان صرف شده $21648/2 \text{ Mw}$ کمترین میزان میانگین توان تلف شده را به خود اختصاص می دهند.

مطابق آنچه در فصل 4 صورت گرفت اگر منحنی شکل 5-6 را به ترتیب از بیشترین میزان مصرف تا کمترین مقدار مرتب کنیم نمودار 5-7 حاصل می شود. در بخش بعدی با استفاده از این نمودار، به محاسبه اندیس های بار پرداخته می شود.

^۱ - سال ۱۳۸۷

همانطور که در شکل 5-7 دیده می‌شود، می‌توان سیکل کاری سالانه را به سه سیکل کاری بار سبک، متعادل و پیک تقسیم کرد. از طرفی با توجه به این شکل می‌توان حدس زد که تقریباً 20 درصد از مواقع سال میزان مصرف به صورت پیک، 20 درصد به صورت سبک و 60 درصد از ساعات سال نیز مصرف به صورت متعادل می‌باشد که در شکل 5-7 نمایش داده شده است.



شکل 5-7 الگوی مصرف یکسال کاری به صورت مرتب شده از بیشترین تا کمترین میزان مصرف

در ادامه همانند آنچه در فصل 4 گفته شد، به محاسبه اندیس‌های بار پرداخته می‌شود.

با توجه به شکل 5-7 برای 20 درصد مقدار مصرف پیک شاخص متوسط الگوی بار پیک شبکه یا همان سطح زیر منحنی در قسمت پیک را بدست می‌آوریم که این مقدار برابر با P_n می‌باشد. به طور مشابه شاخص‌های متوسط الگوی بار برای بار متعادل و پیک نیز برابر با مقادیر زیر می‌باشد:

I_n : شاخص متوسط الگوی بار سبک شبکه که معادل $18694/26 \text{ Mw}$ می‌باشد.

M_n : شاخص متوسط الگوی بار متعادل شبکه که معادل $24299/3 \text{ Mw}$ می‌باشد.

P_n : شاخص متوسط الگوی بار پیک شبکه که معادل $31365/17Mw$ می‌باشد.

بنابراین مطابق با روابط (26-4) تا (28-4) عنوان شده در فصل 4، اندیس‌های بار سبک، متعادل و پیک شبکه به صورت زیر بدست می‌آید:

$$L_{LF} \text{ یا اندیس بار سبک} = 0/7693$$

$$M_{LF} \text{ یا اندیس بار متعادل} = 1$$

$$P_{LF} \text{ یا اندیس بار پیک} = 1/2907$$

با استفاده از شاخص‌های بار بدست آمده از روابط (26-4) تا (28-4) می‌توان گفت که میانگین بار پیک، سبک و متعادل هر باس به ترتیب با استفاده از روابط (29-4) تا (31-4) بدست خواهد آمد. که نحوه استفاده از این روابط و اندیس‌ها در فصل 4 به طور کامل تشریح گردیده است.

در این پروژه رشد بار نیز در نظر گرفته شده است. همانطور که در فصل 4 بیان شد با استفاده از رابطه (4-32) می‌توان رشد بار را نیز در نظر گرفت. بنابراین با فرض رشد سالانه 4 درصد و در نظر گرفتن بازه زمانی پنج ساله، اندیس‌های بار به صورت زیر اصلاح می‌شوند:

$$LG = K_0(1 + \delta)^n \quad \text{یادآوری: (32-4)}$$

پس با فرض $\delta = 0/04$ و $n = 5$ ، رابطه (32-4) به فرم زیر در می‌آید:

$$LG = K_0(1 + \delta)^n = 1/21K_0$$

به عبارتی جهت در نظر گرفتن نرخ رشد بار، عدد $1/21$ در اندیس‌های بار سبک، متعادل و پیک ضرب خواهد شد.

5-4-2- مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شرایط بار سبک

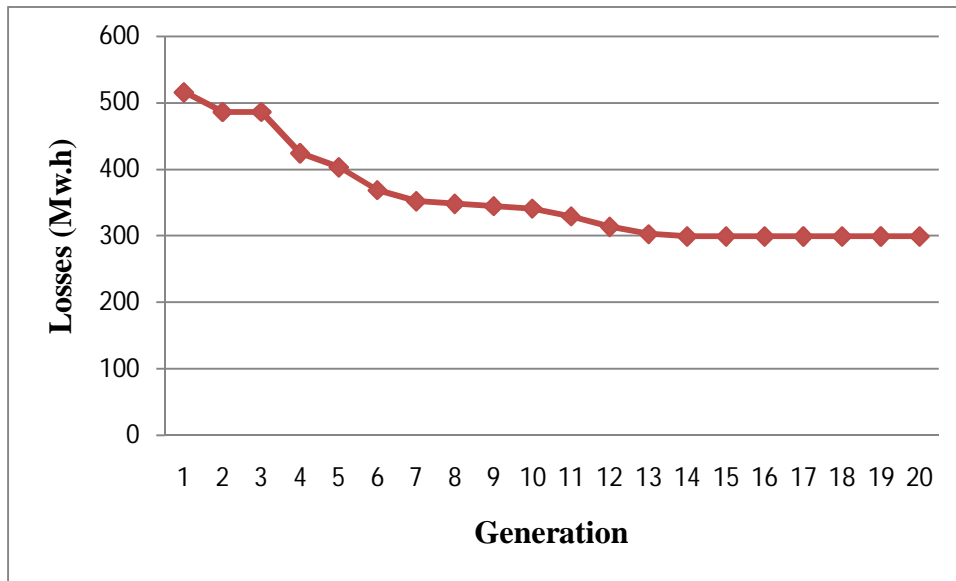
در این بخش مطابق آنچه در شکل 5-5 نشان داده شد، ابتدا با اعمال اندیس بار سبک و مدت زمان استمرار بار سبک که معادل 1752 ساعت می باشد، با نظر گرفتن نرخ رشد یاد شده وضعیت انرژی تلف شده کل شبکه در شرایط بار سبک بدست می آید و مشخص می شود که میزان انرژی تلف شده کل سیستم در این حالت پیش از قرار گیری DG برابر $515/8 \text{ Mw.h}$ می باشد که از اجرای برنامه پخش بار استخراج شده است.

پس از جایابی و تعیین ظرفیت مناسب DG میزان کاهش تلفات بررسی خواهد شد، نتایج شبیه سازی در جدول 5-6 آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود در این وضعیت، قرار گرفتن دو واحد DG در باس های 12 و 9 با ظرفیت کل $2225/393 \text{ Kw}$ و $1107/962 \text{ Kvar}$ باعث کاهش $41/94$ درصدی انرژی تلف شده کل شده است.

جدول 5-6 مکان و ظرفیت پیشنهادی و میزان کاهش تلفات در شرایط بار سبک

شماره باس	ظرفیت DG	
	$P_G \text{ (Kw)}$	$Q_G \text{ (Kvar)}$
12	1372/054	645/832
9	753/339	462/13
ظرفیت نهایی	2125/393	1107/962
انرژی تلف شده کل بعد از نصب DG (Mw.h)	299/44	

نحوه همگرایی جوابها در شکل 5-8 آورده شده است.



شکل 5-8 نرخ کاهش تلفات کل برای 100 ذره و 20 تکرار در شرایط بار سبک

نمودار شکل 5-10 برای تعداد 100 ذره و 20 نسل بدست آمده است. همانطور که در شکل مشاهده می-شود از تکرار 14 به بعد جوابها همگرا شده‌اند.

3-4-5 مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شرایط بار متعادل

همانند بخش قبلی در این بخش نیز مطابق آنچه در شکل 5-5 نشان داده شد، ابتدا با اعمال اندیس بار متعادل، مدت زمان استمرار بار متعادل که 5256 ساعت می‌باشد و نرخ رشد بدست آمده، وضعیت تلفات شبکه در شرایط بار متعادل بدست می‌آید. میزان انرژی تلف شده کل سیستم در این حالت برابر با 1319/547 Mw.h و 2595/11 می‌باشد که از اجرای برنامه پخش بار استخراج شده است.

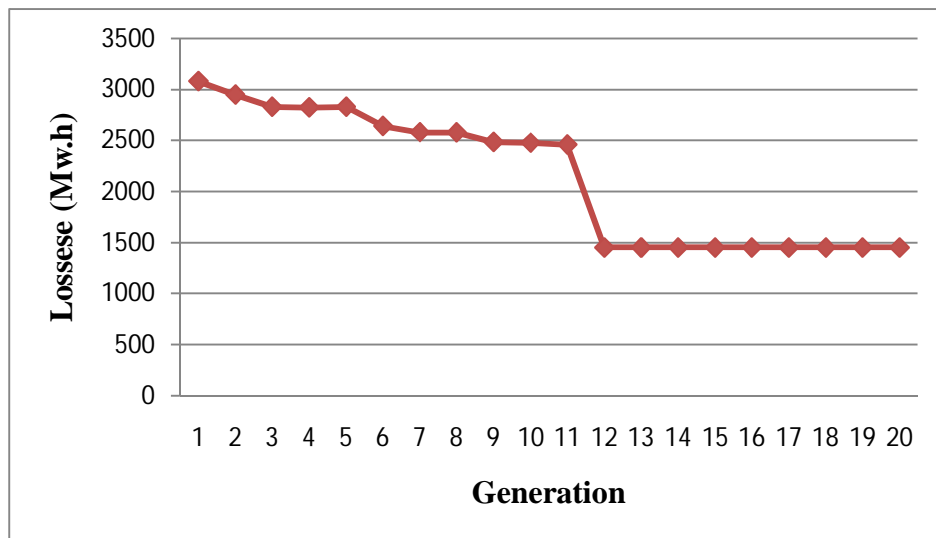
پس از جایابی و تعیین ظرفیت مناسب DG میزان کاهش تلفات بررسی خواهد شد، نتایج شبیه سازی در جدول 5-7 آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در این وضعیت، الگوریتم استفاده از سه واحد DG را پیشنهاد می‌دهد که قرار گرفتن این واحدهای DG با ظرفیت‌های 1319/547 Kw و 672/91Kvar در باس شماره 13 و ظرفیت‌های 1461/892 Kw و 862/61 Kvar در باس شماره 12 و

ظرفیت‌های 1952/311 Kw و 1158/17 Kvar در باس شماره 7 باعث کاهش 52/97 درصدی انرژی تلف شده کل شده است.

جدول 7-5 مکان و ظرفیت پیشنهادی DG و میزان کاهش تلفات در شرایط بار متعادل

شماره باس	ظرفیت DG	
	P _G (Kw)	Q _G (Kvar)
13	1319/547	672/91
12	1461/892	862/61
7	1952/311	1158/17
ظرفیت نهایی	4733/75	2693/69
انرژی تلف شده کل بعد از نصب DG (Mw.h)	1220/24	

نحوه همگرایی جوابها برای جمعیت 100 ذره و 20 تکرار در شکل 9-5 نمایش داده شده است.



شکل 9-5 نرخ کاهش تلفات کل برای 100 ذره و 20 تکرار در شرایط بار متعادل

همانطور که در شکل 9-5 نمایش داده شده است، از تکرار 12 به بعد الگوریتم همگرا شده است.

5-4-4- مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شرایط بار پیک

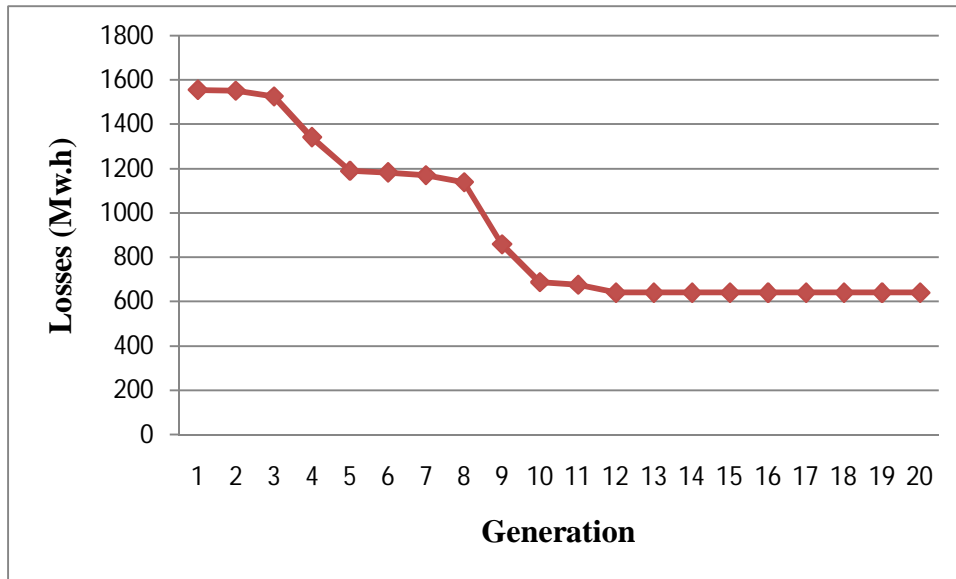
در این بخش مطابق آنچه در شکل 5-5 نشان داده شد، ابتدا با اعمال اندیس بار پیک با در نظر گرفتن نرخ رشد بدست آمده در بخش‌های قبل (ضریبی معادل 1/5617) و اعمال مدت زمان استمرار بار پیک (1752 ساعت) وضعیت تلفات شبکه در شرایط بار پیک بدست می‌آید و مشخص می‌شود که میزان انرژی تلف شده کل سیستم در این حالت پیش از قرار گیری DG به ترتیب برابر 1555/18 Mw.h می‌باشد که از اجرای برنامه پخش بار استخراج شده است.

پس از جایابی و تعیین ظرفیت مناسب DG میزان کاهش تلفات بررسی خواهد شد، نتایج شبیه سازی در جدول 8-5 آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در این وضعیت، الگوریتم استفاده از سه واحد DG را پیشنهاد می‌دهد که قرار گرفتن این واحدهای DG با ظرفیت‌های 1855/42 Kw و 864/33Kvar در باس شماره 12 و ظرفیت‌های 1477/79 Kw و 783/72 Kvar در باس شماره 9 و ظرفیت‌های 1119/37 و 712/72 Kvar در باس شماره 9 باعث کاهش 58/86 درصدی کل تلفات شده است.

جدول 8-5 مکان و ظرفیت پیشنهادی DG و میزان کاهش تلفات در شرایط بار پیک

شماره باس	ظرفیت DG	
	P _G (Kw)	Q _G (Kvar)
12	1855/42	864/33
9	1447/79	783/82
5	1119/37	712/72
ظرفیت نهایی	4422/58	2360/87
انرژی تلف شده کل بعد از نصب DG (Mw.h)	640/68	

نحوه همگرایی جوابها برای جمعیت 100 ذره و 20 تکرار در شکل 5-10 نمایش داده شده است.



شکل 5-10 نرخ کاهش تلفات کل برای 100 ذره و 20 تکرار در شرایط بار پیک

5-4-5- مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شرایط بار وزنی

معادل¹

در بخشهای قبلی به تعیین مکان و ظرفیت مناسب منابع تولید پراکنده در هر یک از شرایط بار گذاری سبک، متعادل و پیک به صورت مجزا پرداخته شده بود و همانطور که مشاهده شده، مکان نصب و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با تغییر شرایط بارگذاری، تغییر می‌کرد. در این بخش جهت اجتناب از پیشنهاد چندین جواب مختلف و رسیدن به یک جواب بهینه سراسری با تعریف ضرایب وزنی مناسب به مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن اثر همزمان سه حالت بارگذاری سبک، متعادل و پیک پرداخته می‌شود.

همانطور که در بخشهای قبلی اشاره شد ضرایب وزنی 0/2، 0/6 و 0/2 به ترتیب برای شرایط بار سبک، متعادل و پیک در نظر گرفته می‌شود.

¹ - Equivalent Weighted Load

پس از جابجایی و تعیین ظرفیت مناسب DG میزان کاهش انرژی تلف شده بررسی خواهد شد، نتایج شبیه سازی در جدول 9-5 آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود در این وضعیت، الگوریتم استفاده از سه واحد DG را پیشنهاد می دهد که این واحدهای DG با ظرفیت های $1371/41 \text{ Kw}$ و $793/42 \text{ Kvar}$ در باس شماره 12 و ظرفیت های $1148/38 \text{ Kw}$ و $834/21 \text{ Kvar}$ در باس شماره 9 و ظرفیت های $1592/53 \text{ Kw}$ و $993/68 \text{ Kvar}$ در باس شماره 7 می باشند.

جدول 9-5 مکان و ظرفیت پیشنهادی DG و میزان کاهش تلفات در شرایط بار سبک، متعادل و پیک

شماره باس	ظرفیت DG	
	$P_G \text{ (Kw)}$	$Q_G \text{ (Kvar)}$
12	1371/41	773/42
9	1148/38	834/22
7	1592/53	993/68
ظرفیت نهایی	4112/32	2601/32
انرژی تلف شده کل بعد از نصب DG (Mw.h)	551/21	

همانطور که در جدول 9-5 مشاهده می شود انرژی تلف شده کل در این حالت $551/21 \text{ Mw.h}$ می باشد در این حالت جهت مشخص شدن درصد کاهش تلفات، میزان تلفات کل بدست آمده در این بخش را با نتایج سه بخش قبلی مقایسه می کنیم که در بخش تحلیل نتایج به آن پرداخته شده است.

5-5- تحلیل نتایج

در این قسمت به مقایسه شرایط بارگذاری واقعی بر روی انواع طرح های انجام شده پرداخته خواهد شد. براین اساس برای انواع طرح های انجام شده، در شرایط بار سبک، متعادل و پیک، شرایط واقعی اعمال و

انرژی تلف شده با در نظر گرفتن ضرایب وزنی محاسبه خواهد شد. جدول 5-10 خلاصه این نتایج را نشان می دهد. سطر و ستون آخر مبنای مقایسه بررسی انواع طرح ها به ازای شرایط بارگذاری واقعی می باشد.

جدول 5-10 مقایسه میزان انرژی تلف شده در روش پیشنهادی با سه سیکل کاری

انرژی تلف شده کل با در نظر گرفتن ضرایب وزنی (Mw.h)	انرژی تلف شده بار سبک (Mw.h)	انرژی تلف شده بار متعادل (Mw.h)	انرژی تلف شده بار پیک (Mw.h)	نتایج پیاده سازی الگوریتم بر روی سیکل های کاری سیکل کاری
612/166	299/44	546/74	1121/17	بار سبک
1172/844	600/07	1220/24	1603/43	بار متعادل
1945/142	1252/57	2610/82	640/68	بار پیک
551/21	305/24	419/71	1191/98	بار معادل وزنی

همانطور که در جدول 5-10 مشاهده می شود، انرژی تلف شده در حالت های بار سبک، متعادل و پیک به ترتیب برابر با 299/44(Mw.h)، 1220/24(Mw.h) و 640/68 (Mw.h) می باشد. این جدول بیان می کند که به عنوان مثال اگر نتایج شبیه سازی در شرایط بار سبک را بر روی سیکل کاری بار پیک پیاده سازی کنیم، میزان انرژی تلف شده 1121/17 Mw.h و اگر بار دیگر نتایج شبیه سازی در شرایط بار سبک را بر روی سیکل کاری بار متعادل پیاده سازی کنیم، میزان انرژی تلف شده 546/74 Mw.h خواهد بود از طرفی میزان انرژی تلف شده در هر سیکل کاری با در نظر گرفتن ضرایب وزنی نیز در ستون آخر نمایش داده شده است.

همانطور که نتایج جدول 5-10 نشان می دهد، استفاده از طرح پیشنهادی باعث ایجاد کمترین سطح انرژی تلف شده (551/21Mw.h) در سیستم شده است.

5-6- جمع بندی

در این فصل الگوریتم ارائه شده در فصل قبل جهت تعیین مکان و ظرفیت بهینه چندین واحد تولید پراکنده برای حالت‌های مختلف بدون در نظر گرفتن الگوی بار و در نظر گرفتن الگوی بار بر روی یک سیستم نمونه پیاده سازی شد.

همان طور که پیشبینی شده بود، نتایج نشان داد که نتیجه مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده به نحوه الگوی بار سیستم و همچنین تعداد واحدهای تولید پراکنده وابسته می‌باشد. به طوری که الگوریتم خروجی‌های متفاوتی برای هر یک از سیکل‌های کاری بار سبک، بار متعادل و بار پیک پیشنهاد داد. در نهایت جهت رفع این مشکل و رسیدن به جوابی که هر یک از سه سیکل فوق را به صورت همزمان در نظر گیرد، با تعریف ضرایب وزنی مناسب جواب‌های بهینه نهایی استخراج گردید.

مراجع:

[1] شرکت مدیریت شبکه برق ایران (IGMC)

فصل ششم

نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

6-1- نتیجه گیری

همانطور که در فصل‌های گذشته این پژوهش بیان شد، استفاده از منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع مزایای بسیاری دارد. اما عدم توجه به ظرفیت و مکان مناسب نصب آنها نه تنها از سطح مشکلات سیستم نمی‌کاهد بلکه باعث ایجاد مشکلات فراوانی نیز می‌شود. نکته مهم دیگری که در مسئله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده باید مورد توجه قرار گیرد، الگوی بار سیستم می‌باشد بنابراین در پژوهش حاضر، جایابی و تعیین ظرفیت بهینه واحد تولید پراکنده با توجه به الگوی بار متغیر با زمان صورت گرفته است. تابع هدف معرفی شده کاهش انرژی تلف شده در سیکل‌های مختلف کاری را برآورد ساخته است.

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات به جایابی و تعیین ظرفیت بهینه واحد تولید پراکنده با هدف کاهش انرژی تلف شده جهت تامین بخشی از بار یک فیدر توزیع در طول یک سال کاری با در نظر گرفتن نرخ رشد بار پرداخته شد.

الگوریتم پیشنهادی نشان داد که جایابی و تعیین ظرفیت واحد تولید پراکنده تا چه اندازه به میزان بار مصرفی سیستم در طی بازه‌های زمانی مختلف وابسته بوده و این نشان از اهمیت توجه به نحوه بارگذاری سیستم دارد. چراکه پرداختن به حل مسئله جایابی و تعیین سائز منابع تولید پراکنده بدون توجه به الگوی بار سیستم ممکن است طراح را با گمراهی مواجه کند. به عنوان مثال اگر مبنای تصمیم‌گیری بار سبک باشد، در مواقعی که بار پیک است، ممکن است که سیستم با کاهش ظرفیت مواجه شود به عبارتی در این حالت واحدهای تولید پراکنده ممکن است که نتوانند بار مورد نیاز سیستم را تامین کنند. و یا اگر مبنای تصمیم‌گیری بار پیک باشد ممکن است در مواقعی که بار سبک باشد، تامین توان بیش از میزان مصرف باشد که خود باعث مشکلاتی از جمله مسائل اقتصادی خواهد شد. جهت حل این معضل و رسیدن به یک جواب بهینه سراسری لازم بود تا یک هماهنگی مهندسی دقیق بین جواب‌های مختلف بدست آمده صورت گیرد. لذا با استفاده از ضرایب وزنی مختلف

و توجه به میزان اهمیت جوابهای مختلف در نهایت یک جواب بهینه سراسری بدست آمد و در نهایت مشاهد گردید که استفاده از سه واحد DG بهترین نتیجه از لحاظ میزان کاهش تلفات را در بر خواهد داشت.

6-2- پیشنهادات

در ادامه این پژوهش کارهای تکمیلی دیگری به شرح زیر پیشنهاد می شود:

- در نظر گرفتن میزان سرمایه گذاری اولیه و هزینه تولید توان اکتیو و راکتیو در تابع هدف و مینیمم سازی آن می تواند از نکاتی باشد که مورد توجه قرار گیرد.
- استفاده همزمان از چندین الگوریتم بهینه سازی و مقایسه نتایج خروجی و معرفی بهترین الگوریتم پیشنهادی جهت اعتبار بخشی به جوابهای بدست آمده.
- در نظر گرفتن همزمان اهداف دیگری مثل بهبود قابلیت اطمینان در کنار هدف کاهش تلفات.

ضمیمه : واژگان

فهرست واژگان انگلیسی و معادل های فارسی آن ها که در متن از آنها استفاده شده است

واژه انگلیسی	معادل فارسی
Ant colony optimization(ACO)	بهینه سازی کلونی مورچگان
BEWAG	مرکز خدمات عمومی
Combined Heat & power Generation/Cogeneration	تولید همزمان برق و حرارت و یاسرما
Crossover	آمیزش یا تقاطع
Crossover Rate	نرخ آمیزش
Crossover Probability	احتمال آمیزش
Decentralized generation	تولید نا متمرکز
Dispersed generation	تولید توزیع شده
Distributed generation	تولید پراکنده
Deterministic	قطعی
Elitism	انتخاب نخبگان
Electrical power research Inst (EPRI)	انجمن علمی تحقیقاتی توان الکتریکی
Embedded generation	تولید جاسازی شده
Fitness Value	مقدار برازندگی
Fuel Cell(FC)	پیل های سوختی
Generation	نسل
Genetic algorithm(GA)	الگوریتم ژنتیک
Heuristic	اکتشافی
Linear programming (LP)	برنامه ریزی خطی
Loss of Diversity	فقدان تنوع
Meta heuristic	فرا اکتشافی
Nacelle	کله توربین
Objective function	تابع هدف

Order - Based	بر اساس مرتبه
Particle swarm optimization(PSO)	اجتماع ذرات معلق
Peak shaving	پیک سایه
Photovoltaic(PV)	فوتوولتائیک
Population	جمعیت
Premature Convergence	همگرایی زودرس
Search space	راه حل های ممکن
simulated annealing (SA)	شبیه سازی گداختگی فلزات
Standalone	مستقل از شبکه
States	پارامترهای ورودی
Tabu search(TS)	جستجوی ممنوع

Abstract:

Reducing the dissipated electric energy is one of the most important issues in the distribution electricity network. The electric companies try to decrease the dissipated electric energy to reduce the cost and increase the profit of generating the electric energy. Recently, the use of the distributed generation (DG) has been increased. One of the advantages of utilizing DG is reducing the dissipated electric energy. The DGs can reduce the dissipated electric energy significantly, if their size and location are chosen appropriately. In this thesis, the optimal location and size of the DGs are obtained considering the loading pattern of the network in order to reduce losses. The objective function of the proposed method is optimized using the method of particle swarm optimization (PSO). In the proposed method, the arranged load curve is obtained using the load curve of the network. Then, the arranged curve is divided into three parts: light, normal and peak load. For each part, the average power and time index is calculated and then used in the objective function of the proposed method. To make realistic the case, the load growth is considered in the objective function. The proposed method is then applied to a part of real distribution network and load and number, size of and location of DGs are obtained using PSO and considering the load growth. The loading pattern of buses at the load points is assumed to be similar to the loading pattern of the network. Simulation results show the proposed method based on weighted loading pattern has less dissipated electric energy compared to using other loading pattern, i.e. light, normal or peak loading pattern.



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotics Engineering

**Determination of Location and Size of Distributed
Generation Resources in Distribution Systems in order
to Reduce losses using Particle Swarm Algorithm**

Sana Sadeghi

Supervisor:
Dr.Mahdi Banejad

Jan 2011