بسم الله الرحمن الرحیم

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-قدرت (تجدید ساختار)

عنوان :

مدیریت بهینه منابع پراکنده انرژی در سیستمهای قدرت تجدیدساختاریافته با استفاده از مفهوم نیروگاه مجازی

نگارش:

معین ابوالقاسمی

اساتید راهنما:

دکتر محمدصادق قاضی‌زاده

دکتر مهرداد ستایش نظر

اسفند ماه ۱۳۹۰

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-قدرت (تجدید ساختار) آقای معین ابوالقاسمی

تحت عنوان:

مدیریت بهینه منابع پراکنده انرژی در سیستمهای قدرت تجدیدساختاریافته با استفاده از مفهوم نیروگاه مجازی

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای اول:	دکتر محمدصادق قاضی‌زاده
۲- استاد راهنمای دوم:	دکتر مهرداد ستایش‌نظر
۳- استاد ممتحن (داخلی):	دکتر محمدآقا شفیعی
۴- استاد ممتحن(خارجی):	دکتر محسن کلانتر
۵- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده برق:	دکتر محمد آقا شفیعی

«تعهد اصالت اثر»

اینجانب «معین ابوالقاسمی» تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه ماحصل کار پژوهشی اینجانب بوده و به پژوهش دیگران که در این نوشتار از آنها استفاده شده، مطابق قوانین و مقررات ارجاع گردیده است.

این پایان‌نامه قبلاً برای هیچ مدرک هم‌سطح و یا بالاتر ارائه نشده و کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعت آب و برق می‌باشد.

نام و نام خانوادگی: معین ابوالقاسمی

به پاس تعبیر عظیم انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این نوشتار را به به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌نمایم

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که منت نهاد، هستی بخشید و توفیق کسب علم و دانش داد. اکنون که به فضل خدا این پژوهش را به پایان رسانیده‌ام، بر خود لازم می‌دانم که از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر قاضی‌زاده و جناب آقای دکتر ستایش‌نظر، به جهت راهنمایی‌های ارزشمند ایشان تشکر نمایم. همچنین بر خود لازم می‌دانم از تمامی دوستان و عزیزانی که در طی انجام این پژوهش از یاری و مساعدت ایشان بهره برده‌ام، تشکر و قدردانی نمایم. امید است که توانسته باشم در سایه لطف خداوند گامی هر چند کوچک در راستای توسعه و تعالی کشور بردارم.

چکیده

امروزه مشارکت منابع پراکنده انرژی (*DER*) در سیستم‌های قدرت در حال افزایش است . از آنجا که *DER*ها می‌توانند نقش مهمی در بازارهای برق و ارائه خدمات جانبی برای بهره‌برداران سیستم ایفا کنند، تجمیع این منابع درون سیستم‌های قدرت موجود مورد توجه قرار گرفته‌اند. تجمیع *DER*ها درون سیستم قدرت با استفاده از مفهوم نیروگاه مجازی (*VPP*) امکان پذیر می‌باشد. نیروگاه مجازی با تجمیع ظرفیت تعداد زیادی *DER* - شامل تولیدات پراکنده، پاسخ تقاضا و ذخیرسازهای انرژی- یک پروفیل بهره‌برداری منفرد را ایجاد میکند.

در این پایان‌نامه یک مدل بهینه‌سازی که راهبرد بهره‌برداری بهینه، حداکثر سود و کاهش آلودگی برای یک نیروگاه مجازی را فراهم می‌کند، ارائه می‌شود. نیروگاه مجازی در نظر گرفته شده در این پایان‌نامه شامل توربین بادی، سیستم تولید همزمان برق و حرارت، واحد تولید پراکنده و بارهایی با قابلیت قطع، می‌باشد. برای افزایش سرعت حل و دستیابی به نتایج بهینه، مدل ارائه شده ابتدا با استفاده از تکنیک‌های خطی‌سازی، خطی شده و مسئله برنامه‌ریزی خطی توأم با اعداد صحیح با دو رویکرد حل شده است. در رویکرد اول تنها قیود فنی منابع در نظر گرفته شده در حالی که در رویکرد دوم علاوه بر قیود فنی منابع، قیود شبکه نیز در نظر گرفته شده است. در این رویکرد مدل جدیدی برای ترکیب مفاهیم ریزشبکه، هاب انرژی و نیروگاه مجازی ارائه شده است. این مدل علاوه بر داشتن ویژگی‌های مدل‌های پیشین جامعیت و کلیت بیشتری داشته و در آن از مدل‌های کاملتری برای اجزا *VPP* استفاده شده است. مسائل بهینه‌سازی *VPP* در سناریوهای متفاوت در محیط نرم‌افزار *GAMS* پیاده‌سازی شده و نتایج نشان دهنده سرعت بالا و کارایی مدل ارائه شده می‌باشند.

کلمات کلیدی: منابع پراکنده انرژی، تولیدات پراکنده، نیروگاه مجازی، بازار برق، کاهش آلودگی، ریزشبکه، هاب انرژی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

تجمیع منابع پراکنده انرژی با استفاده از مفهوم نیروگاه مجازی

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ ریزشبکه ۲

۱-۳ هاب انرژی ۳

۱-۴ مفهوم نیروگاه مجازی چیست؟ ۵

۱-۵ بررسی مدل های ارائه شده برای بهره برداری VPP ۶

فصل دوم

بررسی چند نمونه خاص از منابع پراکنده انرژی و مدل مربوط به آنها

۲-۱ مقدمه ۱۹

۲-۲ کاربرد های تولیدات پراکنده ۱۹

۲-۳ بررسی چند نمونه خاص از منابع انرژی پراکنده ۲۲

۲-۳-۱ سیستم تولید همزمان حرارت و برقCHP ۲۲

۲-۳-۱-۱ مینی CHP ۲۳

۲-۳-۲ ذخیره ساز انرژی الکتریکی ۲۵

۲-۳-۳ فتوولتائیک و توربین بادی ۲۷

۲-۳-۴ دیماند فعال ۳۰

۲-۴ مدل نیروگاه مجازی و منابع انرژی پراکنده ۳۰

۲-۴-۱ مدل نیروگاه مجازی ۳۰

۲-۴-۲ مدل منابع پراکنده انرژی ۳۱

۲-۴-۲-۱ مدل سیستم تولید همزمان برق و حرارت ۳۱

۲-۴-۲-۲ مدل ذخیره ساز انرژی الکتریکی ۳۵

۲-۴-۲-۳ مدل توربین بادی ۳۸

۲-۴-۲-۴ مدل بارهای الکتریکی ۳۸
۲-۴-۲-۵ مدل تولیدات پراکنده ۳۹
۲-۵ مدل آلودگی ۴۰

فصل سوم

حل مسئله بهینه سازی و تحلیل نتایج

۳-۱ مقدمه ۴۲
۳-۲ خطی سازی مسئله بهینه سازی غیرخطی توأم با اعداد صحیح ۴۲
۳-۲-۱ خطی سازی توابع درجه دوم ۴۲
۳-۲-۲ خطی سازی توابع هزینه واحدهای تولید پراکنده، هزینه انرژی تأمین نشده و هزینه آلودگی ۴۴
۳-۲-۲ خطی سازی تابع هزینه بهره برداری از ذخیره ساز الکتروشیمیایی ۴۵
۳-۲-۳ فرمولاسیون خطی برای قیود حداقل زمان روشن و خاموش بودن تولیدات پراکنده ۴۷
۳-۳ حل مسئله بهینه سازی در رویکرد اول و مطالعات عددی مربوط به آن ۴۸
۳-۳-۱ تابع هدف ۴۸
۳-۳-۲ ورودی های مسئله بهینه سازی ۴۹
۳-۳-۳ نتایج حاصل از حل مسئله بهینه سازی در رویکرد اول ۵۳
۳-۴ حل مسئله بهینه سازی در رویکرد دوم و مطالعات عددی مربوط به آن ۵۷
۳-۴-۱ ریزشبکه و نیروگاه مجازی ۵۷
۳-۴-۲ هاب انرژی و نیروگاه مجازی ۶۰
۳-۴-۳ ریزشبکه، هاب انرژی و نیروگاه مجازی ۶۲

فصل چهارم

جمع بندی، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۴-۱ جمع بندی و نتیجه گیری ۶۷
۴-۲ پیشنهادات ۶۸
منابع و مراجع ۷۰
ضمیمه ۷۵

فهرست اشکال

شکل ۱- ۱: مثالی از یک ریز شبکه ۳
شکل ۱- ۲: یک بیمارستان که بصورت یک هاب انرژی مدل شده است. ۴
شکل ۱- ۳: یک شبکه با سه هاب انرژی ۴
شکل ۱- ۴ : اجزا *VPP* ۹
شکل ۱- ۵ : ساختار عمومی *VPP* ۹
شکل ۱- ۶ : واحدهای تولیدی در سیستم قدرتی با ضریب نفوذ بالای *DG* ۱۰
شکل ۱- ۷ : تبادلات بالقوه برای تولیدکنندگان ۱۱
شکل ۱- ۸: مشخصه سازی *DER* بصورت *VPP* ۱۴
شکل ۱- ۹ : ورودی ها و خروجی های *CVPP* ۱۴
شکل ۱- ۱۰ : ورودی ها و خروجی های *TVPP* ۱۵
شکل ۱- ۱۱ : فعالیتهایی که توسط *CVPP* و *TVPP* در بازار برق و مدیریت سیستم انجام میپذیرد ۱۶
شکل ۱- ۱۲ : مدل سیستم های *μCHP* ۱۷

شکل ۲- ۱: زمان دشارژ در برابر توان نامی برای تکنولوژی های مختلف ذخیره ساز انرژی الکتریکی ۲۶
شکل ۲- ۲: ظرفیت تجمعی توان بادی جهان ۲۸
شکل ۲- ۳: ظرفیت *PV* نصب شده در کشورهای عضو *IEA* ۲۹
شکل ۲- ۴ : ساختار نیروگاه مجازی ۳۱
شکل ۲- ۵ : ساختار سیستم *CHP* ۳۳
شکل ۲- ۶ : پیکربندی ذخیره ساز حرارتی ۳۳
شکل ۲- ۷ : وضعیت ذخیره ساز در *t-1* ۳۶
شکل ۳- ۱ : تابع درجه دوم که به صورت یک تابع تکه ای خطی تقریب زده شده است. ۴۳
شکل ۳- ۲ : بار حرارتی و الکتریکی سیستم *CHP* ۵۰
شکل ۳- ۳: نرخ خرده فروشی نیروگاه مجازی(p_l) و قیمت بازار برق(p_e) ۵۱
شکل ۳- ۴ : میزان کل بار سیستم ($LOAD_t$) و بار باقی مانده پس از کسر توان تولیدی توربین بادی ($Load_t$) ۵۱
شکل ۳- ۵: مشخصه سرعت باد در یک سال ۵۳
شکل ۳- ۶: سود ساعت به ساعت *VPP* برای دو سناریو متفاوت ۵۴
شکل ۳-۷ : میزان تولید انرژی حرارتی توسط بویلر و واحد *CHP* و حرارت ذخیره شده در ذخیره ساز حرارتی ۵۵
شکل ۳- ۸: میزان تبادل انرژی با بازار برق در هر ساعت ۵۶
شکل ۳- ۹: میزان میزان انرژی تأمین نشده و حالت شارژ/ دشارژ ذخیره ساز الکتروشیمیایی ۵۶

شکل ۳- ۱۰: نیروگاه مجازی شامل ریزشبکه و منابع پراکنده انرژی ۵۸
شکل ۳- ۱۱: میزان مبادله توان ریزشبکه با باس متصل به آن ۶۰
شکل ۳- ۱۲: توان مبادله شده بین *VPP* و شبکه اصلی ۶۰
شکل ۳- ۱۳: نیروگاه مجازی شامل هاب انرژی و منابع پراکنده انرژی ۶۱
شکل ۳- ۱۴: توان مبادله شده بین هاب انرژی با باس متصل به آن ۶۲
شکل ۳- ۱۵: توان مبادله شده بین *VPP* و شبکه اصلی ۶۲
شکل ۳- ۱۶: نیروگاه مجازی شامل ریزشبکه، هاب انرژی و منابع پراکنده انرژی ۶۳
شکل ۳- ۱۷: تبادل توان ریزشبکه و هاب انرژی با باس های متصل به آنها ۶۴
شکل ۳- ۱۸: توان مبادله شده بین *VPP* و شبکه اصلی ۶۴

فهرست جداول

جدول ۲- ۱: تکنولوژیهای استفاده شده برای تولید پراکنده ۲۱
جدول ۲- ۲: مقایسه بین تکنولوژیهای محرک اولیه برای سیستمهای μCHP..... ۲۴
جدول ۲- ۳: علائم مربوط به مدل سیستم CHP ۳۵
جدول ۳- ۱ : مشخصات اجزا سیستم CHP ۵۰
جدول ۳- ۲ : ضرایب تابع هزینه تولید، تابع هزینه آلودگی و مشخصات منابع تولید پراکنده..... ۵۲
جدول ۳- ۳ : مشخصات ذخیره ساز الکتروشیمیایی ۵۲
جدول ۳- ۴: مشخصات یک واحد توربین بادی ۵۲
جدول ۳- ۵: پیشنهاد فروش توان ریزشبکه ۵۹

فهرست نمادهای متداول بکار رفته به ترتیب ذکر شده در متن:

VPP	*Virtual Power Plant*	نیروگاه مجازی
DER	*Distributed Energy Resources*	منابع پراکنده انرژی
DG	*Distributed Generation*	تولید پراکنده
CVPP	*Commercial Virtual Power Plant*	نیروگاه مجازی تجاری
TVPP	*Technical Virtual Power Plant*	نیروگاه مجازی فنی
DSO	*Distribution System Operator*	بهره‌بردار سیستم توزیع
DisCo	*Distribution Company*	شرکت توزیع
ISO	*Independent System Operator*	بهره‌بردار مستقل سیستم
DDG	*Domestic Distributed Generator*	ژنراتور خانگی پراکنده
PDG	*Public Distributed Generator*	ژنراتور عمومی پراکنده
DPDG	*Dispatchable Public Distributed Generator*	ژنراتور عمومی پراکنده با قابلیت کنترل
SPDG	*Stochastic Public Distributed Generator*	ژنراتور عمومی پراکنده غیر قطعی
DDDG	*Dispatchable Domestic Distributed Generator*	ژنراتور خانگی پراکنده با قابلیت کنترل
SDDG	*Stochastic Domestic Distributed Generator*	ژنراتور خانگی پراکنده غیر قطعی
EMS	*Energy Management System*	سیستم مدیریت انرژی
LMS	*Local Management System*	سیستم مدیریت محلی
MILP	*Mixed Integer Linear Programming*	برنامه‌ریزی خطی توأم با عدد صحیح
CHP	*Combined Heat and Power System*	تولید همزمان حرارت و برق
EES	*Electric Energy Storage*	ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی
EV	*Electric Vehicle*	خودرو الکتریکی
PV	*Photovoltaic*	فتوولتائیک
ICE	*Internal Combustion Engine*	موتور احتراق داخلی
CCC	*Control Coordination Center*	مرکز هماهنگ‌کننده کنترل

فصل اول:

تجمیع منابع پراکنده انرژی با استفاده از مفهوم نیروگاه مجازی

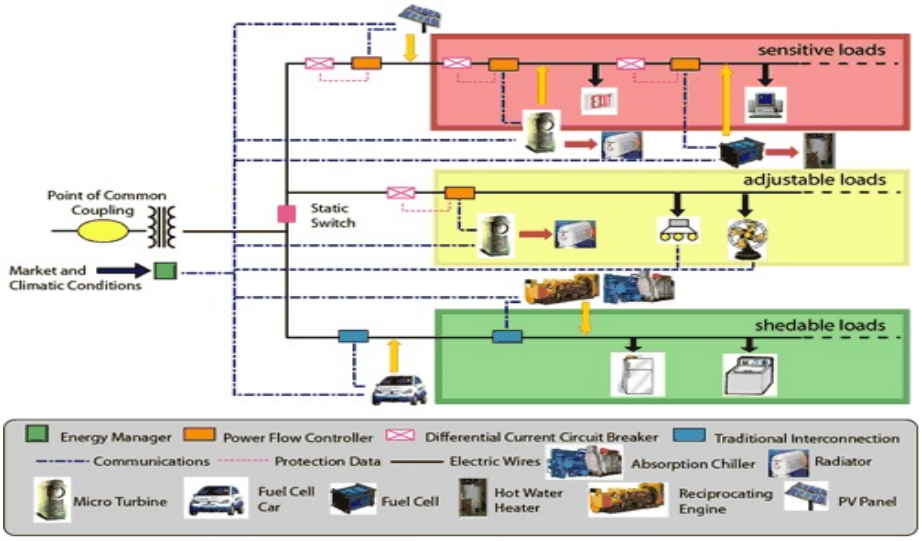
۱-۱ مقدمه

با توجه به رشد روز افزون استفاده از منابع انرژی پراکنده در سطح شبکه قدرت و لزوم بهره‌برداری و مدیریت بهینه آنها و تلاش در جهت مشارکت این منابع در بازار برق به صورت تجمیع شده مفاهیم جدیدی برای نیل به این مقصود ایجاد شده است. این مفاهیم شامل ریزشبکه، هاب انرژی و نیروگاه مجازی می‌باشند. از آنجا که تعریف جامعی برای نیروگاه مجازی ارائه نشده است مفاهیم ذکر شده در عمل به جای هم بکار می‌رود از اینرو ابتدا بایستی هر یک از مفاهیمی که جهت تجمیع منابع پراکنده انرژی در سیستم قدرت بکار می‌رود، شرح داده شوند. در این فصل ابتدا مفاهیم ریز شبکه و هاب انرژی شرح داده شده و در ادامه به مفهوم نیروگاه مجازی و تعاریف و مدلهایی که برای این مفهوم ارائه شده است، پرداخته می‌شود.

۱-۲ ریزشبکه

ریزشبکه[1] شامل انواع مختلفی از منابع پراکنده انرژی و بارها می‌باشد که امکان بهره‌برداری از آن بصورت متصل به شبکه یا در حالت ایزوله از آن وجود دارد. در بعضی منابع ریز شبکه بصورت ترکیبی از تعدادی منابع توان که از لحاظ الکتریکی ایزوله بوده و وظیفه تأمین تقاضای مشتریان خود را بر عهده دارد، در نظر گرفته شده است [۱]. ریزشبکه معمولاً به شبکه فشار ضعیف و گاهی نیز به شبکه فشار متوسط متصل می‌شود. برای بهره‌برداری در حالت ایزوله، ادوات ذخیره‌ساز انرژی اغلب لازمند و بارها با درجه قابلیت اطمینان متفاوت، متمایز شده‌اند. در شکل (۱-۱) مثالی از یک ریزشبکه با واحدهای تولیدکننده متفاوت و ادوات ذخیره‌ساز نشان داده شده است. بعلاوه بارها در کلاس‌های قابلیت اطمینان متفاوت دسته‌بندی شده‌اند.

1 - Microgrid

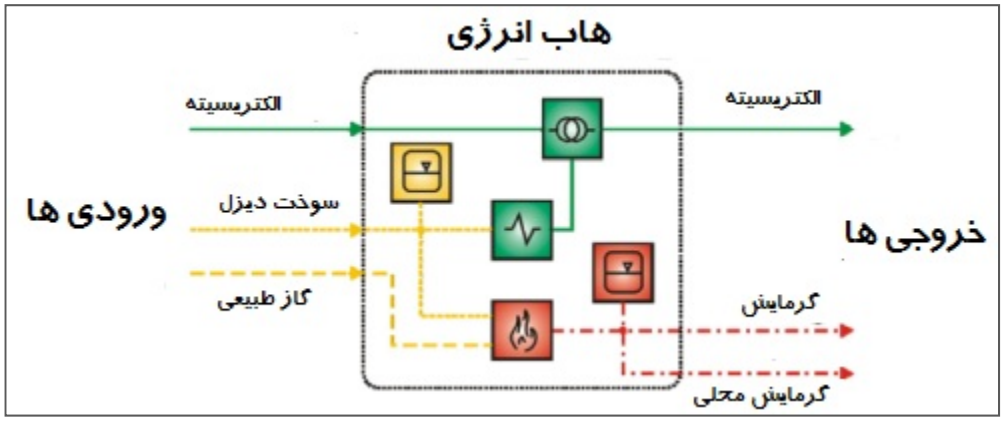


شکل ۱- ۱: مثالی از یک ریز شبکه (منبع: *http://certs.lbl.gov/certs-der.html*)

۱-۳ هاب انرژی

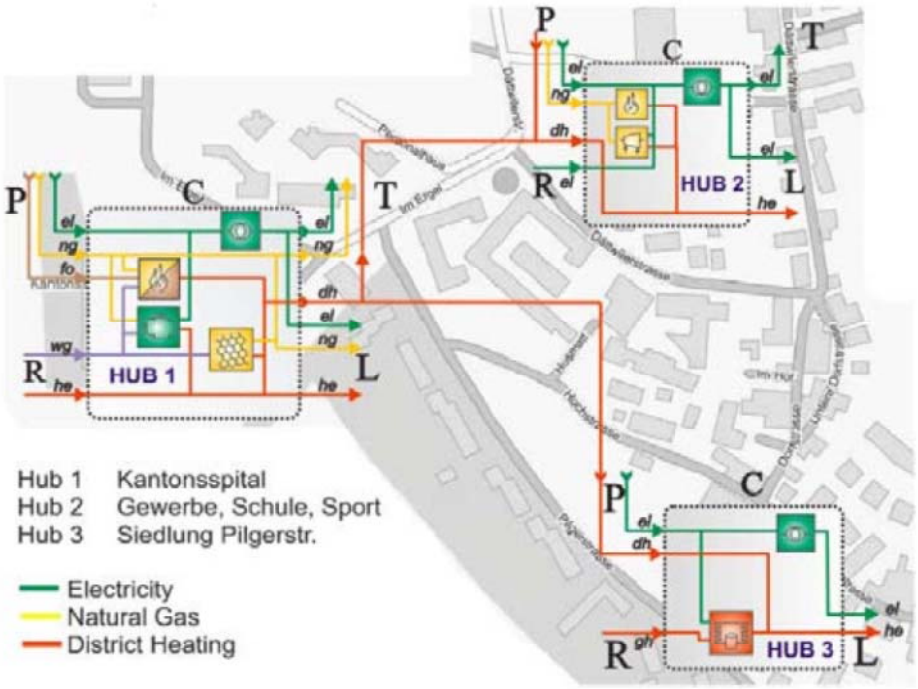
یک هاب انرژی[1] رابطه بین فلوی انرژی ورودی و خروجی را توصیف می‌کند. در هاب حامل‌های چندگانه انرژی از قبیل برق، گاز، حرارت و غیره می‌تواند مصرف، تبدیل و یا در صورت امکان ذخیره شوند. شکل (۱-۲) یک بیمارستان که بصورت یک هاب مدل شده است را نشان می‌دهد. این بیمارستان قادر است برق مورد نیاز خود را با استفاده از سه دیزل ژنراتور اضطراری تأمین کند. علاوه بر این حرارت با سوخت نفتی، دیزل یا گاز طبیعی تولید می‌شود.

1 -Energy Hub



شکل ۱- ۲: یک بیمارستان که بصورت یک هاب انرژی مدل شده است[۳].

هاب‌ها می‌تواند به شبکه متصل شوند. هر هاب با استفاده از یک ماتریس کوپلینگ که ورودی‌ها و خروجی‌های یک واحد را به هم متصل می‌کند، توصیف می‌شود. با این شیوه شبکه به آسانی و بصورت ریاضی قابل درک شده و برای هر ترکیب ممکن بسیار تطابق دارد. در شکل (۱-۳) مثالی از یک شبکه با سه هاب انرژی آمده است. بعلت کوپلینگ حامل‌های چندگانه درجه آزادی بیشتری در کنترل بدست آمده و یک دید کلی از فلوی انرژی امکان-پذیر می‌شود.



شکل ۱- ۳: یک شبکه با سه هاب انرژی[۳].

هاب انرژی بعنوان ابزاری برای تحلیل انرژی واقعی سیستم، شبیه‌سازی سناریوهای مختلف برای آینده و برای پیدا کردن راهکارهای بهینه مربوط به کاهش آلودگی‌ها، برنامه‌ریزی جهت سرمایه‌گذاری یا پخش بار بهینه در سیستم-های چند حاملی انرژی بکار می‌رود. چالش‌های جدیدی مانند خودروهای برقی قابل اتصال به شبکه و تکنولوژی-های آینده تولید و ذخیره‌سازی با این ابزار قابل بررسی می‌باشند[۲] و [۳].

۱-۴ مفهوم نیروگاه مجازی چیست؟

از سال ۱۹۹۷ که برای اولین بار مفهوم نیروگاه مجازی[۱] بصورت یک بنگاه مجازی[۲] ارائه شد [۴] در مراجع و منابع گوناگون تعاریف متفاوت و متنوعی برای آن ارائه شده است. در مرجع [۵] *VPP* به عنوان یک ریزشبکه خود مختار[۳] تعریف می‌شود، در این مرجع *VPP* از یک واحد خورشیدی، یک توربین بادی، یک پیل سوختی و یک ذخیره‌ساز الکتریکی تشکیل شده است. در [۶] *VPP* یک تجمیع کننده است که تنها منابع پراکنده با تکنولوژی‌های متفاوتی را که در سطح شبکه توزیع فشار متوسط پخش شده اند را در نظر می‌گیرد. در [۷] *VPP* یک تجمیع از تعداد زیادی *MICRO-CHP* می‌باشد که به شبکه توزیع فشار متوسط متصل شده اند. در [۸] و [۹] *VPP* بعنوان یک بنگاه دارای چند تکنولوژی[۴] و چند مکان ناهمگن[۵] تعریف می‌شود، طبق تعریف ارائه شده در آنها *VPP* به صورت بهینه توان تولیدی واحدهای تولیدکننده را بهره‌برداری کرده و شانس خوبی را برای فروش توان تولیدی اضافی این منابع در بازار برق ایجاد می‌کند. مفهومی که برای نیروگاه مجازی در مرجع [۱۰] ارائه شده است به این صورت است که *VPP* ترکیبی از منابع پراکنده انرژی[۶] با تکنولوژی‌های متفاوت و الگوهای بهره‌برداری گوناگون و همچنین دردسترس‌پذیری مختلف است که می‌توانند در سطح شبکه توزیع (فشار متوسط و فشار ضعیف) پخش شوند، در نظر گرفته شده است. مدلی ارائه شده در [۱۱] بر این تعریف تکیه دارد.

1 - Virtual Power Plant (VPP)
2 - Virtual Utility
3 – Autonomous Micro-grid
4 - multi-technology
5 - multi-site heterogeneous
6 - Distributed Energy Resources (DER)

در زمینه *VPP* پروژه‌های زیادی در حال انجام است از آن جمله می‌توان به پروژه نیروگاه پیل سوختی مجازی اتحادیه اروپا و پروژه *Fenix*[1] اشاره کرد. در پروژه نیروگاه پیل سوختی مجازی اتحادیه اروپا *VPP* بعنوان گروهی از *micro-chp* غیر متمرکز که از تکنولوژی پیل سوختی استفاده کرده و برای تأمین انرژی الکتریکی، حرارتی و برودتی در اماکن عمومی کوچک ، خانه‌های با چند خانوار و غیره نصب شده اند، تعریف می‌شود. بر اساس تعریف *Fenix* ، *VPP* تجمیع کننده‌ای است که قادر است به صورت منعطف و به نمایندگی از *DER*ها در انعقاد قراردادها در بازار عمده‌فروشی و همچنین پیشنهاد خدمات متنوع به بهره‌بردار سیستم ، عمل کند. نیروگاه مجازی ظرفیت *DER*های گوناگون را تجمیع کرده و یک پروفیل بهره‌برداری منفرد از ترکیب پارامترهای توصیف‌کننده هر *DER* ایجاد می‌کند، علاوه بر آن تأثیر شبکه را بر روی خروجی تجمیع شده *DER* لحاظ می‌کند. *VPP* به دو نوع *VPP*تجاری[2] و *VPP* فنی[3] تقسیم بندی می‌شود. *CVPP* تجمیع تجاری را اجرا کرده و هیچ یک ازجنبه‌های بهره‌برداری شبکه را که برای یک بهره‌برداری پایا از شبکه توزیع فعال لازم است مد نظر قرار گیرد را در نظر نمی-گیرد. *TVPP* مکان جغرافیایی *DER* و تأثیر زمان حقیقی شبکه محلی بر روی پروفیل خروجی *DER*های تجمیع شده را لحاظ کرده و علاوه بر آن مشخصات هزینه‌ای و بهره‌برداری آنها را نیز در نظر می‌گیرد [۱۰].

۱-۵ بررسی مدلهای ارائه شده برای بهره‌برداری *VPP*

در سیستم قدرتی که ضریب نفوذ *DG* بالا باشد، شبکه توزیع طبیعتی اکتیو دارد. در چنین شبکه توزیعی نقش *DSO*[4] در نگه‌داشتن امنیت سیستم توزیع همانند نقش *ISO* در سیستم انتقال می‌باشد. *DSO* بایستی خدمات جانبی مورد نیاز سیستم را از تولیدکنندگانی که درون ناحیه کنترلی *DisCo* قرار دارند، فراهم آورد. در چنین حالتی باید بازار*DisCo* در سطح توزیع برای مبادله انرژی و خدمات جانبی اجرا شود. در مرجع [۱۲] ساختاری برای *VPP* توصیف شده است که آن برای تجمیع تکنولوژی‌های گوناگون *DG* در سطح شبکه‌های توزیع فشار متوسط و

*1 - **F**lexible **E**lectricity **N**etworks to **I**ntegrate the e**X**pected energy evolution (**FENIX**)*
2 - Commercial Virtual Power Plant (CVPP)
3 - Technical Virtual Power Plant (TVPP)
4 - Distribution System Operator (DSO)

ضعیف می‌توان بکار رود. علاوه بر آن که بازار *DisCo* در آن بحث شده است، نحوه مشارکت *VPP* در بازارهای عمده‌فروشی و *DisCo* مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله *DG*ها به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

ژنراتور خانگی پراکنده[1]: یک واحد کوچک *DG* که مصرف‌کنندگان منفرد خانگی، تجاری و صنعتی را سرویس‌دهی می‌کند. توان اضافی تولیدی یک *DDG* می‌تواند به شبکه تزریق شود و یا کمبود آن بوسیله شبکه جبران شود.

ژنراتور عمومی پراکنده[2]: یک واحد *DG* است که به یک مصرف‌کننده منفرد تعلق نداشته و هدف اصلی آن تزریق توان تولیدیش به شبکه می‌باشد.

عموماً *DDG* و *PDG* می‌تواند بوسیله ذخیره سازهای انرژی تجهیز شوند. مفهوم *DDG* به یک ژنراتور با یک بار و احیاناً یک ذخیره‌ساز که معمولاً به شبکه توزیع فشار ضعیف متصل است، دلالت دارد. در صورتی که *PDG* به یک ژنراتور و احیاناً یک ذخیره‌ساز انرژی که فقط به شبکه توزیع فشار متوسط متصل شده است اشاره دارد. وجه تمایز *DDG* و *PDG* به این صورت است که:

۱- هدف مالک *DDG*ها برآورده ساختن نیازهای الکتریکی و احیاناً حرارتی‌شان به صورت اقتصادی و با قابلیت اطمینان بالا است. آنها از قوانین تجارت توان بی‌اطلاع هستند. در صورتی که هدف مالکان *PDG* فروش توان تولیدیشان به مشتریان شبکه می‌باشد.

۲- عموماً ظرفیت ژنراتورهای *DDG* در مقایسه با *PDG*ها کوچک بوده از اینرو *DDG* ها هرگز قادر نیستند در بازار برق به صورت مستقل مشارکت کند اما *PDG*ها قادرند شانس خود را در بازار برق امتحان کنند.

*DDG*ها در سیستم می‌توانند در زیر سیستم‌های کوچکی به نام ریزشبکه تجزیه شوند. هر ریزشبکه یک سیستم کنترل مرکزی داشته که بهره‌برداری از اجزایش را میسر می‌کند. با استفاده از مفهوم *VPP* هر ریزشبکه و *PDG* می‌تواند به عنوان جزیی از یک تجمیع کننده بزرگ قابل کنترل و دردسترس برای استفاده در وظایف مدیریت سیستم به کار گرفته شود. برخی از *DDG*ها و *PDG*ها مانند واحدهای فتوولتائیک و بادی که بوسیله ذخیره‌سازها تجهیز

1 - Domestic Distributed Generator (DDG)
2 - Public Distributed Generator (PDG)