بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت علوم تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

جایابی بهینه تولید پراکنده با در نظر گرفتن مدل بار و قید پایداری ولتاژ

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی برق – قدرت

استاد راهنما

دکتر کریم افشار

نگارش

آذر فخاریان

اسفند ماه ۱۳۸۹

بسمه تعالی

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)
معاونت آموزشی دانشگاه- مدیریت تحصیلات تکمیلی
(فرم شماره ۲۶)

تعهد نامه اصالت پایان نامه

اینجانب ...آذر مختاریان... دانشجوی رشته ...مهندسی برق- مخابرات... مقطع تحصیلی ...کارشناسی ارشد... بدین وسیله اصالت کلیه مطالب موجود در مباحث مطروحه در پایان نامه / تز تحصیلی خود، با عنوان ...جایابی بهینه تولیدات پراکنده با در نظر گرفتن بار وقتی پایداری ولتاژ... را تأیید کرده، اعلام می نمایم که تمامی محتوی آن حاصل مطالعه ، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان نامه و یا هیچ اثر یا منبع دیگری، اعم از داخلی، خارجی و یا بین المللی ، نبوده و تعهد می نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد و یا لوازم این تعهد نامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافاً اینکه کلیه مسئولیت ها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو آذر مختاریان

امضاء و تاریخ مختاریان

۱۳۸۹/۱۲/۱۵

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

معاونت آموزشی – مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

بدین وسیله گواهی میشود جلسه دفاعیه از پایان نامه کارشناسی ارشد/ دکتری .....آقای مجتبی بابایان.....
دانشجوی رشته .مهندسی برق..... گرایش .....قدرت.....تحت عنوان.....جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار و تولید توان خروجی آنها.....
در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۱۵ در دانشگاه برگزار گردید و این پایان نامه با نمره .....۱۹..... و درجه .....عالی..... مورد تایید هیئت داوران قرار گرفت.

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	کریم افشار	استادیار	دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)	
۲	استاد مشاور	—	—	—	—
۳	داور خارج	محمود فتوحی	استاد	دانشگاه صنعتی شریف	
۴	داور داخل	مصطفی صدیقزاده	استادیار	دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)	
۵	نماینده تحصیلات تکمیلی	بهزاد مهدی	استادیار	دانشگاه بین المللی امام خمینی	

تقدیم به :

پدر و مادر فداکارم که وجودشان را وقف آموختنم نمودند

و

همسر عزیزم که حضور مهربانش، همواره مایه دلگرمی و آرامش من در کار بود

تقدیر و تشکر

لازم می‌دانم از استاد راهنمای خود که در انتخاب موضوع و گام به گام مراحل انجام آن، صمیمانه و با گشاده‌رویی مرا یاری کردند، قدردانی و تشکر نمایم. همچنین از تمام افرادی که مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند و شرایط مناسبی برای انجام کار فراهم آوردند، صمیمانه سپاسگذاری می‌نمایم.

فصل اول

مقدمه

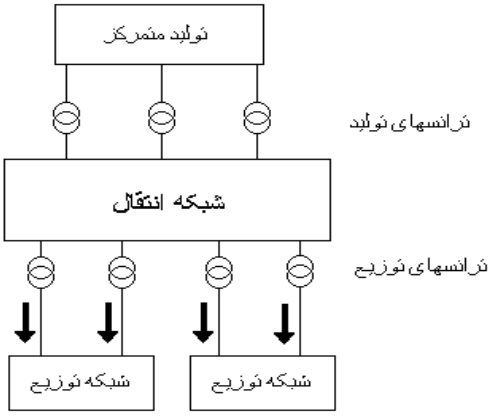
۱-۱) مقدمه

در طی دهه های اخیر با توسعه سیستم‌های قدرت، روش رساندن انرژی الکتریکی به مصرف کننده‌ها به طور کلی به این صورت بوده است که، پس از تولید توان لازم توسط نیروگاه‌ها، ولتاژ از طریق ترانسفورماتورها تا حد مطلوب بالا رفته، سپس انرژی الکتریکی از طریق خطوط طویل تا نزدیکی مصرف کننده‌ها انتقال داده می‌شود. آن‌گاه پس از یک یا چند مرحله کاهش ولتاژ توسط ترانسفورمرها، توان به مصرف کننده می‌رسد. بنابراین یک سیستم متداول قدرت را می‌توان شامل سه قسمت تولید، انتقال و توزیع دانست (شکل ۱-۱).

بخش تولید: نیروگاه‌های تولید برق، شامل ژنراتورهای بزرگ وسایر تجهیزات لازم برای تولید انرژی الکتریکی، ازهر تکنولوژی که باشند (هسته‌ای، بخار، گازی، آبی و...) ساختار تولید را در سیستم قدرت تشکیل می‌دهند.

بخش انتقال: با وجود فواصل زیاد بین بخش تولید و مصرف کننده‌های توان و عدم امکان ذخیره انرژی الکتریکی در مقیاس بزرگ ناگزیر خطوط طویل انتقال استفاده می‌شوند. سطح ولتاژ انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه‌ها، به وسیله ترانسفورماتورها بالا برده می‌شود. شبکه انتقال، انرژی الکتریکی با سطح ولتاژ بالا را دریافت کرده و به شبکه توزیع و مصرف کننده‌های بسیار بزرگ که تعدادشان کم است، تحویل می-دهد. طول خطوط انتقال بسته به فاصله بین محل تولید تا محل بار متفاوت است و هر چه خطوط، طولانی-تر باشند به سطح ولتاژی بالاتر و هادی‌هایی با مقاومت کمتر برای کاهش تلفات نیازمند است.

بخش توزیع: سیستم توزیع را می توان در دو سطح ولتاژ متوسط و ولتاژ پایین مورد بررسی قرارداد که در سطح فشار متوسط، توان دریافت شده از شبکه انتقال به مصرف کننده‌های نسبتاً بزرگ داده می‌شود و سیستم توزیع فشار ضعیف، برق را از سطح ولتاژ متوسط گرفته و به مصرف کننده‌های کوچک و غالباً خانگی تحویل می‌دهد.



شکل(۱-۱) - آرایش متداول سیستم قدرت

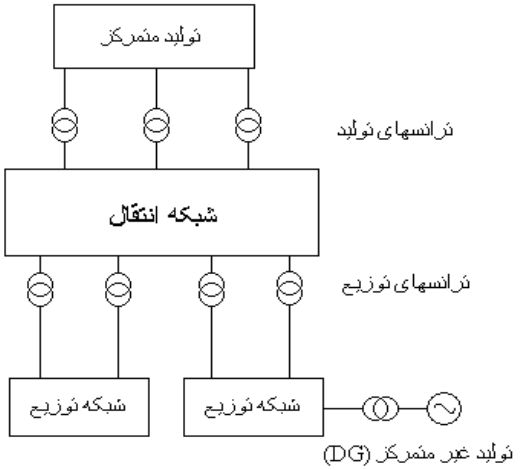
تعریف سطوح ولتاژ در کشورهای مختلف، متفاوت است. در اینجا می‌توانیم نمونه‌ای از سطح بندی ولتاژ را که با الهام از سطوح ولتاژ شبکه‌های انتقال و توزیع کشور فرانسه انجام شده است در جدول (۱-۱) ببینیم [۱].

جدول(۱- ۱)-سطوح ولتاژ استاندارد در فرانسه

	محدوده ولتاژ	سطوح استاندارد ولتاژ
سیستم انتقال	U > ۵۰ kV	۶۳ kV،۹۰ kV ،۲۲۵ kV ،۴۰۰ kV
سیستم توزیع فشار متوسط	۱ kV < U < ۵۰ kV	۵/۵kV ،۱۰ kV ،۱۵ kV ،۲۰ kV ،۳۳kV
سیستم توزیع فشار ضعیف	U < ۱ kV	۲۳۰ V ،۴۰۰ V

آنچه ذکر شد ساختار مرسوم سیستم‌های قدرت می باشد که از زمان ظهور شبکه های بزرگ انتقال انرژی الکتریکی تا کنون ادامه داشته است؛ اما در سالهای اخیر همگام با گسترش تولیدات صنعتی و توسعه خصوصی‌سازی صنعت برق و همچنین افزایش سرمایه‌گذاری بر روی منابع تولید انرژی تجدیدپذیر، تمایل به تولید انرژی الکتریکی در محل مصرف کننده زیاد شده است به گونه‌ای که امروزه در بسیاری از کشورهای صنعتی نیروگاه‌هایی با ظرفیت‌های متفاوت و تکنولوژی‌های مختلف به شبکه توزیع متصل شده‌اند. این

اتصال، آرایش جدیدی ازسیستم قدرت را معرفی می‌کند که در شکل (۱-۲) شمای کلی آن دیده می‌شود. در این ساختار به واحدهای تولیدی متصل به سیستم توزیع، تولید توزیع شده یا DG[1] اطلاق می‌شود.



شکل(۱ -۲)- ساختار جدید سیستم‌های قدرت پس از پیدایش DG

برای اشاره به این نوع از تولید برق عبارات متفاوتی به کار رفته است که «Embedded Generation » یکی از آنها است. «Embedded» درلغت به معنای «جاسازی شده» بوده و «Embedded Generation » به این معنا است که تجهیزات تولید درون سیستم توزیع جایگذاری شده است. همچنین از این روش با عنوان «Dispersed Generation» نیز یاد می‌شود که «Dispersed» به معنای «پراکنده» بوده و برای تمایز از روش‌های متداول تولید که به صورت متمرکز می‌باشند، استفاده می‌شود. «Distributed Generation»، «Distributed Energy Resources» و «Decentralized Generation» از دیگر اصطلاحاتی هستند که برای اشاره به این نوع از تولید مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲] . از این پس در اینجا، اغلب به جای عبارات «تولید پراکنده» و یا «تولید توزیع شده» از «DG» استفاده می‌شود.

[1] DistributedGeneration

۱- ۲) تعاریف DG

با وجود گذشت چندین سال از پیدایش تولید پراکنده و انتشار مقالات متعدد در مورد آن هنوز هیچ تعریف واحدی از DG که مورد توافق همه کشورها و گروههای مرتبط با تولید توزیع شده باشد، وجود ندارد. در همین خصوص نیز گزارش‌ها و مقالاتی منتشر شده است که از میان آنها به مقاله [۲] اشاره می‌کنیم: با توجه به موارد زیر، مؤسسات و گروه‌های مختلف تعاریف متفاوتی از DG دارند:

الف) هدف استفاده از DG

در این مورد، عقیده غالب این است که هدف از DG تأمین یک منبع توان اکتیو می‌باشد. بر این اساس لزومی ندارد که DG قادر به تأمین توان راکتیو باشد.

ب) محل استقرار DG

بیشتر متخصصین، شبکه توزیع را به عنوان محل استقرار DG درنظر می‌گیرند، اما بعضی از آنها سمت مصرف کننده (بعد از کنتور) و بعضی حتی شبکه انتقال را در این تعریف می‌گنجانند. البته ایده اصلی تولید توزیع شده قرار گرفتن نزدیک به بار است، خواه در شبکه توزیع و خواه در سمت مصرف کننده باشد.

پ) ظرفیت نامی DG

در غالب مقالات، بیشترین ظرفیت ممکن برای اتصال به شبکه توزیع، برای تعریف ظرفیت نامی DG در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه سطح ولتاژ و ظرفیت هر شبکه توزیع متفاوت می‌باشد، دراین مورد نیز تعاریف مختلفی وجود دارد. راهکار پیشنهاد شده برای حل این مشکل طبقه بندی DG به چهار گروه می-باشد:

- ❖ خیلی کوچک (۱وات تا ۵ کیلووات)

- ❖ کوچک (۵ کیلو وات تا ۵ مگاوات)
- ❖ متوسط (۵ مگا وات تا ۵۰ مگاوات)
- ❖ بزرگ (۵۰ مگا وات تا حدود ۳۰۰ مگاوات)

باتوجه به تعریفی که در جدول (۱-۱) برای سیستم توزیع ارائه شد، بعضی از کشورها قوانینی تصویب کرده‌اند که حداکثر توان تولیدی DG با سطح ولتاژ شبکه متناسب باشد. به عنوان مثال در فرانسه ظرفیت ۱۲ MW، مرز بین شبکه‌های زیر انتقال و توزیع را تشکیل می‌دهد به طوری که از ظرفیت ۲۵۰ kVA تا ۱۲ MW به شبکه توزیع ولتاژ متوسط و کمتر از ۲۵۰ kVA به سطح پایین ولتاژ متصل می‌شوند هر چند که این مسأله چندان کلی نیست و در بعضی موارد دیده شده که به دلایل اقتصادی کمتر از ۲۵۰ kVA نیز به قسمت ولتاژ متوسط شبکه توزیع اتصال پیدا کرده‌اند[۱] . در ادامه نمونه ای ازقوانین محدود کننده ظرفیتDG که توسط شرکت‌های برق مورد استفاده قرار می‌گیرد در جدول (۱-۲) نشان داده شده است.

جدول(۱-۲)- نمونه‌ای از قوانین محدود کننده ظرفیت DG [۴]

محل اتصال	حد اکثر ظرفیت DG
تا سطح ۴۰۰ ولت	۵۰ kVA
در باسبار ۴۰۰ ولت	۲۰۰ -۲۵۰ kVA
تا سطح ۱۱kV یا ۱۱/۵kV ولت	۲ – ۳ MVA
در باسبار ۱۱kV یا ۱۱/۵kV ولت	۸ MVA
در باسبار ۱۵kV یا ۲۰kV ولت	۶/۵ -۱۰ MVA

ت) منطقه تحویل توان

برخی از مقالات در تعریف DG این نکته را اضافه می کنند که توان تولید شده باید در همان سیستم توزیع مصرف شود اما برخی دیگر اهمیتی برای این موضوع در تعریف قائل نیستند و معتقدند که DG می-تواند توان تولید شده را به سیستم انتقال نیز تحویل دهد.

ث) تکنولوژی استفاده شده برای DG

در بسیاری اوقات عبارت DG برای تکنیک‌های خاصی از تولید به کار برده می شود مانند سیستم‌هایی که از منابع تجدید پذیر استفاده می‌کنند. بر این اساس نیز می توان DG را به دو گروه تقسیم کرد:

- ✓ تولید پراکنده با استفاده از منابع تجدید پذیر
- ✓ تولید پراکنده با استفاده از منابع تجدید ناپذیر

همچنین بعضی از سازمانها و گروههای مختلف موارد دیگری نظیر اثرات زیست محیطی DG، نوع مالکیت DG و... را در تعاریف خود در نظر می‌گیرند. در [۲]، DG به صورت زیر تعریف شده است:

«تولید پراکنده منبعی برای تولید انرژی الکتریکی است که مستقیماً به شبکه توزیع و یا سمت مصرف کننده دارای کنتور برق متصل می‌شود.»

همانطور که مشاهده می‌شود این یک تعریف کلی است و از خیلی از محدودیت‌هایی که در بالا آمد صرفنظر شده است. البته این تعریف تقریباً تمامی مواردی را که تا کنون تحت عنوان DG در نظر گرفته شده اند -به استثنای آنهایی که مستقیماً به سیستم انتقال وصل هستند- شامل می‌شود.

یکی از روش‌های ممکن برای متمایز کردن شبکه توزیع از شبکه انتقال تعریف سطوح ولتاژ معین برای هر کدام از این شبکه‌ها است که قبلا به یک نمونه از آن اشاره کردیم و نباید فراموش کنیم که کشورهای مختلف در این مورد نیز تعاریف متفاوتی دارند.

۱-۳) مقایسه مزایای سیستم‌های سنتی و DG

جدول (۱-۳) سهم منابع متفاوت در تولید انرژی الکتریکی بعضی از کشورهای عضو اتحادیه اروپا را نشان می‌دهد[۱]و[۳]. همانطور که در جدول دیده می‌شود در میان این کشورها فنلاند و دانمارک بیشترین استفاده را از انرژی‌های تجدید پذیر داشته‌اند. با توجه به این که دو موضوع انرژی‌های نو و تولید پراکنده تا حد زیادی به هم وابسته هستند می‌توان نتیجه گرفت که کشورهای حوزه اروپای شمالی می‌توانند تجارب خوبی در زمینه تولید غیر متمرکز داشته باشند به همین دلیل پس از بیان مزایای سیستم‌های تولید متمرکز و همچنین ذکر مزایای DG و مشکلات و موانع توسعه آن به نظرسنجی‌هایی که در این خصوص در این کشورها انجام گرفته اشاره می‌کنیم.

بعضی از مهمترین مزیت‌ها و دلایل استفاده از سیستم‌های مرسوم که به صورت تولید متمرکز می‌باشند عبارتند از [۲]:

الف) واحدهای تولیدی بزرگ معمولاً راندمان بالاتری دارند.

ب) برای تولید مقدار معینی انرژی الکتریکی واحدهای بزرگ به نیروی انسانی کمتری نیاز دارند.

پ) با وجود شبکه‌های انتقال، DGهای رزرو مورد نیاز به حداقل می‌رسند.

ت) در هر لحظه می‌توانیم با محاسبات پخش بار، بهترین بازده را از طریق تنظیم تولید هر نیروگاه داشته باشیم.

ث) توان فوق العاده زیادی را می توان به فواصل دور با تلفات نسبتاً کم انتقال داد.

د) شبکه های توزیع به صورت یک جهته طراحی می‌شوند.

جدول (۱-۳)- سهم منابع متفاوت درتولید انرژی الکتریکی در اروپا و آمریکا

کشور	انرژی هسته ای	زغال سنگ، نفت، گازو چوب	برق آبی	انرژیهای تجدید پذیر
بلژیک	۵۵/۲	۴۴/۳	۰/۵	-
دانمارک	-	۸۶/۸	-	۱۳/۲
آلمان	۲۹/۷	۶۴/۶	۴/۱	۱/۶
فنلاند	۳۱/۲	۳۳/۳	۲۲/۰	۱۳/۵
فرانسه	۷۵/۷	۱۰/۸	۱۳/۵	-
یونان	-	۹۰/۹	۸/۹	۰/۲
بریتانیا	۲۶/۸	۷۰/۰	۲/۰	۱/۲
ایرلند	-	۹۴/۷	۴/۸	۰/۵
ایتالیا	-	۷۸/۶	۱۹/۰	۲/۴
لوکزامبورگ	-	۱۳/۴	۸۳/۳	۳/۳
هلند	۴/۱	۹۲/۶	۰/۱	۳/۲
اتریش	-	۳۱/۲	۶۸/۸	-
پرتغال	-	۶۴/۹	۳۴/۸	۰/۳
سوئد	۴۵/۸	۴/۵	۴۷/۸	۱/۹
اسپانیا	۳۰/۱	۴۷/۷	۲۰/۸	۱/۴
نروژ	-	۰/۷	۹۹/۳	-
سویس	۴۰/۳	۳/۱	۵۶/۶	-
ایالات متحده آمریکا	۸	۸۴	۳/۷	۴/۳ (۳/۸ بایومس)

با وجود مزایایی که برای سیستم‌های تولید متمرکز ذکر شد، DG به سرعت درحال گسترش می‌باشد. عمده دلایلی که برای توسعه DG ذکر شده‌اند، عبارتند از [۲]، [۴]، [۵]، [۶]:

۱) کاهش نشر گازهای آلوده کننده محیط (به علت استفاده از نیروگاه‌های بادی، آبی کوچک (micro-hydro)، خورشیدی، گازهای زیرزمینی، زباله‌های شهری و...).

۲) بهینه سازی مصرف انرژی.

۳) توسعه سیاست رقابتی کردن، مقررات زدایی و خصوصی سازی.

۴) تنوع بخشیدن به منابع انرژی.

۵) احتیاج کشورها به تولید انرژی الکتریکی با توجه به افزایش تقاضا.

۶) دسترسی آسان به واحدهای کوچک تولیدی.

۷) راحتی مکان یابی برای DGهای کوچک.

۸) زمان ساخت کوتاه و هزینه‌های سرمایه گذاری پایین برای واحدهای کوچک.

۹) نزدیکی تولید به بار که منجر به کاهش هزینه‌های انتقال می‌شود.

۱۰) کاهش تلفات و افت ولتاژ.

۱۱) افزایش قابلیت اطمینان.

۱۲) آزاد سازی ظرفیت خطوط و به تعویق انداختن انباشتگی (Congestion) خطوط و بهبود وضعیت پیک.

۱۳) مزایای اقتصادی و زیست محیطی استفاده از DG به صورت CHP[1] برای بعضی صنایع که نیاز به انرژی گرمایی دارند.

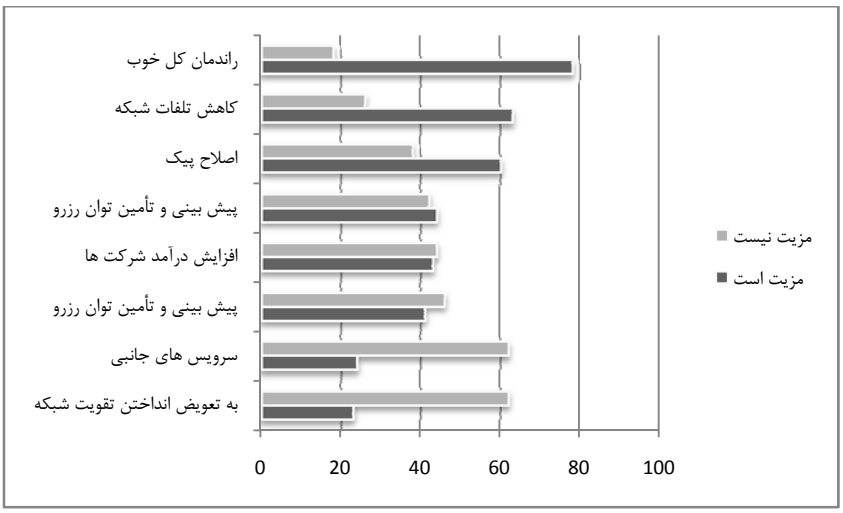
۱۴) عدم نیاز به احداث تأسیسات زیربنایی جدید نظیر ساخت راه برای انتقال تجهیزات، نیروی انسانی، سوخت و... و یا خطوط انتقال جدید.

۱۵) پیچیدگی کمتر و تعمیر و نگهداری آسان‌تر واحدهای کوچک.

۱۶) زمان راه‌اندازی کوتاه واحدهای کوچک که می‌توانند در عرض چند دقیقه وارد مدار شوند در حالی که راه‌اندازی نیروگاه‌های بزرگ ممکن است چندین ساعت به طول انجامد.

[1] Combined Heat and Power

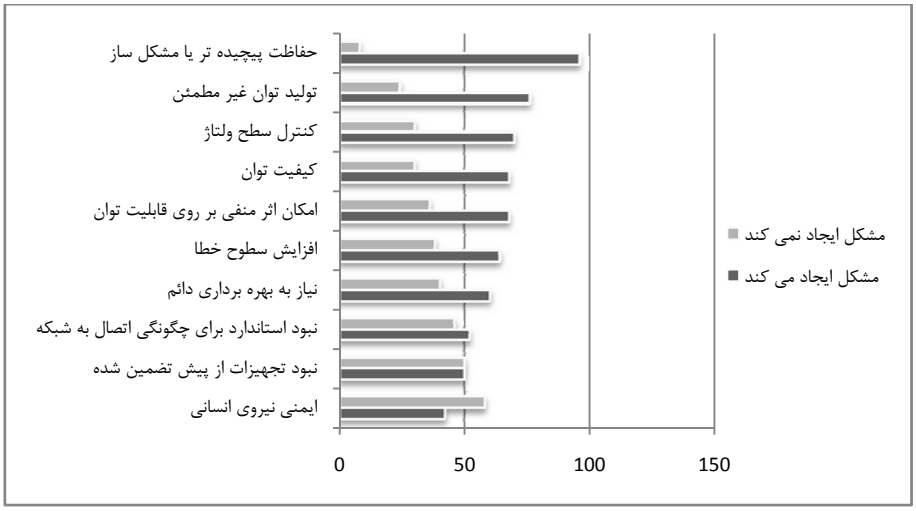
شکل(۱-۳) نتایج یک نظر سنجی در کشورهای اروپای شمالی را نشان می‌دهد. بر اساس این نظر سنجی حدود ۸۰ درصد سؤال شوندگان راندمان خوب را به عنوان یکی از مزایای DG دانسته‌اند که البته احتمالاً به علت شیوع استفاده از CHP در بین آنها می‌باشد. کاهش تلفات واصلاح پیک نیز دو مورد دیگری هستند که مورد استقبال واقع شده‌اند. البته به تعویق افتادن زمان تقویت شبکه به عنوان یک مزیت کمتر مورد توجه قرار گرفته است[۷].



شکل (۱-۳)- نتایج یک نظر سنجی در مورد مزایای DG

۱-۴) مشکلات و موانع توسعه DG

با وجود مزایایی که ذکر شد هنوز مشکلات عمده‌ای برای گسترش DG وجود دارد که بیشتر این مشکلات را مسائل تکنیکی تشکیل می‌دهند. در این میان مشکلات حفاظتی مهم‌ترین نقش بازدارنده را دارند. از موانع غیر فنی گسترش تولیـد توزیع شده نیز می‌توان به عدم اطمینان بخش خصوصی به ثبات قوانین تصویب شده در راستای خصوصی‌سازی صنعت برق اشاره کرد. شکل (۱-۴) نتایج نظرسنجی در مورد معایب DG را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود بیش از ۹۰ درصد شرکت کنندگان، مسائل حفاظتی را از جمله مشکلات DG می‌دانند [۷].



شکل (۱-۴)-نتایج یک نظرسنجی در مورد مشکلات DG

۱-۵) تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولیدات غیر متمرکز

تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید برق را می توان از جهات مختلف تقسیم بندی کرد. به عنوان مثال از لحاظ دسترسی به منابع انرژی بعضی از نیروگاه‌ها مانند نیروگاه‌های آبی، بادی و یا زمین- گرمایی محدودیت دارند، اما در مقابل بعضی دیگر نظیر میکروتوربین‌ها، سلول‌های سوختی و... دسترسی خوبی به منابع انرژی دارند. همچنین از این لحاظ که آیا فن‌آوری مورد نظر از مبدل‌های الکترونیک قدرت استفاده می‌کند یا خیر؛ می توان آنها را به دو گروه تقسیم کرد. اما آنچه متداول‌تر است تقسیم بندی از نظر تجدید پذیر بودن یا تجدید ناپذیر بودن منابع انرژی مورد استفاده است.

۱-۵-۱) فن آوری‌های استفاده کننده از منابع تجدید ناپذیر

- توربین‌های احتراقی[1]: ظرفیت این واحدها از ۲۵ kW تا ۲۰۰MW متفاوت است و در هر دو حالت متمرکز و توزیع شده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

[1] Combustion Turbines

- میکرو توربین‌های احتراقی[1]: این توربین‌ها که توان تولیدی آنها بین ۳۰kW تا ۲۵۰kW است، از سوخت-های مختلفی استفاده کرده و معمولاً در سطح فشار ضعیف شبکه توزیع و به صورت CHP مورد بهره برداری قرار می‌گیرند.

- توربین‌های گازی[2]: این فن‌آوری نیز به صورت CHP مورد استفاده قرار می‌گیرد و تولید انرژی الکتریکی آن بین ۵kW تا ۵MW می‌باشد. راندمان الکتریکی آن، ۲۵ تا ۳۰ در صد است و راندمان کل آن به صورت CHP به ۹۰ درصد می‌رسد.

- DGهای دیزلی[3]: محدوده توان تولیدی آنها از ۱۰۰kW تا ۲۵MW می باشد و اغلب به صورت پشتیبان مورد استفاده قرار می‌گیرند و راندمانی بین ۳۵ تا ۵۰ درصد دارند.

- توربین‌های بخار[4]: از سوخت‌های متفاوتی مانند گاز طبیعی و یا حتی از منابع تجدید پذیر (مثل گرمای زمین) استفاده کرده و معمولاً به صورت متمرکز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- موتورهای استرلینگ[5]: بازه تولید این موتورها از ۵kW تا ۵۰kW است و باید به یک مغناطیس دائم متصل شده و در سرعت ثابتی کار کنند.

- سلول‌های سوختی[6]: این سلول‌ها انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و بسته به نوع ماده الکترولیت می‌توانند از ۱kW تا ۱MW تولید انرژی الکتریکی داشته باشند. همچنین بسته به نوع سلول، راندمان آنها از ۳۰ تا ۵۰ درصد متغیر است. سطح ولتاژ تولید شده در حد چند ولت و به صورت DC می باشد. یک کانورتر DC/DC سطح ولتاژ را افزایش داده و سپس اینورتر DC/AC ولتاژ متناوب را برای اتصال به شبکه آماده می‌کند.

۱-۵-۲) فن آوری‌های استفاده کننده از منابع تجدید پذیر

[1] Combustion Micro-turbines
[2] Gas Turbines
[3] Diesel Generators
[4] Steam Turbines
[5] Stirling Motors
[6] Fuel Cells

اگر چه بیشتر منابع تجدیدپذیر در حال حاضر چندان اقتصادی به نظر نمی‌رسند اما تلاش‌های زیادی برای رفع این مشکل آغاز شده تا استفاده از این منابع گسترش یابد. همچنین باید به این نکته توجه داشته باشیم که در مقابل هزینه‌های بالای منابع تجدید پذیر، نباید مزیت کاهش آلودگی هوا را کوچک بشمریم. برخی از این فن‌آوری‌ها عبارتند از:

- نیروگاه‌های آبی کوچک: میزان تولید این نیروگاه‌ها از چند کیلو وات تا ۵۰۰kW متفاوت است. توربین‌های مختلفی از جمله پلتون، فرانسیس و کاپلان در این واحدها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- توربین‌های بادی: این توربین‌ها معمولاً بسته به اینکه در کنار ساحل مورد استفاده قرار گیرند و یا در خشکی به دو گروه تقسیم می‌شوند که هزینه نصب و نگهداری نوع دریایی آن بیشتر است. ظرفیت این واحدها از ۱۰kW تا ۴MW متفاوت است. گاهی نیروگاه‌های بادی با تکنولوژی‌های دیگری نظیر دیزل و یا عناصر ذخیره کننده مرتبط می‌شوند تا بدین وسیله از وقفه یا کاهش تولید تا حد امکان پرهیز شود.

- سلول خورشیدی: توان تولیدی این واحدها به اندازه سطح ومیزان تابش بستگی دارد و از یک تا صد کیلو وات متفاوت است. در این مورد نیز ولتاژ خروجی توسط مبدل‌های الکترونیک قدرت برای استفاده آماده می‌شود.

۱-۵-۳) ذخیره کننده های انرژی الکتریکی:

در کنار دسته بندی تکنولوژی‌ها به دو گروه تجدید پذیر وتجدید ناپذیر باید به منابع ذخیره کننده انرژی الکتریکی نیز اشاره کنیم که هر چند پیشرفت کندی دارند اما برخی از آنها می توانند برای مقاصدی نظیر اصلاح پیک در بازه زمانی معینی وارد مدار شده و قسمتی از نیاز شبکه را تأمین کنند. بعضی از فن آوری-هایی که در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

- باتری‌ها[1]

- مخزن انرژی هوا فشرده[2]

- چرخ طیارها[1]

[1] Batteries
[2] Compressed Air Energy Storage (CAES)