به نام خدا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان

طراحی شبکه توزیع در حضور تولید پراکنده به وسیلهٔ الگوریتم‌های هوشمند با در نظر گرفتن قیود فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی

نگارش

علی جهانبانی اردکانی

استاد راهنما:

دکتر مهرداد عابدی

استاد مشاور:

دکتر سید حسین حسینیان

فروردین ۱۳۸۷

بسمه تعالي

تاريخ : .....
شماره : .....

فرم اطلاعات پايان نامه
كارشناسي ارشد و دكترا

دانشگاه صنعتي اميركبير
(پلي تكنيک تهران)

معاونت پژوهشي
فرم پروژه تحصيلات تكميلي ۷

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگي : علي جهانباني اردكاني ■ دانشجوي آزاد ☐ بورسيه ☐ معادل

شماره دانشجويي: ۸۴۱۲۳۰۶۲ دانشكده : برق رشته تحصيلي: مديريت انرژي الكتريكي

نام و نام خانودگي استاد راهنما : دكتر مهرداد عابدي

عنوان به فارسي: طراحي بهينة شبكة توزيع در حضور توليد پراكنده به وسيلة الگوريتم‌هاي هوشمند با در نظر گرفتن قيود فني، اقتصادي و زيست‌محيطي

عنوان به انگليسي:
Distribution Network Planning using Intelligent Methods with Association of Distributed Generation.

نوع پروژه: كارشناسي ارشد ☐ **كاربردي** ☐ **بنيادي** ☐ **توسعه اي** ■ **نظري**

تاريخ شروع: ۱۳۸۵/۱۱/۱ **تاريخ خاتمه :** ۱۳۸۷/۰۱/۲۴ **تعداد واحد:** ۶

سازمان تامين كننده اعتبار :

واژه هاي كليدي به فارسي : طراحي، شبكة توزيع، توليد پراكنده، الگوريتم ژنتيك، الگوريتم تجمعي ذرات.

واژه هاي كليدي به انگليسي :
Designing, Distribution Networks, Distributed Generations, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization.

نظرها و پيشنهادها به منظور بهبود فعاليت هاي پژوهشي دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما : **تاريخ: ۱۳۸۷/۰۳/۰۶**

نسخه ۱: معاونت پژوهشي
نسخه ۲ : كتابخانه و به انضمام دو جلد پايان نامه به منظور تسويه حساب با كتابخانه و مركز اسنادومدارک علمي

چکیده پایان نامه :

در این پروژه با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند به طراحی شبکهٔ توزیع و جایابی واحدهای تولید پراکنده پرداخته می‌شود. محدودیت‌های در نظر گرفته شده شامل محدودیت‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی است. محدودیت‌های فنی در نظر گرفته شده شامل محدودیت ولتاژ، محدودیت جریان خطوط، محدودیت سطح اتصال کوتاه شین‌ها، محدودیت تولید توان اکتیو و راکتیو هر یک از واحدهای تولید پراکنده و محدودیت جهت شارش توان از سطح بالادست به شبکهٔ پایین‌دست می‌باشد. در بخش اقتصادی، هزینهٔ احداث خطوط، هزینهٔ نصب فیوزها، هزینهٔ اولیهٔ واحدهای تولید پراکنده، هزینهٔ تولید توان اکتیو و راکتیو در واحدهای تولید پراکنده، هزینهٔ نصب خازن در کنار واحدهای تولید پراکنده در صورت نیاز و هزینهٔ خرید توان اکتیو از شبکهٔ بالا دست می‌باشد. در محاسبهٔ هزینهٔ واحدهای تولید پراکنده، تعداد ساعات کاری هر واحد محاسبه می‌شود. همچنین محدودیت بیشینهٔ توان راکتیو قابل خریداری از شبکهٔ بالا دست نیز لحاظ شده است. به دلیل مشکلات زیست‌محیطی امکان نصب واحدهای تولید پراکنده در تمامی شین‌ها نیست. در این پروژه محدودیت‌های زیست‌محیطی نیز لحاظ شده است. در هر شین یک نوع تولید پراکنده قابل نصب می‌باشد و در بعضی از شین‌ها امکان نصب تولید پراکنده نیست.

الگوریتم‌های به کار رفته در این پروژه الگوریتم ژنتیک[1] و الگوریتم تجمعی ذرات[2] می‌باشد. الگوریتم ژنتیک به دلیل ماهیت دودویی در بخش طراحی و الگوریتم تجمعی ذرات به دلیل ماهیت پیوسته در بخش جایابی و اندازه‌یابی واحدهای تولید پراکنده به کار گرفته شده است. در بخش طراحی همزمان شبکهٔ توزیع و جایابی و اندازه‌یابی واحدهای تولید پراکنده، از ترکیب الگوریتم ژنتیک دودویی و پیوسته استفاده شده است.

در مقدمه به معرفی تولید پراکنده پرداخته شده است. سپس در فصل دوم، تعریفی از شبکه‌های توزیع ارائه شده است. در فصل بعد به ضرورت مسألهٔ جایابی و اندازه‌یابی واحدهای تولید پراکنده و همچنین نحوهٔ مدل کردن این واحدها در مطالعات انجام گرفته پرداخته شده است. در همین فصل کارهای انجام شده مورد بررسی قرار می‌گیرد و روش‌های بهینه‌سازی موجود معرفی می‌شود. در فصل چهارم جایابی واحدهای تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم تجمعی ذرات انجام شده است. در فصول بعدی، به طراحی شبکهٔ توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک و همچنین طراحی همزمان شبکهٔ توزیع و جایابی و اندازه‌یابی واحدهای تولید پراکنده با استفاده از روش ترکیبی پیشنهادی انجام شده است. در انتها نتایج ارائه شده مورد بحث قرار گرفته شده است و پیشنهادهایی برای کارهای آینده ارائه شده است.

[1] Genetic Algorithm (GA)
[2] Particle Swarm Optimization (PSO)

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

با افزایش تقاضا و مصرف انرژی الکتریکی ، تولید آن نیز بایستی افزایش یابد. یکی از روش‌های افزایش ظرفیت تولید، استفاده از نیروگاه‌های متمرکز[1] می‌باشد.
امروزه با پیشرفت تکنولوژی، قطعات نیمه هادی کاربرد وسیعی در صنعت برق پیدا کرده‌اند. با بوجود آمدن این توانائی‌ها و ساخت رابط‌ها و مبدل‌های الکترونیک قدرت، و همچنین بوجود آمدن تمایلات اقتصادی و زیست‌محیطی گزینه‌ای دیگر جهت افزایش ظرفیت تولید فراروی مهندسین شبکه و سیستم‌های قدرت قرار گرفته است که همان تولید نامتمرکز یا تولید پراکنده[2] می‌باشد.
تاکنون تعاریف زیادی برای تولید پراکنده ارائه شده است که برخی از آنها جامع و پوشا و برخی دیگر دارای نواقصی می‌باشند. این شیوه تولید انرژی دارای مزایای متعددی می‌باشد که البته در کنار مزیت‌های متعدد، باعث بوجود آمدن پاره‌ای معضلات و مشکلات نیز می‌گردد. عمده مسائلی که باعث استفاده از این شیوهٔ تولید شده است عبارتند از مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و بهبود کیفیت برق‌رسانی و تأمین انرژی الکتریکی مشترکین.

۱-۲ تعریف تولید پراکنده

اکثر تعاریفی که برای تولید پراکنده مطرح شده‌اند بر پایه ظرفیت و محل اتصال منبع تولید به شبکه استوار می‌باشند.
یک تعریف کلی که می‌توان برای تولید پراکنده ارائه کرد به این صورت می‌باشد:

منبع تولید توان با ظرفیت محدود.

ولی این تعریف مشخص نمی‌کند که محدودیت ظرفیت تولید چقدر است و یا این محدودیت از چه ناشی می‌شود.
طبق یک نظر سنجی که CIRED از کشورهای مختلف در سال ۱۹۹۹ به عمل آورده است برخی از کشورها تعاریف خود را بر مبنای سطوح ولتاژ ارائه کرده‌اند و پاره‌ای دیگر تولید پراکنده را بر اساس یک سری مشخصات اساسی مثل استفاده از انرژی‌های نو، تولید همزمان گرما و برق (CHP)، نداشتن دیسپاچینگ و ... تعریف کرده‌اند [۱] و [۲] (جدول ۱-۱).
EPCOR تعریف مشابه دیگری از تولید پراکنده دارد:

تولید پراکنده عموماً به منابع تولید انرژی الکتریکی با ظرفیت کم -نوعاً بین1kW تا 50MW- که در مکان نزدیک مصرف‌کننده قرار دارد یا به شبکه توزیع متصل می‌گردد، اتلاق می‌شود[۳].

[1] – Bulk Power Plant
[2] - Distributed Generation (DG)

جدول ۱-۱ تعریف کشورهای مختلف از تولید پراکنده

کشور	تعریف ارائه شده
استرالیا	به تولیداتی اطلاق می‌شود که به شبکه توزیع یا بار وصل می‌شوند.
اتریش	تولیداتی با حداکثر توان تولیدی 10 MW که به شبکه فشار متوسط وصل می‌شوند.
باژیک	تولیداتی که تحت نظارت دیسپاچینگ مرکزی و سراسری نباشند.
جمهوری چک	تولیدات با ظرفیت محدود که به شبکه با حداکثر ولتاژ 110 kV متصل می‌شوند.
دانمارک	همانند بلژیک
فرانسه	به تولیداتی که به شبکه توزیع یا باز متصل می‌شوند و سطح ولتاژ آنها در رده‌های ولتاژ شبکه‌های توزیع می‌باشد، گفته می‌شود.
آلمان	تعریف واضحی ارائه نشده است. بطور کلی به تولیداتی که با انرژیهای تو انجام می‌شوند، گفته می‌شود.
یونان	تولیداتی که به شبکه‌های توزیع متصل می‌گردند و دیسپاچینگ مرکزی ندارند.
هند	منابع تجدیدپذیر انرزی که به شبکه دارای حداکثر ولتاژ 11 kV وصل می‌شوند.
ایتالیا	تولیداتی که به شبکه‌های توزیع تا سطح ولتاژ حداکثر 150 kV وصل می‌شوند.
پرتقال	تولیدات با حداکثر ظرفیت 10 MW (بجز CHP) که محدودیت ولتاژی هم ندارند.
اسپانیا	تولیداتی که به شبکه توزیع وصل می‌شوند.
انگلستان	تولیداتی که به شبکه توزیع تا حداکثر ولتاژ 132 kV وصل می‌شوند.

۱-۲-۱ سطح ولتاژ

هر چند که در برخی تعاریف اشاره‌ای به سطح ولتاژ تولید پراکنده نشده است، ولی اکثر تعاریف چه مستقیم و چه غیر مستقیم اذعان داشته‌اند که ولتاژ کار تولید پراکنده بایستی در حد ولتاژ شبکه‌های توزیع باشد.

ولتاژ شبکه‌های توزیع از یک ناحیه به ناحیه دیگر ممکن است تغییر کند. سطوح ولتاژی مورد نظر در ایران عبارتند از: 11 kV، 20 kV و 33 kV در سطح فشار متوسط و 400 V در سطح فشار ضعیف.

لازم به ذکر است که شبکهٔ توزیع در ایران همه جا شعاعی است و هر کجا که شبکهٔ حلقوی طراحی شود، به صورت رینگ باز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. علاوه بر آن شبکه‌های فشار متوسط سه سیم و شبکه‌های فشار ضعیف چهار سیم می‌باشند.

۱-۲-۲ ظرفیت تولید

ظرفیت‌های تولیدی که برای مسألهٔ تولید پراکنده عنوان شده‌اند بین چند ده کیلو وات تا چند ده مگاوات متغیر است.

محدودیت ظرفیت تولید، ناشی از چند عامل می‌باشد. اولین مسألهٔ تأثیرگذار بر ظرفیت تولید، ساختار شبکه‌های توزیع و توان مصرفی بار آنها می‌باشد.

عامل دوم ناشی از تکنولوژی‌های بکارگرفته شده و منابع تأمین انرژی اولیه می‌باشد. عامل دیگر، استفاده از شیوه CHP در تولید است که هدف نهایی مسأله تولید پراکنده در دستیابی به بازده بالا و سوددهی می‌باشد.

۱-۲-۳ منابع تأمین انرژی اولیه

تقریباً تمام منابع تأمین انرژی در بحث تولید پراکنده می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این منابع عبارتند از: سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های نو و تجدیدپذیر مانند انرژی آب، انرژی باد، خورشید، بیوماس و ....

۱-۲-۴ تکنولوژی‌های تولید

فنی‌ترین قسمت در مطالعات تولید پراکنده تکنولوژی‌های مورد استفاده و رابط‌های الکترونیک قدرت جهت اتصال این منابع به شبکهٔ قدرت می‌باشد.

در این رابطه سیستم‌های قدیمی تولید همانند موتورهای احتراق، دیزل ژنراتور و توربین‌های گازی می‌توانند استفاده شوند.

میکروتوربین‌ها که ترکیبی از ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم و توربین گازی هستند یکی دیگر از تکنولوژی‌های مورد استفاده در تولید پراکنده می‌باشند.

پیل‌های سوختی نیز اخیراً کاربرد زیادی در تولید انرژی الکتریکی پیدا کرده‌اند که پیش‌بینی می‌شود در آینده، تولید انرژی الکتریکی در منازل با این تکنولوژی انجام پذیرد[۳ و ۴]. میکروتوربین‌ها و پیل‌های سوختی کمک شایانی در بکارگیری تکنیک CHP و افزایش بازده تولید می‌کنند.

در راستای بکارگیری از انرژی‌های نو و منابع تجدیدپذیر انرژی تکنولوژیهای متعددی بکارگرفته می‌شوند که سلول‌های خورشیدی، مزارع بادی و نیروگاه‌های بادی، نیروگاه‌های آبی کوچک (جریانی) شامل ژنراتورهای القایی از آن جمله اند.

سیستم‌های ذخیره انرژی همانند نیروگاه‌های تلمبه‌ای ذخیره‌ای آبی[۳] و سیستم‌های SMES[۴] نیز می‌توانند بکار گرفته شوند.

با توجه به تعاریف مختلف ارائه شده از تولید پراکنده، منابع دیگر انرژی همانند انرژی زمین گرمایی[۵] و انرژی جذر و مد نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

۱-۲-۵ بهره‌برداری

بهره‌برداری از تولید پراکنده بایستی کاملاً مشخص باشد. به عنوان مثال برنامه‌پذیر بودن تولید، دیسپاچینگ، عملکرد مستقل از شبکه و ... بایستی از پیش تعیین شده باشند.

طبق استانداردهای جاری در کشور ایتالیا، واحدهای تولید پراکنده نمی‌توانند به صورت مستقل از شبکه کار کنند. در واقع نمی‌توان با شبکه فشار متوسط و تولید پراکنده جزیره ساخت. لذا استفاده از تولید پراکنده با شرایط فوق، کمکی به بهبود قابلیت اطمینان در قطعی‌های طولانی مدت نخواهد کرد[۶]. جزیره شدن زمانی اتفاق می‌افتد که منبع تولید پراکنده یا گروهی از آنها به تنهایی بخشی از سیستم را که از شبکه اصلی جدا شده، تغذیه کنند. این جدا شدن می‌تواند به دنبال عملکرد کلیدهای قطع کننده، فیوزها و کات اوتها و یا دیگر تجهیزات قطع و و صل کننده در شبکه که نسبت به شین اصلی قبل از منبع قرار دارند رخ دهد. در بیشتر حالات جزیره شدن مطلوب نیست چون منجر به ایجاد مسائل کنترلی و نیز مسائل کیفیت توان می‌شود که روی بارها و شبکه اثر منفی خواهد گذاشت.

نکته دیگر قابل تأمل این است که واحدهای تولید پراکنده باید توانایی تولید توان اکتیو داشته باشند. سرویس‌دهی‌های دیگر می‌تواند در دستور کار تولید پراکنده باشد و یا می‌تواند نباشد.

۱-۲-۶ مالکیّت

نصب منابع تولید پراکنده هم می‌تواند توسط شرکت‌های توزیع انجام شود و هم توسط مصرف‌کنندگان. در واقع تولید پراکنده می‌تواند راهی باشد جهت واگذاری تولید انرژی الکتریکی به بخش خصوصی.

[3] Pump Storage
[4] Super Magnetic Energy Storage
[5] Geothermal

۱-۲-۷ خلاصه

با توجه به موضوعات ارائه شده در بخشهای قبل می‌توان به یک تعریف کلی در مورد تولید پراکنده رسید که در آن هیچ محدودیتی از نظر استفاده از تکنولوژی و ... وجود ندارد [۱].

منبع تولید توان الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع یا به سمت مشترک تجهیز اندازه‌گیری متصل می‌گردد.

دیگر شرایط می‌تواند بر اساس استانداردها و شرایط خاص هر منطقه به تعریف فوق اضافه گردد.

۱-۳ تکنولوژی‌های تولید پراکنده [۷]

هر چند هیچکدام از تعاریف ارائه شده محدودیتی از نظر استفاده از تکنولوژی‌های موجود در نظر نگرفته‌اند ولی عمده تکنولوژی‌های متداول در تولید پراکنده را می‌توان به سه دسته کلی زیر تقسیم نمود:

الف – تکنولوژی‌های مبتنی بر سوخت‌های فسیلی

- موتورهای احتراقی
- میکروتوربین‌ها
- پیل‌های سوختی
- دیزل ژنراتورها

ب – تکنولوژی‌های مبتنی بر انرژی‌های نو

- بیوماس
- توربین‌های بادی
- سلول‌های خورشیدی
- انرژی آب

پ - تکنولوژی مبتنی بر ذخیره انرژی

- باتری
- چرخهای گردان
- SMES
- بانک‌های خازنی بزرگ
- سیستم‌های ذخیرهٔ انرژی با فشرده سازی هوا (CAES[۶])

۱-۳-۱ مقایسه کلی انواع تکنولوژی‌ها [۲]

بدلیل گسترده بودن فن‌آوری‌های بکار گرفته شده در تولیدات پراکنده، نمی‌توان از آنها در تعریف کلی استفاده کرد. جدول ۱-۲ نشان دهنده تنوع فن‌آوری‌های موجود برای تولید پراکنده می‌باشد.

[6] - Compressed Air Energy Storage

۱-۴ مزایای تولید پراکنده [۱-۲] و [۵-۱۲]

کاربردهای تولید پراکنده به صورت خلاصه عبارتند از:

- منبع تأمین توان در شرایط عادی و اضطراری
- تغذیهٔ بارهای روستایی و دور از شبکه سراسری
- منبع تغذیهٔ پشتیبان برای تغذیهٔ بارهای حساس
- عملکرد مستقل و/یا متصل به شبکه سراسری

استفاده از تولید پراکنده قابلیت‌هایی در اختیار طراحان و بهره‌برداران شبکه می‌گذارد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

- بکارگیری انرژی‌های نو و منابع تجدید پذیر انرژی
- امکان بکارگیری تکنیک CHP[۷] در تولید

جدول ۱-۲ انواع فن آوریهای بکاررفته در تولید پراکنده

فن‌آوری	اندازه مرسوم برای هر نوع
توربین گازی سیکل ترکیبی	۳۵ تا ۴۰ مگاوات
موتورهای احتراق داخلی	۵ کیلووات تا ۱۰ مگاوات
توربین‌های احتراقی	۱ تا ۲۵ مگاوات
میکروتوربین‌ها	۳۵کیلو تا ۱ مگاوات
آبی کوچک (small hydro)	۱ تا ۱۰۰ مگاوات
آبی خیلی کوچک (micro hydro)	۲۵ کیلو تا ۱ مگا وات
توربین بادی	۲۰۰ وات تا ۳ مگاوات
سلول خورشیدی (PV)	۱۰ کیلووات تا ۲۰ مگاوات
بیوماس	۱۰۰کیلووات تا ۲۰ مگاوات
پیل سوختی PFC (Phosacid)	۲۰۰کیلووات تا ۲ مگاوات
پیل سوختی MC (Molten Carbonate)	۲۵۰کیلووات تا ۲ مگاوات
پیل سوختی PEM (Proton Exchange Membrane)	۱ کیلو تا ۲۵۰ کیلووات
پیل سوختی SO (Solid Oxide)	۲۵۰کیلووات تا ۵ مگاوات
زمین گرمایی	۱ مگا تا ۵ مگاوات
انرژی موج	۱۰۰کیلووات تا ۱ مگاوات
موتور چرخ لنگر (چرخهای گردان)	۲کیلو تا ۱۰ کیلووات
باتری انباره‌ای	۵۰۰کیلووات تا ۵ مگاوات

[7] - Combined Heat and Power Generation

با توجه به موارد ذکر شده، مزایای تولید پراکنده عبارتند از:

- اثرات زیست‌محیطی مطلوب
- بهبود قابلیت اطمینان و پایداری شبکه (در برخی موارد)
- بهبود کیفیت توان (در اکثر موارد)
- جلوگیری از بکارگرفتن اضافه ظرفیت‌ها جهت تأمین بار پیک
- به تعویق انداختن سرمایه گذاری‌های بخش انتقال و توزیع
- کاهش هزینه‌ها
- افزایش بازده الکتریکی و راندمان کلی تولید
- بهبود پروفیل ولتاژ
- نصب و راه اندازی آسان
- مکان نصب سهل الوصول
- آزادسازی ظرفیت خطوط انتقال و فوق توزیع
- پیک زدایی

۱-۵ معضلات و موانع تولید پراکنده

بکارگیری تولید پراکنده علی رغم مزیت‌های متعددی که داراست باعث بوجود آمدن بعضی معضلات و مشکلات نیز می‌شود. برخی از این معضلات عبارتند از [۱۳] [۱۴]:

- بکارگیری تولید پراکنده تنظیمات حفاظتی شبکه را به هم می‌ریزد.
- در برخی موارد مشکلات کیفیت توان و قابلیت اطمینان بوجود می‌آید.
- مشکلات خاص خود را در اتصال به شبکه به همراه دارد.
- برخی منابع مورد نظر جهت تأمین انرژی اولیه در اکثر مناطق شهری در دسترس نمی‌باشند.
- معضلاتی را در رابطه با تجدید ساختار سیستم‌های قدرت بوجود می‌آورد.
- پایداری منابع تولید می‌تواند مسأله ساز باشد.
- دیسپاچینگ و برنامه‌ریزی تولید مشکل است.

علاوه بر مشکلاتی که در بالا ذکر شده مسائل خاصی هم در رابطه با شبکه‌های توزیع ایران وجود دارد که موانع متعددی را بر سر راه بکارگیری تولید پراکنده ایجاد می‌کند.

در اکثر مناطق کشور، شبکه‌های توزیع هنوز مهندسی نشده است و روند کار به صورت شیوه «استادکاری» می‌باشد. تاکنون شبکه‌های توزیع ایران به صورت یکسو تغذیه بوده‌اند و هنگام وقوع قطعی‌ها و انجام عملیات، استادکاران تنها مسیر تغذیه اصلی را قطع می‌کردند و از بی برق شدن خط اطمینان خاطر حاصل می‌کردند. امّا با استفاده از تولید پراکنده با قطع مسیر اصلی، تغذیه بار خط برقرار باقی می‌ماند و می‌تواند باعث بوجود آمدن خطرات جانی شود. در واقع قبل از شروع به نصب واحدهای

تولید پراکنده تیم مهندسی عملیات و حوادث شرکت توزیع مربوطه بایستی تربیت شود و آموزش‌های لازم را ببینند تا خطرات آن حداقل شود.

هنوز تعداد زیادی از شرکت‌های توزیع به اهمیت طراحی بهینه شبکه‌های توزیع پی نبرده‌اند و هدف از طراحی شبکه را تنها در برق رسانی به مشترک می‌بینند. لذا در برابر استفاده از تولید پراکنده مقاومت خواهند نمود. مسأله مکان‌یابی و اندازه‌یابی واحدهای تولید پراکنده بسیار مهم می‌باشد و بایستی مکان‌های مناسب جهت نصب واحدهای تولید تعبیه شوند.

یکی از فواید مهم تولید پراکنده افزایش بازده کلی تولید با استفاده از تکنیک تولید CHP می‌باشد. با توجه به اینکه هنوز در ایران فرهنگ صرفه‌جویی و استفادهٔ بهینه از منابع کاملاً جا نیافتاده است، لذا ممکن است این مزیت تولید پراکنده در ایران کمرنگ جلوه کند.

سیستم محاسبات خرید و فروش انرژی و ثبت اطلاعات خرید و فروش انرژی نیاز بـه تجدید سـاختار پـیدا می‌کند. با توجه به این پیش‌بینی که مشترکین در نصب واحدهای تولید پراکنده مشارکت خواهند نمود، بایستی سیستم ساختار یافته و متّحدی جهت محاسبات فروش انرژی بوجود آید تا در آن سهم تولید کننده و سهم مصرف‌کننده و شرکت توزیع و نحوهٔ محاسبهٔ تولید و مصرف کاملاً مشخص باشد.

پیش از استفاده از تولید پراکنده بایستی یک استاندارد ملّی در این رابطه تهیه شود.

با توجه به ترکیب تولید و توزیع در مسألهٔ تولید پراکنده، در آینده سیستم مدیریت شرکت‌های توزیع بایستی بتواند به لحاظ فنی جوابگوی این مسائل باشد.

۱-۶ مقایسه انواع فن‌آوری‌ها

مشخّصات انواع فن‌آوری‌های مختلف تولید پراکنده در جدول ۱-۳ آمده است.

جدول ۱-۳- مشخّصات انواع فن‌آوری‌های مختلف تولید پراکنده [۱] [۲]

ویژگی	دیزل ژنراتور	توربین گازی	میکروتوربین	PV	توربین بادی	پیلهای سوختی
قابلیت دیسپاچینگ	بله	بله	بله	-	-	بله
سوخت	گاز یا دیزل	گاز	انواع سوختهای مایع	خورشید	باد	گاز
بازده (٪)	۳۵	۲۹-۴۲	۲۷-۳۲	۶-۱۹	۲۵	۴۰-۵۷
چگالی انرژی بر واحد سطح	۵۰	۵۹	۵۹	۰.۰۲	۰.۰۱	۱-۳
آیا احتیاجی به ذخیره انرژی است؟	خیر	خیر	خیر	بله	بله	خیر
انتشار NO_X گاز نفت	۰.۳ ۳.۷	۰.۰۱ ۰.۱۷	۰.۰۱ ۰.۱۷	-	-	۰.۰۰۳
طول عمر کاری	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	-	-	۱۰۰۰-۴۰۰۰

پتانسیل انواع فن‌آوری‌ها در جدول ۱-۴ آمده است [۱].

جدول ۱-۴ - پتانسیل انواع فن‌آوری‌ها

	پیک زدایی	قابلیت اطمینان	کیفیت توان	CHP	انرژی سبز	سوخت ارزان
موتور احتراق معکوس	بله	بله- با دیسپاچینگ		بله	نه – بجز سوخت بیوماس	نه - بجز سوخت بیوماس
توربین گازی	بله	بله- با دیسپاچینگ		بله	نه – بجز سوخت بیوماس	نه - بجز سوخت بیوماس
میکروتوربین	بله	بله- با دیسپاچینگ		بله	نه – بجز سوخت بیوماس	نه - بجز سوخت بیوماس
پیل سوختی	بله	بله- با دیسپاچینگ		بله	نه - بجز تولید هیدروژن با انرژی باد و خورشید	نه
PV	-	-	-	-	بله	بله
توربین بادی	-	-	-	-	بله	بله
دیگر انواع ژنراتور	-	- - بجز برق آبی		-	بله	بله

فصل دوم

شبکه های توزیع

۲-۱ تعریف سیستم توزیع

یک سیستم توزیع بنا به تعریف به قسمتی از سیستم قدرت که میان منابع قدرت و اتصالات سرویس مصرف‌کننده قرار دارد، اطلاق می‌گردد. منابع قدرت در نزدیکی مکان‌های مصرفی قرار دارند که باید توسط سیستم توزیع سرویس داده شوند. این منابع ممکن است نیروگاه‌های تولید برق و یا پست‌های بزرگی باشند که از خطوط انتقال تغذیه می‌شوند.

مدارهای فوق توزیع از منابع قدرت به چندین پست فوق توزیع HV/MV که در ناحیهٔ مصرف قرار دارند، امتداد یافته است. این مدارها ممکن است به صورت مدارهای شعاعی، که تنها به یک منبع قدرت متصل شده‌اند و یا به صورت مدارهای حلقوی و یا رینگ، که به یک یا چند منبع قدرت از هر دو طرف اتصال یافته‌اند، وجود داشته باشد.

به طور معمول هر پست فوق توزیع HV/MV ناحیه بار خود را که یک زیربخش از ناحیهٔ سرویس‌دهی سیستم توزیع است، تغذیه می‌نماید و در آن ولتاژ فوق توزیع برای پخش نیروی برق در سراسر ناحیه کاهش می‌یابد. یک پست فوق توزیع HV/MV یک یا چند ترانسفورمر به همراه تجهیزات مورد نیاز برای تنظیم ولتاژ شین و کلید را در بر می‌گیرد.

منطقهٔ سرویس‌دهی یک پست فوق توزیع HV/MV نیز به چند بخش تقسیم می‌شود و هر بخش به وسیلهٔ یک فیدر اولیه تغذیه می‌گردد. این فیدرهای اولیه سه فاز از شین فشار متوسط پست فوق توزیع HV/MV خارج می‌شوند و به مرکز بار خود امتداد می‌یابند.

پست‌های توزیع MV/LV در سمت فشار متوسط به فیدرهای اولیه متصل می‌شوند و ولتاژ دریافتی از فیدرهای اولیه را به ولتاژ مصرف کاهش می‌دهند. هر ترانسفورماتور یا مجموعه‌ای از آن‌ها یک یا چند گروه از مصرف‌کنندگان را از طریق مدار ثانویه سرویس می‌دهند. مدارهای ثانویه و نیز اتصالات سرویس مصرف‌کنندگان ممکن است از کابل زمینی یا سیم هوایی تشکیل شده باشد.

کارایی یک سیستم توزیع در تحویل گرفتن توان از منابع قدرت و تحویل دادن آن به مصرف‌کنندگان بر حسب افت ولتاژ، تداوم سرویس‌دهی، قابلیت انعطاف، بازدهی و هزینهٔ آن بیان می‌شود. هزینهٔ یک سیستم توزیع عامل مهمی در قیمت انرژی تحویل‌دهی به مصرف‌کنندگان به شمار می‌رود و در عرف بین المللی حدود ٪۳۰ تا ٪۵۰ از کل هزینهٔ سرمایه‌گذاری یک سیستم قدرت به سیستم توزیع آن تعلق دارد. در ایران این سهم حدود ۲۷/۵ درصد می‌باشد و در مقابل سهم بخش‌های تولید و انتقال به ترتیب ۵۰ درصد و ۲۲/۵ درصد اعلام شده است.

۲-۲ سیستم توزیع شعاعی

در سیستم شعاعی فیدرها به صورت شعاع‌هایی از پست‌ها به سمت فیدرهای فرعی که به همه جای ناحیهٔ سرویس‌دهی کشیده شده‌اند، امتداد یافته‌اند. پست‌های توزیع MV/LV که به فیدرهای

اولیه یا فیدرهای فرعی متصل هستند، سیستم ثانویه را که در ارتباط مستقیم با مصرف‌کنندگان قرار دارد تغذیه می‌نماید.

اصولاً مزایای سیستم‌های شعاعی در سادگی و ارزانی آن خلاصه می‌شود. با چنین آرایش‌هایی تعداد تجهیزات قطع و وصل اندک و رله‌گذاری آسان می‌شود و برای کار با آن پرسنل با سطح مهارت و تخصص فوق العاده بالا ضرورت نخواهد داشت. متقابلاً عدم سرویس‌دهی نقص اصلی سیستم‌های توزیع شعاعی است. تلاش برای برطرف ساختن این عیب به آرایش‌های مختلفی از سیستم‌های شعاعی انجامیده است. مثلاً در برخی از حالات سیستم فقط از پست فوق توزیع HV/MV تا پست توزیع MV/LV شعاعی است. غالباً به دلیل تنوع فراوان سیستم‌های موجود مشکل است که بتوان طرح‌های عمدهٔ این گونه سیستم‌ها را طبقه بندی کرد. تذکّر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که یک سیستم شعاعی به سیستمی گفته می‌شود که دارای یک مسیر است که در آن مسیر قدرت از یک راه از پست فوق توزیع HV/MV به سمت فیدرهای اولیه متصل به سیستم توزیع MV/LV منتقل می‌گردد.

۲-۳ اجزای سیستم توزیع

به طور کلی می‌توان یک سیستم توزیع را به شش قسمت شامل: مدارات فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع، فیدرهای اولیه، پست‌های توزیع MV/LV، مدارات ثانویه و اتصالات مصرف‌کننده دسته‌بندی نمود که در ادامه هر جزء به طور مختصر شرح داده می‌شود.

۲-۳-۱ مدارهای فوق توزیع

توان از منابع قدرت به سمت پست‌های فوق توزیع HV/MV از طریق خطوط فوق توزیع منتقل می‌گردد. مدارهای فوق توزیع ممکن است به صورت مدارهای سادهٔ شعاعی یا یک شبکهٔ به هم پیوسته به کار بروند. در اینجا نیز عوامل متعددی در انتخاب آرایش مناسب این مدارها دخالت دارند که عوامل مهم‌تر عبارتند از: سطح اتصال کوتاه حال و آینده، نحوهٔ رله‌گذاری و حفاظت، درجهٔ تخصیص و مهارت پرسنل، هزینه و در مقابل آن قابلیت اعتماد و شاخص‌های کیفیت مورد لزوم برای سرویس‌دهی به مشترکین برق.

۲-۳-۲ پست‌های فوق توزیع HV/MV

مسألهٔ تعیین ظرفیت و نیز مکان پست‌های فوق توزیع HV/MV از مسائل عمدهٔ شبکه‌های توزیع به شمار می‌رود. اگر ظرفیت یک پست فوق توزیع HV/MV بزرگتر از ظرفیت بهینه انتخاب شود، در این صورت نسبت طول مدارهای فوق توزیع به طول فیدرهای اولیه کمتر می‌شود و به جز مواردی که ناحیهٔ بار دارای چگالی سنگینی است بایستی بار را در ولتاژ توزیع فشار متوسط به فواصل طولانی‌تری حمل نمود. به علاوه استفاده از چنین پست‌هایی باعث می‌شود که سیستم به آسانی با تغییرات بار قابل تطبیق نباشد. بدین ترتیب واضح است که برای ایجاد یک سیستم توزیع قابل اطمینان و

اقتصادی ظرفیت پست‌های فوق توزیع HV/MV با توجه به ناحیهٔ بار متفاوت خواهد بود و انتخاب نامناسب ظرفیت و مکان این پست‌ها تأثیر نامطلوبی بر هزینهٔ این سیستم‌ها خواهد گذاشت.

ظرفیت اقتصادی پست‌های فوق توزیع HV/MV به چگالی بار، آرایش خطوط فوق توزیع، هزینهٔ واحد طول خطوط فوق توزیع و فیدرهای اولیه، قیمت زمین و استانداردهای معمول در یک سازمان برق بستگی دارد. به همین دلیل عوامل زیادی بر طراحی اقتصادی این پست‌ها اثر دارند و به دلیل سیستم توزیع موجود و شرایط محلّی و نیازهایی که می‌بایست برآورده گردد، طرح‌های متفاوتی برای آن‌ها وجود دارد.

۲-۳-۳ فیدرهای اولیه

در یک سیستم توزیع شعاعی نحوهٔ آرایش شبکه همواره از منبع قدرت تا شین فشار قوی پست‌های فوق توزیع HV/MV، الزاماً به صورت شعاعی نیست. اما با این وجود در اکثر آرایش‌های سیستم‌های شعاعی، فیدرهای اولیه از شین فشار متوسط این پست‌ها تا مصرف‌کنندگان به صورت شعاعی به کار می‌رود.

اساساً فیدرهای اولیه یک سیستم توزیع شعاعی به خاطر عدم تداوم سرویس‌دهی سؤال برانگیزند. بروز یک خطا بر روی هر یک از فیدرها باعث خروج تعدادی از مصرف‌کنندگان می‌شود و در هنگام استفاده از این آرایش وقفه اجتناب‌ناپذیر است. از این رو استفاده از شبکه‌های حلقه‌ای و یا رینگ مورد توجه قرار می‌گیرد. مزیت اصلی شبکهٔ رینگ در قابلیت اطمینان مناسب و امکان گسترش آسان آن است. اما تعداد دژنکتورهای مورد نیاز زیاد و نیز رله‌گذاری مشکل و پرخرج می‌شود و در مواردی که ایجاد رینگ موجب موازی شدن دو یا چند پست فوق توزیع بشود سطح اتصال کوتاه را بالا خواهد برد که موجب افزایش شدید پیچیدگی و هزینهٔ سوئیچ‌ها و کابل‌ها خواهد شد.

عوامل به هم‌وابستهٔ بسیاری بر انتخاب اندازهٔ مقطع فیدرهای اولیه اثر دارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: چگالی و رشد بار، نیاز به ایجاد ظرفیت خالی برای بهره‌برداری در حالت اضطراری، هزینه و ساختار مدار مورد استفاده طرح و ظرفیت پست فوق توزیع HV/MV مربوط به آن، تلفات سطح ولتاژ و نیز استانداردهای سرویس‌دهی.

ممکن است برای بعضی از بارهای ویژه مانند کوره‌های قوس الکتریکی لازم باشد تا فیدرهای جداگانه‌ای برای پرهیز از اثر بدی که بر بارهای دیگر می‌گذارند به کار گرفته شوند. بنابراین مقدار این‌گونه بارها در ناحیهٔ بار و نیز ولتاژ مورد نیاز در انتخاب مقدار نامی این‌گونه فیدرها دخالت دارند.

در برخی از موارد به ویژه در حالات استفاده از خطوط هوایی افت ولتاژ نقش مهمّی را در طراحی فیدرهای اولیه به عهده دارد. افت ولتاژ کل باید در طول فیدر اولیه پست توزیع MV/LV، مدارهای ثانویه و اتصالات سرویس مصرف‌کننده به گونه‌ای مناسب تقسیم شود و البته این تقسیم‌بندی به نوع ساختار مدار اولیه و ثانویه و ترانسفورمر به کار رفته بستگی دارد.

۲-۳-۴ پست‌های توزیع MV/LV

پست‌های توزیع MV/LV ولتاژ را از سطح ولتاژ شبکهٔ اولیه به ولتاژ مصرف کاهش می‌دهند و ممکن است که به فیدرهای اولیه اصلی یا فرعی متصل باشند.

با توجه به تفاوت زیاد در چگالی بار در مناطق مختلف، این پست‌ها به دو صورت به کار می‌روند:

الف) پست‌های زمینی: در مناطق شهری با چگالی بار سنگین از ترانسفورمرهای بزرگ استفاده می‌شود و این پست‌ها از طریق کابل‌های زمینی مصرف‌کنندگان را تغذیه می‌نمایند.

ب) پست‌های هوایی: این‌گونه پست‌ها بیشتر در مناطق روستایی یا نیمه‌شهری که چگالی بار سبکی دارند به کار می‌روند و به وسیلهٔ فیدرهای اولیه هوایی تغذیه می‌شوند.

۲-۳-۵ شبکهٔ ثانویه

مدارهای ثانویه و به دنبال آن اتصالات سرویس مصرف‌کننده آخرین بخش از شبکه‌های توزیع را تشکیل می‌دهند و مستقیماً با مصرف‌کنندگان در ارتباط هستند. این مدارها از لحاظ چگونگی سرویس‌دهی اساساً با فیدرهای اولیه یکسانند. به جز اینکه اولاً در بسیاری از مناطق تعداد مصرف‌کنندگان متصل به هر یک از این مدارها آن قدر زیاد می‌شود که برای آن‌ها واژهٔ پخش‌گر (Distributor) به کار می‌رود و به جای مدل‌سازی بار نقطه‌ای این مدارها از چگالی بار خطی یکنواخت برای بیان نحوهٔ تغذیهٔ مصرف‌کنندگان کاربرد می‌یابد و ثانیاً بر روی فیدرهای اولیه کابلی به ندرت انشعاب سه راهه اخذ می‌شود. در حالی‌که بر روی فیدرهای ثانویه، انشعاب‌های ثانویه متعدد یکی از روش‌های معمول تغذیهٔ بار مشترکین می‌باشد.

عملاً شبکهٔ ثانویه به همراه ترانسفورمرهای توزیع در یک حوزه قرار می‌گیرد که میان آن‌ها ارتباط تنگاتنگی برقرار است. در مناطق شهری با چگالی بار سنگین معمولاً شبکهٔ ثانویه فقط از کابل‌های زمینی تشکیل می‌شود. در این حالت کابل‌های مربوط به پست‌های همسایه به یکدیگر بسیار نزدیک می‌شوند و بنابراین شرایط به هم پیوستگی شبکهٔ ثانویه را تحت هزینهٔ مناسبی فراهم می‌آورند. از این رو سابقاً در این مناطق از شبکهٔ به هم پیوسته استفاده می‌شد اما اکنون شبکه‌های شعاعی ارجحیت یافته است.

۲-۳-۶ اتصالات مصرف کننده

اتصالات مصرف کننده شامل کلیه سیم‌کشی‌های مربوط به مصرف‌کنندگان متنوع می‌باشد که مربوط به منازل، مراکز تجاری و ... می‌باشد.

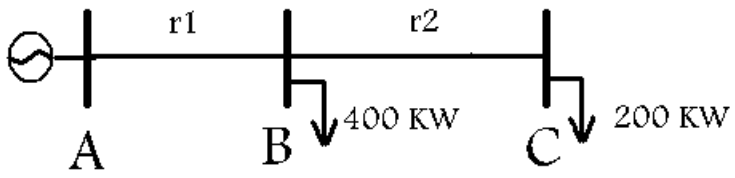
فصل سوم

مسأله جایابی تولید پراکنده و بهینه سازی

۳-۱ ضرورت مسأله جایابی

یکی از مباحث مهم در مطالعات تولید پراکنده، مسألهٔ جایابی و تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده می‌باشد. از دیدگاه الکتریکی با مثال ساده زیر به روشنی اهمیت مسألهٔ تعیین مکان و ظرفیت منابع تولید پراکنده مشخص می‌شود [۳۴].

شبکه شعاعی زیر مفروض است.



شکل ۳-۱ شبکه شعاعی نمونه

شین A، شین اسلک و شین‌های B و C شین‌های بار می‌باشند.

بار شین B، 400 kW و بارشین C، 200 kW فرض می‌شود.

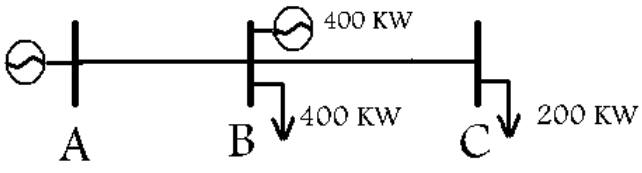
مقاومت الکتریکی بین شین‌های A و B، $r_1 = r$ فرض می‌شود. به همین ترتیب فرض می‌شود که مقاومت بین شین‌های B و C، $r_2 = 4r$ باشد.

در حالتی که هیچ منبع تولید پراکنده‌ای در شبکه نباشد، تلفات سیستم متناسب است با:

$$loss_1 \propto (400)^2 r + (200)^2 (5r) \qquad (۱-۳)$$

حال برای مقایسه چند حالت زیر را در نظر می‌گیریم.

ابتدا فرض می‌کنیم که یک منبع با توان 400 kW در شین B قرار داشته باشد.



شکل ۳-۲ قرار گرفتن منبع 400 kW در شین B