

عنوان پروژه: تعیین ابعاد بهینه اجزای میکروگرید متصل به شبکه با توجه به قیمت پلکانی برق

چکیده: رشد مصرف انرژی در ایران در صورت تداوم به همراه بهره‌وری پایین تولید، انتقال و توزیع انرژی می‌تواند سبب وقوع آینده نامطلوبی برای این بخش باشد، به گونه‌ای که حتی در صورت تحقق کلیه برنامه‌های توسعه بالادستی ظرف مدت چند سال آینده، مصرف انرژی از تولید انواع انرژی اولیه از جمله نفت و گاز فراتر رفته و کشور به واردکننده انرژی تبدیل گردد. سیستم میکروگرید، از دو جنبه اصلی قابل بررسی است. از نظر فنی مسائلی چون کنترل فرکانس، کنترل ولتاژ، قابلیت اتصال به شبکه و نحوه کنترل منابع انرژی غیرمتمرکز و ... مورد توجه قرار می‌گیرد. از نظر اقتصادی نیز به مسائلی همانند فرآیند کلی توسعه و نصب، تکنیکهای تحلیلی امکان‌سنجی اقتصادی، بهره‌برداری بهینه از اجزای میکروگرید و ... پرداخته می‌شود. مسئله دیگر در هنگام رویارویی با سیستم میکروگرید در حضور منابع تجدیدپذیری مانند انرژی باد، کیفیت توان تحویلی به بار است. برای مطالعه پایداری و کیفیت توان، بررسی پارامترهایی از قبیل فرکانس سیستم، توان اکتیو و راکتیو، ولتاژ سیستم و هارمونیکهای شکل موج ولتاژ ضروری است شرط اصلی پایداری و تأمین کیفیت توان کافی، برقراری تعادل میان توان تولیدی (اکتیو و راکتیو) و توان مصرفی (اکتیو و راکتیو) است. این پژوهش با هدف تعیین ظرفیت بهینه اجزای اصلی سیستم میکروگرید متصل به شبکه، مورد زیر را بررسی نموده و تعادل میان توان حقیقی تولیدی و مصرفی میکروگرید با گام‌های زمانی یک ساعته برای تعیین ظرفیت بهینه اجزاء، شبیه‌سازی نموده و طراحی اولیه بهینه سیستم را ارائه می‌کند:

تحلیل لجستیک توان و انرژی تولیدی در بازه زمانی روزانه، هفتگی، ماهانه، فصلی یا یک سال و با گامهای زمانی ده دقیقه تا یک ساعت.

روش ارائه شده در این پایان نامه برای بررسی موردی ایجاد یک میکروگرید فرضی در منجیل و رودبار به کار برده شده است.

کلیدواژه ها: کنترل فرکانس، کنترل ولتاژ، قابلیت اتصال به شبکه، میکرو گرید

رشد مصرف انرژی در ایران در صورت تداوم به همراه بهره‌وری پایین تولید، انتقال و توزیع انرژی می‌تواند سبب وقوع آینده نامطلوبی برای این بخش باشد، به گونه‌ای که حتی در صورت تحقق کلیه برنامه‌های توسعه بالادستی ظرف مدت چند سال آینده، مصرف انرژی از تولید انواع انرژی اولیه از جمله نفت و گاز فراتر رفته و کشور به واردکننده انرژی تبدیل گردد. تولیدات غیرمتمرکز (DG) می‌تواند از طریق کاهش موثر و اقتصادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و تمرکززدایی و گوناگونی منابع انرژی اولیه به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی، نقش بسیار مهمی در سیستم‌های انرژی آینده بازی کنند. در چند دهه اخیر، سیاستگذاران انرژی در دنیا، با توجه به مزایای اقتصادی، زیست محیطی و امنیتی تولید انرژی به صورت غیرمتمرکز، توجه روزافزونی به این مقوله نموده‌اند. با این وجود، موانعی مانند ساختار بازار و مسائل فنی، مقرراتی و تا حدودی اقتصادی بر سر راه گسترش تولیدات غیرمتمرکز وجود دارد. میکروگریدها، نمونه عملی از مفهوم تولید غیرمتمرکز می‌باشند. یک میکروگرید، مجموعه‌ای از منابع انرژی غیرمتمرکز است، که به صورت هماهنگ جهت فراهم نمودن انرژی (الکتریکی حرارتی) ارزان، قابل اطمینان و سازگار با محیط زیست مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. میکروگریدها معمولاً در حالت متصل به شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، اما در شرایطی که شبکه، به هر علتی، توانایی تامین برق برای میکروگرید را نداشته باشد، می‌توانند به صورت مستقل از شبکه یا جزیره‌ای نیز مورد بهره‌برداری قرار بگیرند. طراحی اجزای سیستم میکروگرید در انجام پایان‌نامه باید به نحوی باشد که عملکرد مطمئن آن را در هر دو حالت بهره‌برداری متصل و مستقل از شبکه، تضمین نماید. برخی از مزایای استفاده از سیستم میکروگرید که موجب توجه بیش از پیش به این مقوله گردیده، عبارتند از:

- امکان استفاده از منابع تولید متنوع در اندازه‌های کوچک و متوسط اعم از منابع قابل تنظیم (دیزل ژنراتور، میکرو توربین و ...) و منابع غیرقابل تنظیم (توربین بادی، فتوولتائیک و ..)
 - امکان تامین کل بار یا قسمتی از آن در شرایط اضطراری و در زمان عدم دسترسی به شبکه سراسری
 - قابلیت تامین توان با کیفیت بالا
 - قابلیت تامین انواع بار اعم از بارهای خانگی، تجاری و صنعتی
 - استفاده بهینه از سرمایه و کاهش هزینه بهره برداری و نگهداری با استفاده از فناوری اطلاعات و پایش مستمر شبکه
 - امکان استفاده از فن آوری تولید همزمان برق و حرارت (CHP) در تامین بارهای الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی
 - توانایی بهره برداری از میکروگرید به صورت کاملاً مستقل از شبکه و تامین بارهای محلی توسط تولید داخلی
 - ایجاد امکان مبادله انرژی میان میکروگرید با شبکه برق در محیط جدید بازار برق
- سیستم میکروگرید، از دو جنبه اصلی قابل بررسی است. از نظر فنی مسائلی چون کنترل فرکانس، کنترل ولتاژ، قابلیت اتصال به شبکه و نحوه کنترل منابع انرژی غیرمتمرکز و ... مورد توجه قرار می‌گیرد. از نظر اقتصادی نیز به مسائلی همانند فرآیند کلی توسعه و نصب، تکنیکهای تحلیلی امکان سنجی اقتصادی، بهره برداری بهینه از اجزای میکروگرید و ... پرداخته می‌شود. مسئله دیگر در هنگام رویارویی با سیستم میکروگرید در حضور منابع تجدیدپذیری مانند انرژی باد، کیفیت توان تحویلی به بار است. برای مطالعه پایداری و کیفیت توان در انجام

پایان نامه مهندسی برق ، بررسی پارامترهایی از قبیل فرکانس سیستم، توان اکتیو و راکتیو، ولتاژ سیستم و هارمونیکهای شکل موج ولتاژ ضروری است شرط اصلی پایداری و تأمین کیفیت توان کافی، برقراری تعادل میان توان تولیدی (اکتیو و راکتیو) و توان مصرفی (اکتیو و راکتیو) است. برای تحقیق این امر از نظر Ackermann مدل سازی سیستم در مقیاسهای زمانی زیر باید صورت پذیرد:

- تحلیل حالت گذرای سیستم در بازه زمانی چند ثانیه و با گامهای زمانی حدود میلی ثانیه
- تحلیل دینامیکی ماشینها، پایداری شبکه و کیفیت توان در اثر تغییرات حالت سیستم در بازه زمانی حدود یک دقیقه و با گام های زمانی حدود 0.01 ثانیه
- تحلیل تنظیم سیستم کنترلی در بازه زمانی چند دقیقه تا یک ساعت و با گام های زمانی 0.1 ثانیه تا یک ثانیه
- تحلیل لجستیک توان و انرژی تولیدی در بازه زمانی روزانه، هفتگی، ماهانه، فصلی یا یک سال و با گامهای زمانی ده دقیقه تا یک ساعت.

این پژوهش با هدف تعیین ظرفیت بهینه اجزای اصلی سیستم میکروگرید متصل به شبکه، تنها مورد آخر را بررسی نموده و تعادل میان توان حقیقی تولیدی و مصرفی میکروگرید با گام های زمانی یک ساعته برای تعیین ظرفیت بهینه اجزاء، شبیه سازی نموده و طراحی اولیه بهینه سیستم را ارائه میکند. روش ارائه شده در این پایان نامه برای بررسی موردی ایجاد یک میکروگرید فرضی در منجیل و رودبار به کار برده شده است.

در فصل دوم این پایان نامه به بررسی مزایای کلی و معرفی سیستمهای میکروگرید از جنبه های مختلف پرداخته می شود، در ادامه به برخی از نمونه پروژه های میکروگرید نصب شده و تحقیقاتی در نقاط مختلف

جهان اشاره گردیده و در انتها به مروری بر تحقیقات انجام گرفته در زمینه طراحی و بهره برداری میکروگریدها می پردازد.

فصل سوم به معرفی مختصر ساختار فنی توربین ژنراتورهای بادی و شرح روشهای متداول مدلسازی توان تولیدی توربینهای بادی می پردازد.

بر طبق دسته بندی Lalor و دیگران، توربین ژنراتورهای بادی به دو دسته پایه ای تقسیم میشوند: سرعت ثابت و سرعت متغیر، تبدیل توان مکانیکی توربین بادی به توان الکتریکی توسط انواع مختلفی از ماشینهای الکتریکی همانند ماشینهای DC، القایی و سنکرون ممکن است. مدلسازی توان خروجی هر توربین بادی نیز در گام های زیر انجام می گردد.

- شبیه سازی سرعت باد

- تعیین توان خروجی توربین بادی

- اضافه نمودن اثر خطاها و خروج توربینها

که در فصل سوم به تفصیل در مورد هر یک بحث خواهد گردید.

در فصل چهارم به معرفی انواع فن آوری های متداول ذخیره سازی انرژی الکتریکی، گزینه های مناسب برای میکروگریدها و مدلسازی سیستم ذخیره انرژی از نظر توان و انرژی پرداخته می شود. اجزای سیستم میکروگرید باعث غیرخطی شدن مساله می شود که برای غلبه بر این مشکل از روش مدلسازی تکه ای خطی استفاده شده است.

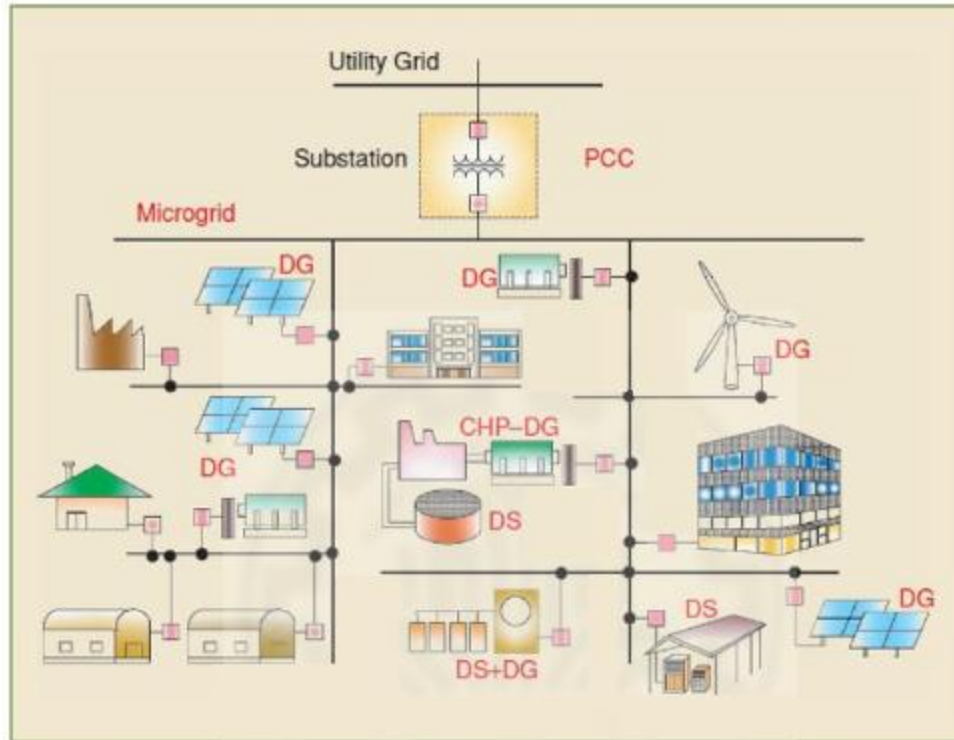
فصل ۲: سیستم های میکروگرید

۲-۱- مقدمه

تولیدات غیرمتمرکز (DG) می توانند از طریق کاهش موثر و اقتصادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و تمرکززدایی و گوناگونی منابع انرژی اولیه به عنوان جایگزینی برای سوختهای فسیلی، نقش بسیار مهمی در سیستم های انرژی آینده بازی کنند. میکروگریدها، نمونه عملی از مفهوم تولید غیرمتمرکز می باشند. یک میکروگرید، مجموعه ای از منابع انرژی غیرمتمرکز است، که به صورت هماهنگ جهت فراهم نمودن انرژی ارزان (الکتریکی حرارتی)، قابل اطمینان و سازگار با محیط زیست مورد بهره برداری قرار می گیرد.

بنابر تعریف میکروگریدها جزایری هستند که بصورت تعمدی در یک مجموعه تأسیسات یا در یک سیستم توزیع الکتریکی شکل میگیرند و شامل دست کم یک منبع انرژی پراکنده (DER) و بارهای مربوط می باشند. به گفته واحدهای DER شامل واحدهای تولید پراکنده و ذخیره پراکنده با مشخصات و ظرفیتهای متفاوت می باشند. نقطه ارتباط الکتریکی میکروگرید به شبکه بالادست، درباس فشار ضعیف ترانسفورماتور پست، نقطه اتصال مشترک میکروگرید را تشکیل می دهد. یک میکروگرید قادر است به انواع مشتریان اعم از ساختمانهای مسکونی، واحدهای تجاری و شهرکهای صنعتی و دانشگاهی سرویس ارائه کند.

میکروگرید را یک سیستم قدرت کوچک می داند (بطور معمول در مقیاس چندین مگاوات یا کمتر) که دارای سه مشخصه اصلی است: تولیدات پراکنده، مراکز بار مستقل و قابلیت بهره برداری متصل یا منفصل از شبکه الکتریکی بالادست. شکل (۲-۱) شمای کلی یک میکروگرید نوعی را نشان می دهد.



شکل (۲-۱) شمای کلی یک میکروگرید [۱۰]

میکروگرید شکل (۲-۱) به طور معمول از طریق ترانسفورماتور پست، در حالت متصل به شبکه، مورد بهره برداری قرار می گیرد. با این وجود، انتظار میرود در صورتی که میکروگرید مجبور به قطع اتصال از سیستم توزیع بالادست در PCC و عملکرد در حالت جزیره ای شود، بتواند استراتژی های تولید، کنترل و بهره برداری مناسبی را برای تامین حداقل قسمتی از بار فراهم نماید. طراحی اجزای سیستم میکروگرید باید به نحوی باشد که عملکرد مطمئن آن را در هر دو حالت بهره برداری متصل و مستقل از شبکه، تضمین نماید. شبکه های قدرت موجود به دلیل حفظ امنیت تجهیزات و انسانها، معمولاً اجازه قطع تصادفی و وصل اتوماتیک میکروگرید را نمی دهند. با این وجود، نفوذ بالای استفاده از منابع تولید پراکنده در میکروگرید به طور بالقوه

موجب میشود میکروگرید قابلیت عملکرد در حالت متصل به شبکه و جزیره ای و گذار بین این دو حالت را داشته باشد.

۲-۲- مقایسه میکروگرید با شبکه های سنتی

مزایای اقتصادی و زیست محیطی میکروگرید و در نتیجه میزان پذیرش و استقبال از آن در صنعت تولید برق، در درجه اول با توجه به قابلیت‌های کنترلی و مشخصات بهره برداری آن تعیین میگردد. بسته به نوع و میزان نفوذ منابع انرژی پراکنده، پروفایل بار و محدودیتهای کیفیت توان، استراتژی شرکت در بازار، استراتژی های بهره برداری و کنترلی و مشخصات دینامیکی یک میکروگرید، مخصوصا در حالت جزیره ای و جدا از شبکه می تواند نسبت به سیستمهای قدرت سنتی تفاوت‌های زیادی داشته باشد. از جمله دلایل تفاوت این دو می توان به موارد زیر اشاره کرد

- مشخصات دینامیکی و ماندگار واحدهای تولید پراکنده با واحدهای توربین ژنراتور سنتی تفاوت دارند.

- میکروگریدها به دلیل وجود بار یا واحدهای تولید پراکنده تکفاز به طور ذاتی درگیر نامتعادلی بالایی هستند.

- بخش قابل توجهی از توان تولیدی در میکروگریدها می تواند ناشی از منابعی باشد که ما ترجیح میدهیم کنترل چندانی در میزان تولید آنها نداشته باشیم مانند واحدهای مبتنی بر توان بادی (تولید توان توسط واحدهای غیرقابل کنترل).

سیستمهای ذخیره کننده انرژی (به طور کوتاه مدت یا بلندمدت) می توانند نقش بسیار مهمی را در کنترل و بهره برداری از یک میکروگرید ایفا کنند. به دلایل اقتصادی یک میکروگرید باید قابلیت قطع و وصل بار و

واحدهای تولید پراکنده را به دفعات در حین بهره برداری دارا باشد. یک میکروگرید ممکن است ملزم به تامین توان با کیفیتی خاص و یا ارائه سرویسهای ویژه به برخی از بارها باشد. علاوه بر انرژی الکتریکی برخی از میکروگریدها وظیفه تامین تمام یا قسمتی از بارهای حرارتی را نیز دارند.

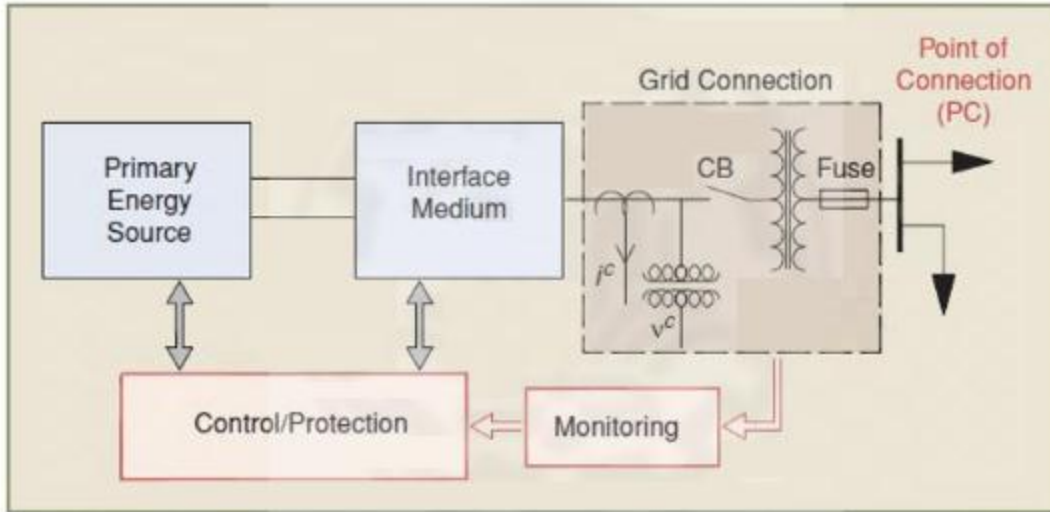
۲-۳ واحدهای DER

واحدهای DER در یک طبقه بندی کلی شامل واحدهای تولید پراکنده (DG) و ذخیره پراکنده (DS) با مشخصات و ظرفیتهای متفاوت میباشند. سیستمهای تولید و ذخیره پراکنده در سطح فشار متوسط یا فشار ضعیف به میکروگرید متصل میشوند. واحدهای DG، با توجه به نوع ارتباط با شبکه به دو گروه تقسیم بندی می شوند. اولین گروه شامل واحدهای معمولی و دوار می باشند که از طریق ماشینهای دوار به میکروگرید متصل میشوند. دومین گروه شامل واحدهایی می باشند که از طریق ادوات الکترونیک قدرت به میکروگرید متصل میشوند. مفاهیم کنترلی، استراتژی ها و مشخصات مبدل های الکترونیک قدرت، نسبت به ماشینهای دوار معمولی، تفاوت بسیاری دارند. شکل (۲-۲) یک واحد DG را نشان می دهد که از یک منبع انرژی اولیه، تجهیزات واسط و ادوات جدا کننده در نقطه اتصال به شبکه تشکیل شده است. در یک واحد DG معمولی (مانند ژنراتور سنکرون که از طریق موتورهای رفت و برگشتی به حرکت در می آید یا یک موتور القایی که توسط توربین بادی با سرعت ثابت کار می کند) ماشین دوار نقش های ذیل را ایفا می کند:

- منبع انرژی اولیه را به توان الکتریکی تبدیل میکنند.

- نقش تجهیزات واسط میان منبع اولیه و میکروگرید را نیز بازی می کند.

برای DG هایی که از طریق مبدل الکترونیک قدرت کار می کنند علاوه بر موارد فوق مبدل می تواند در نقش یک لایه تبدیلی و یا کنترلی دیگر نیز ظاهر شود، مثل کنترل ولتاژ و فرکانس.



شکل (۲-۲) شمای کلی یک واحد DG [۱۰]

توان ورودی به مبدل واسط از سمت منبع می تواند AC با فرکانس ثابت یا متغیر و یا DC باشد. مبدل در سمت میکروگرید در فرکانسی ثابت 50 یا 60 هرتز کار می کند. شکل (۲-۲) را با جایگزین نمودن منبع انرژی اولیه با ذخیره کننده، برای DS نیز به می توان کار برد. جدول (۲-۱) ساختار واسط و روشهای کنترل پخش بار واحدهای DG و DS را برای منابع تولید و ذخیره انرژی اولیه که به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرند، نشان می دهد. باید توجه داشت که علاوه بر نوع اصلی واحدهای DG و DS، یک DER می تواند از نوع هیبرید باشد، یعنی یک واحد DER در عین حال میتواند شامل یک منبع انرژی اولیه و یک ذخیره کننده باشد. یک واحد DER هیبرید معمولاً از طریق یک مبدل که شامل مبدلهای دو طرفه ac-dc و dc-dc است، به سیستم میکروگرید متصل میشود.

جدول (۲-۱)، مشخصات واسط‌های بکار رفته با DER ها [۸]

	<i>Primary energy source type</i>	<i>Typical interface</i>	<i>Power flow control</i>
DG	CHP	<i>Sync. generator</i>	<i>AVR and Governor (+P,±Q)</i>
	Internal combustion engine	<i>Sync.or ind. generator</i>	
	Small hydro	<i>Sync. or ind. generator</i>	
	Fixed speed wind turbine	<i>Ind. generator</i>	<i>Stall or pitch control of turbine (+P,±Q)</i>
	Variable speed wind turbine	<i>PEC (AC-DC-AC)</i>	<i>Turbine speed and DC link voltage controls (+P,±Q)</i>
	Micro – Turbine	<i>PEC (AC-DC-AC)</i>	
	Photovoltaic (PV)	<i>PEC (DC-DC-AC)</i>	<i>MPPT and DC link voltage controls (+P,±Q)</i>
ESS	Fuel Cell	<i>PEC (DC-DC-AC)</i>	
	Battery	<i>PEC (DC-DC-AC)</i>	<i>SOC & output voltage/frequency control (±P,±Q)</i>
	Fly – Wheel	<i>PEC (DC-DC-AC)</i>	<i>Speed control (±P,±Q)</i>
	Super Capacitor	<i>PEC (DC-DC-AC)</i>	<i>State of charge (±P,±Q)</i>

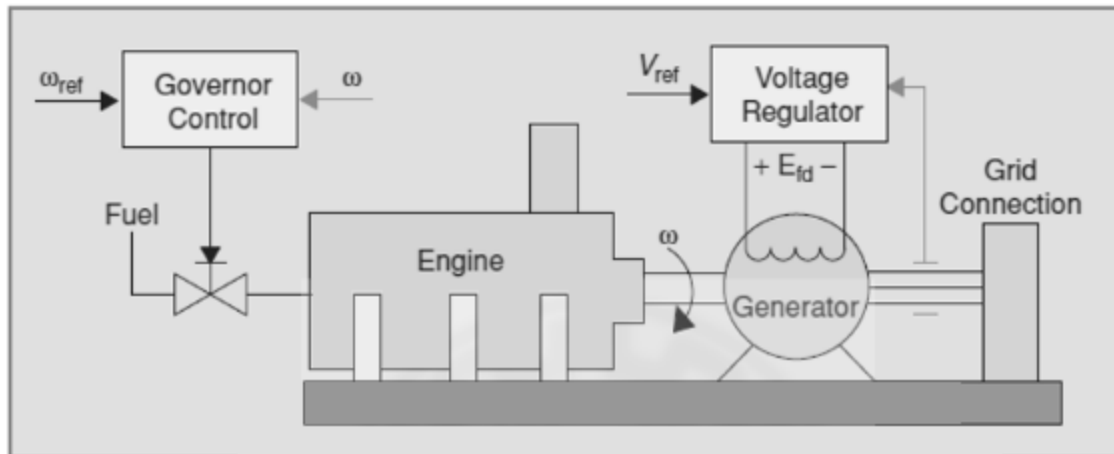
PEC = Power Electronic Converter

MPPT = Maximum Point of Power Tracking

SOC = State Of Charge

از نظر کنترل تولید توان، یک DC می تواند قابل تنظیم یا غیر قابل تنظیم باشد. توان خروجی واحدهای قابل کنترل را می توان از طریق نقطه تنظیم ، که توسط سیستم کنترل مرکزی میکروگرید تعیین میشود به صورت خارجی کنترل نمود. پاسخ یک واحد قابل تنظیم بسته به نوع آن، ممکن است سریع یا کند باشد.

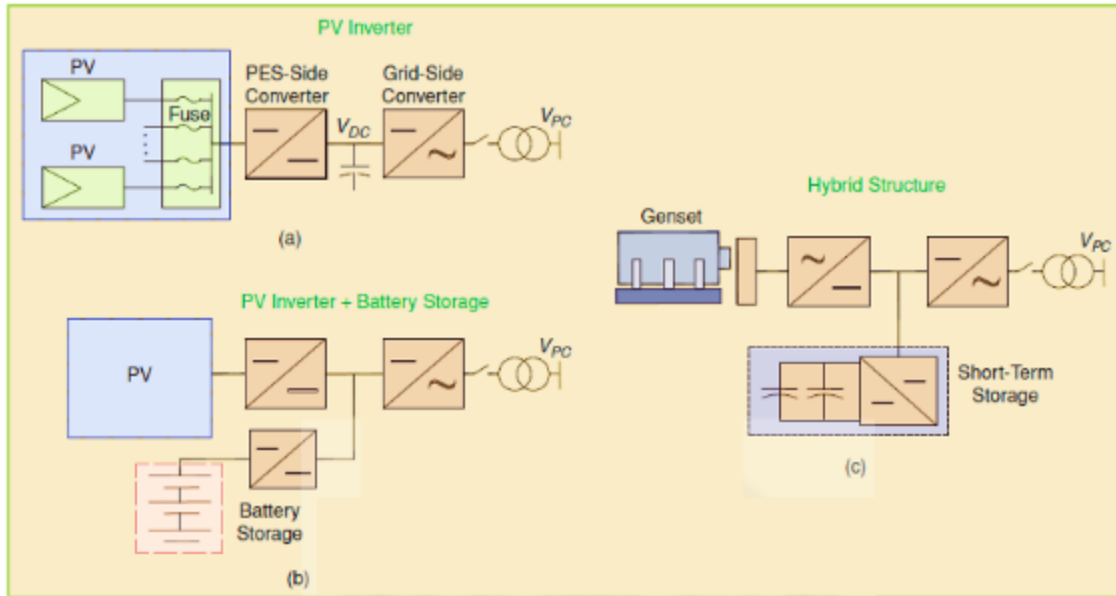
ساختار یک واحد تولید پراکنده معمولی و قابل تنظیم در شکل (۲-۳) نشان داده شده است، که از یک موتور رفت و برگشتی به عنوان منبع انرژی اولیه استفاده می کند. یک واحد DG مبتنی بر موتور رفت و برگشتی معمولاً از یک گاورنر برای کنترل سرعت و تنظیم جریان سوخت ورودی استفاده می کند. تنظیم کننده ولتاژ اتوماتیک (AVR) ولتاژ داخلی ژنراتور سنکرون را کنترل میکند، و در نتیجه در واحد DG از AVR و گاورنر برای کنترل توان اکتیو و راکتیو خروجی استفاده می کند.



شکل (۲-۳) ژنراتور معمولی به عنوان یک واحد DG قابل تنظیم [۱۰]

در مقابل، توان خروجی یک واحد DG غیرقابل تنظیم معمولاً بر اساس استراتژی دنبال کردن بیشینه توان (MPPT) کنترل میشود. واحدهایی که از منابع تجدیدپذیر استفاده می کنند معمولاً غیرقابل تنظیم هستند. برای مثال یک واحد بادی غیرقابل تنظیم با توجه به تغییر سرعت وزش باد، برای استخراج بیشترین توان ممکن از روش MPPT استفاده کند.

شکل (2-4) سه ساختار برای اتصال یک واحد DER که از مبدل الکترونیک قدرت استفاده می کند را نشان می دهد. شکل یک واحد DG مبتنی بر فوتوولتائیک (PV) غیرقابل تنظیم را نشان می دهد که در آن PV از طریق یک مبدل dc-dc و یک مبدل dc-ac پشت به پشت به میکروگرید متصل شده است. ساختار شکل (2-4-الف) را می توان برای واحدهایی که بر خلاف PV تنظیم پذیر هستند نیز بکار برد و به طور مشابه اگر PV را با ذخیره کننده انرژی جایگزین کنیم، یک واحد DS همراه با مبدل الکترونیک قدرت خواهیم داشت.



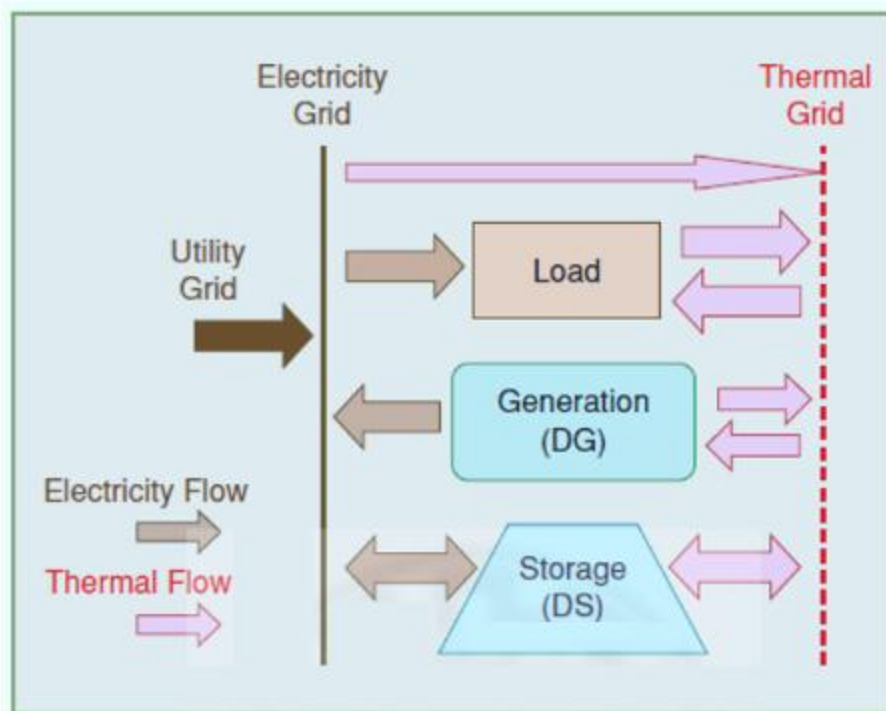
شکل (۴-۲) ساختارهای معمول برای اتصال واحدهای DER با ادوات الکترونیک قدرت به میکروگرید [۱۰]

شکل (۴-۲ب) یک واحد DER هیبرید مجهز به ادوات الکترونیک قدرت را نشان می دهد، که در آن سیستم مبدل از دو مبدل موازی $dc-dc$ و یک مبدل $dc-ac$ تشکیل شده است. از این آرایش می توان برای تبدیل واحدهای غیرقابل تنظیم به واحدهای قابل تنظیم استفاده کرد. به عنوان نمونه، اگر چه توان خروجی آرایه های PV غیرقابل کنترل است ولی می توان با کنترل مناسب مبدلها، توان خروجی قابل کنترلی در اختیار داشته باشیم. از این طریق میتوان یک توربین بادی غیرقابل تنظیم را نیز به یک واحد DER هیبرید قابل تنظیم تبدیل نمود.

شکل (۴-۲ب) نیز یک سیستم هیبرید، متشکل از سیستم ژنراتور و واحد ذخیره خازنی را نشان می دهد. یکی از مشکلات اصلی سیستم ژنراتور کند بودن آن در افزایش و کاهش توان می باشد.

یک میکروگرید می تواند انواع بارهای الکتریکی و حرارتی را تامین نماید. در حالت متصل به شبکه، شبکه توزیع بالادست را می توان به عنوان باس بینهایت در نظر گرفت. بدین ترتیب میتوان، توان اضافی تولید شده را به شبکه بالادست فروخت و در زمان مورد نیاز، کمبود توان را با استفاده از شبکه جبران نمود، به نوعی که تعادل میان تولید و مصرف برقرار گردد. در صورتی که میزان تبادل توان با شبکه دارای محدودیت باشد می توان از قطع بار تولید یا بار زائد برای حفظ تعادل میان تولید و مصرف مصرف استفاده نمود. زمانی که از میکروگرید به صورت جدا از شبکه بهره برداری می شود، معمولاً قطع بار تولید و استفاده از بار زائد برای حفظ تعادل میان بار و تولید و در نتیجه حفظ پایداری ولتاژ زاویه، غیرقابل اجتناب است. در این شرایط برای انجام پایان نامه مهندسی برق باید استراتژی بهره برداری به گونه ای طراحی شود که بارهای حساس در اولویت سرویس دهی قرار گیرند. به علاوه، میکروگرید باید قابلیت تامین بارهای با قابلیت اطمینان مشخص و کیفیت توان خاصی را داشته باشد. در عمل، قسمتی از بارهای غیرحساس را می توان به عنوان بارهای قابل کنترل در نظر گرفت و از آنها برای کاهش پیک بار و هموارسازی پروفایل بار استفاده نمود یا حتی در بازه های زمانی خاصی که یک واحد DG اضافی در مدار است، به آنها سرویس داد. بارهای غیرحساسی که غیرقابل کنترل هستند نخستین گزینه برای قطع محسوب می شوند.

شکل (۵-۲) یک شمای کلی از جریان انرژی الکتریکی و حرارتی یک میکروگرید شامل بار، تولید، ذخیره و شبکه الکتریکی و حرارتی را نشان می دهد. با توجه به این شکل می توان دو سطح کنترلی برای میکروگرید در نظر گرفت، سطح کنترلی اجزاء و سطح کنترلی سیستم.



شکل (۲-۵) جریان انرژی در یک میکروگرید [۱۰]

۲-۵- کنترل واحدها در میکروگرید

استراتژی های کنترلی برای واحدهای DER در یک میکروگرید، بر مبنای عملکرد مورد نیاز و سناریوهای بهره برداری ممکن، انتخاب می شوند. به علاوه کنترل یک واحد DER با توجه به ماهیت تعامل آن واحد با سیستم و دیگر واحدهای DER تعیین میشود.

استراتژی های اصلی کنترلی برای یک واحد DER عبارتند از : کنترل ولتاژ فرکانسی و کنترل توان اکتیو راکتیو. در جدول (۲-۲) طبقه بندی کلی از استراتژی های کنترلی یک واحد DER نشان داده شده است این طبقه بندی شامل دو نوع استراتژی اصلی وابسته (grid-following) و مستقل (grid-forming) بوده که هر کدام به نوبه خود به دو استراتژی غیر تعاملی و تعاملی تقسیم می شوند.

جدول (۲-۲) استراتژی‌های کنترلی واحدهای DER [۱۱]

	<i>Grid-Following Controls</i>	<i>Grid-Forming Controls</i>
<i>Noninteractive Control Methodes</i>	Power export (with/without MPPT)	Voltage and frequency control
<i>Interactive Control Methods</i>	Power dispatch Real and reactive power Support	Load sharing (droop control)

رویکرد کنترلی وابسته زمانی که کنترل مستقیم ولتاژ و یا فرکانس در PCC نیاز نباشد به کار می‌رود. در صورتی که توان خروجی واحد DER به صورت مستقل از دیگر واحدها یا بار کنترل شود (همانند واحدهای DER غیرقابل تنظیم) از استراتژی غیر تعاملی استفاده می‌شود. به عنوان مثال کنترل MPPT یک توربین بادی نوعی استراتژی غیر تعاملی به شمار می‌رود. در استراتژی کنترلی تعاملی نقطه کار تولید توان اکتیو راکتیو واحدهای DER، به صورت یک فرمان ورودی از سوی کنترل کننده مرکزی میکروگرید تعیین می‌شود. این نقطه کار ممکن است در انجام پایان نامه بر اساس پخش بار و یا جبران توان اکتیو راکتیو بار یا فیدر تعیین گردد استراتژی کنترلی غیرتعاملی مستقل یک روش صریح برای کنترل ولتاژ و فرکانسی یک واحد DER قابل تنظیم در زمان در دسترس نبودن شبکه بالادست محسوب می‌شود. بر مبنای این استراتژی، در حالت جدا از شبکه، یک واحد DER خاصی، وظیفه تامین توان مورد نیاز برای تعادل میان بار و تولید، تنظیم ولتاژ و پایداری فرکانس را بر عهده می‌گیرد. در صورتی که دو یا چند واحد DG به صورت مشترک بار مورد نیاز را تامین کرده و به صورت همزمان به تغییرات بار میکروگرید پاسخ دهند، می‌توان از استراتژی

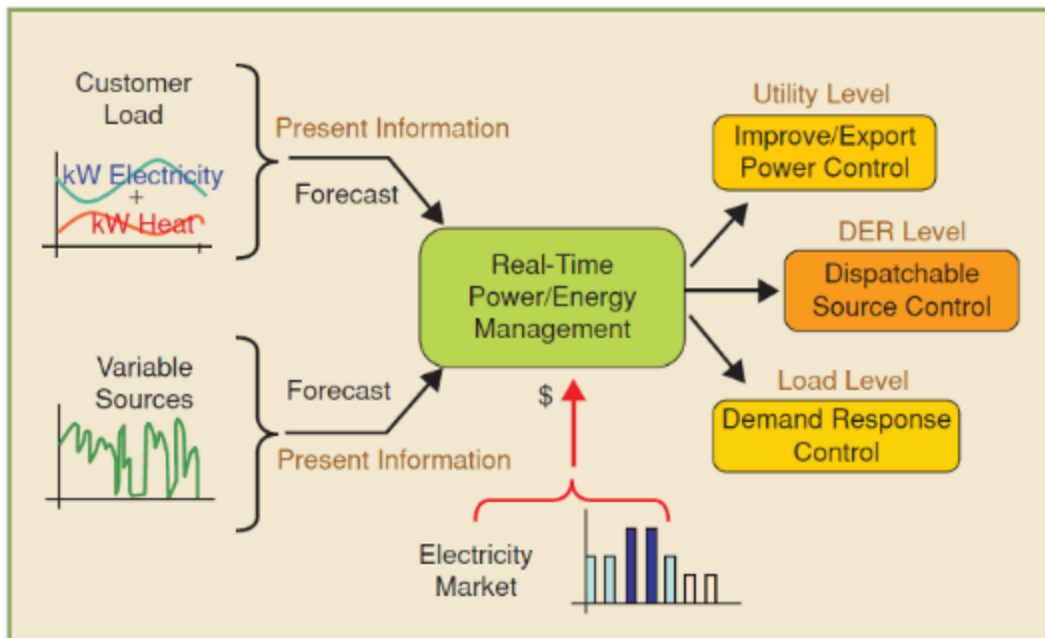
کنترلی تعاملی از طریق تغییر ولتاژ و فرکانسی واحدهای DER استفاده نمود

بهره برداری از یک میکروگرید در زمان وجود بیش از یک واحد DER، به ویژه در حالت جدا از شبکه، نیازمند داشتن یک استراتژی مدیریت توان (PMS) و یک استراتژی مدیریت انرژی (EMS) است. پاسخ سریع یک EMS/PMS در میکروگرید نسبت به یک سیستم قدرت سراسری بنا به دلایل زیر، از اهمیت بالاتری برخوردار است:

- حضور منابع انرژی پراکنده کوچک و متعدد با ظرفیت و مشخصات توانی بسیار متفاوت
 - نبود یک منبع تولید انرژی غالب (مانند بادی بینهایت) در زمان جدا بودن از شبکه
 - امکان ناپایداری ولتاژ زاویه به دلیل پاسخ سریع منابع انرژی پراکنده دارای تجهیزات الکترونیک قدرت
- در صورت اتخاذ نمودن تدابیر مناسب

شکل (6-۲) جریان ورود اطلاعات و خروجی های بلوک EMS/PMS برای یک میکروگرید را نشان می

دهد.



شکل (۶-۲) جریان اطلاعات و نقش یک EMS/PMS در میکروگرید [۱۰]

بلوک EMS/PMS داده‌های موجود یا پیش‌بینی شده مربوط به میزان تولید، مقادیر بار و اطلاعات بازار برق را دریافت می‌کند تا بتواند کنترل مناسبی بر پخش بار، میزان تولید ژنراتورها، میزان تبادل انرژی با شبکه سراسری، منابع قابل تنظیم و بارهای قابل کنترل داشته باشد. EMS/PMS ممکن است بنا به دلایل متفاوتی مقدار توان تولیدی یک DER را تغییر دهد که برخی از این دلایل عبارتند از:

- تقسیم مناسب توان اکتیو و راکتیو بین واحدهای DER
- پاسخ مناسب به اغتشاشات ماندگار یا گذرا
- تعیین نقطه تنظیم واحدهای DER جهت تعادل توان در میکروگرید و حفظ فرکانس
- امکان سنکرون شدن با شبکه سراسری، در صورت نیاز

در یک میکروگرید متصل به شبکه، توان تولیدی واحدهای DER با اهداف مشخصی مانند کمینه سازی خرید انرژی از شبکه (پیک سایی) از قبل تعیین میشود و هر کدام از واحدها به گونه ای کنترل می شوند. که به صورت یک باسی P-Q (توان اکتیو راکتیو) یا P-V (توان اکتیو ولتاژ) مورد بهره برداری قرار گیرند. بنابراین، شبکه بالادستی، تنها اختلاف توان اکتیو راکتیو تولیدی و مصرفی را تامین میکند. اما در حالت جدا از شبکه، کل بار باید توسط واحدهای داخلی تامین گردد و در غیر این صورت، باید از فرآیند قطع بار برای تعادل میان تولید و مصرف استفاده شود. علاوه بر این، وجود استراتژی های کنترلی توان اکتیو راکتیو انعطاف پذیر و سریع برای کمینه سازی اثرات دینامیکی میکروگرید در انجام پایان نامه نیز لازم است، اثراتی مانند حالات گذرای ناشی از جزیره ای شدن، کاهش توان و نوسان فرکانسی. یک EMS/PMS مطلوب باید الزامات تعادل توان در کوتاه مدت و مدیریت انرژی در بلند مدت را مدنظر قرار دهد. تعادل توان در کوتاه مدت باید به گونه ای برقرار گردد که امکان:

- دنبال کردن بار، تنظیم ولتاژ و کنترل فرکانس بر اساس تقسیم توان بین واحدهای DER و یا قطع بار، برای مقابله با عدم تعادل بار و توان
- پاسخدهی دینامیکی مناسب، تنظیم ولتاژ و فرکانسی در زمان بروز اغتشاشات و پس از آن
- فراهم نمودن توان با کیفیت مناسب برای بارهای حساسی سنکرونیزم مجدد با شبکه پس از در دسترس قرار گرفتن شبکه

را فراهم سازد.

در مدیریت انرژی بلند مدت EMS/PMS موارد زیر را باید مد نظر قرار داد :

- برنامه ریزی جهت تامین ظرفیت رزرو مناسب و تعیین میزان تولید واحدهای DER قابل تنظیم، بر

اساس فرآیند بهینه سازی مبتنی بر:

الف) کاهش هزینه تمام شده انرژی تولیدی (کاهش سوخت مصرفی)

ب) کاهش تلفات توان

ج) بیشینه کردن توان حاصل از واحدهای مبتنی بر انرژیهای تجدیدپذیر

د) کنترل توان خالصی خریداری شده فروخته شده از به شبکه سراسری بالادست

- در نظر گرفتن الزامات و محدودیت های خاصی واحدهای DER شامل نوع واحد، هزینه تولید، وابستگی

زمانی منبع انرژی اولیه، بازه های زمانی تعمیرات و نگهداری و اثرات زیست محیطی.

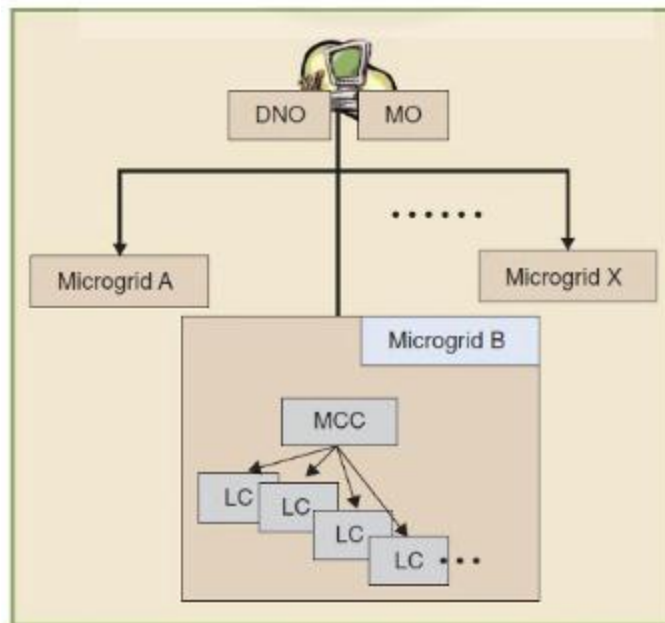
- مدیریت کنترل پروفایل بار و قطع و وصل بارهای غیرحساسی در زمان بروز اتفاقات گذرا در میکروگرید.

۷-۲- کنترل نظارتی در میکروگرید

یک میکروگرید از طریق سیستم کنترلی خود باید وظایفی مانند تامین بار حرارتی و یا الکتریکی، شرکت در

بازار انرژی، ارائه سرویسهای خاصی به بارهای حساسی، فراهم نمودن سرویسهای جانبی و غیره را تضمین

نماید.



شکل (۷-۲) ساختار سیستم کنترل نظارتی میکروگرید [۱۱]

بنابر سیستم کنترل نظارتی در یک میکروگرید را می توان به دو صورت پیاده سازی نمود : کنترل نظارتی متمرکز و غیرمتمرکز . مطابق شکل (۷-۲) این سیستم ها معمولا از سه سطح کنترلی سلسله مراتبی زیر تشکیل شده اند :

- متصدی شبکه توزیع (DNO) و متصدی بازار (MO)

- کنترل کننده مرکزی میکروگرید (MCC)

- کنترل کننده های محلی (LCS) مربوط به هر واحد DER و بار

DNO در زمان بهره برداری از چند میکروگرید در نظر گرفته میشود. به علاوه یک یا چند MO مسولیت اداره ی بازار، در هر منطقه خاصی را بر عهده میگیرند. DNO , MO به میکروگرید تعلق ندارند بلکه نماینده شبکه سراسری هستند. واسط اصلی میان DNO/MO و میکروگرید، MCC است. MCC وظایف و

نقشهای متفاوتی را بر عهده دارد مانند پیشینه کردن سود حاصله از میکروگرید و هماهنگ سازی میان کنترل کنندههای محلی مختلف. کنترل کنندههای محلی، واحدهای DER و بارهای قابل کنترل را در میکروگرید کنترل می کنند. با توجه به رویکرد کنترلی، هر LC ممکن است دارای سطح خاصی از هوشمندی و قدرت تصمیم گیری باشد. در حالت کنترل متمرکز، هر LC تنها دستورات صادر شده از MCC مربوط به خود را اجرا میکند.

در حالت غیرمتمرکز، هر LC با توجه به شرایط خود و مستقل از MCC تصمیم گیری کرده و تصمیمات لازم را به صورت محلی اتخاذ می کند. بنابراین، در رویکرد غیرمتمرکز، LCها از استقلال بیشتری برخوردار هستند. در هر دو رویکرد، برخی تصمیمات به صورت محلی اتخاذ می شود. به عنوان مثال یک LC برای کنترل ولتاژ، نیازی به دریافت دستور از MCC ندارد. در رویکرد متمرکز انجام پایان نامه ، کنترل کننده های محلی فرامین صادره از MCC را در شرایط متصل به شبکه اجرا کرده و در مواردی دارای استقلال هستند، مانند بهینه سازی محلی برای تبادل توان واحدهای DER و دنبال کردن بار بلافاصله پس از گذار به حالت جدا از شبکه. MCC با توجه به استراتژی قیمت دهی و فرآیند بهینه سازی، میزان تولید واحدهای DER قابل کنترل را تعیین کرده و در مورد سرویس دهی به بارهای غیرحساس با اولویت پایین تر تصمیم گیری میکنند. در رویکرد غیرمتمرکز در انجام پایان نامه مهندسی برق ، تصمیمات کنترلی توسط کنترل کنندههای محلی DER اتخاذ می شود (مانند بهینه سازی توان تولیدی برای تامین بار و پیشینه کردن فروشی توان به شبکه سراسری با توجه به قیمت بازار)

MCC از طریق کنترل متمرکز، میزان تولید محلی را با توجه به قیمت بازار و محدودیتهای امنیتی بهینه کرده و بدین ترتیب تبادل توان میکروگرید با شبکه سراسری را کنترل میکند. این کار با تعیین نقطه کار واحدهای DER و بارهای قابل کنترل در میکروگرید حاصل میشود. شکل (۸-۲) مسیر تبادل اطلاعات میان MCC و LC را در استراتژی کنترل متمرکز نشان می دهد. همانطور که بر میآید، وجود یک

ارتباط دو سویه میان MCC و LC الزامی است. MCC تصمیمات لازم را برای بازههای زمانی مشخصی از پیش تعیین شده اتخاذ می کند، به عنوان مثال هر ۱۵ دقیقه برای ساعت یا ساعات بعدی.



شکل (۸-۲) مسیر تبادل اطلاعات در استراتژی کنترل متمرکز [۱۰]

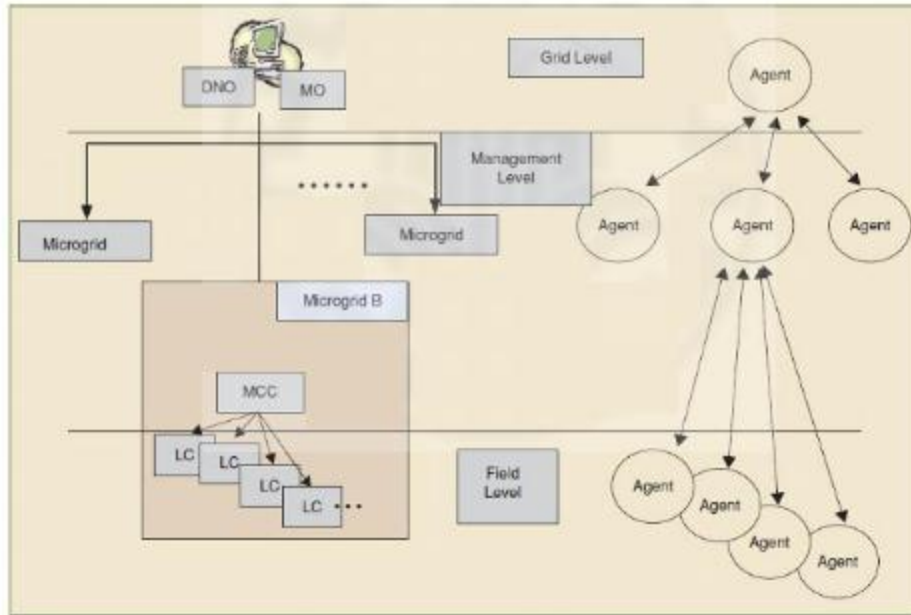
بر اساس قیمت بازار و ظرفیت واحدها، کنترل کنندههای محلی DER، پیشنهاد خود را با در نظر گرفتن سطح تولید به MCC ارائه می کنند. به طور مشابه، کنترل کنندههای محلی بار، با توجه به اولویت سرویس دهی، میزان بار مورد نیاز خود را پیشنهاد میدهند. MCC با توجه به سیاست بازار او در نظر گرفتن مواردی مانند پیشنهادات DER و بارها، قیمت بازار، محدودیت امنیتی شبکه، پیش بینی تولید منابع تجدیدپذیر و پیش بینی بار، با انجام بهینه سازی، به تعیین نقطه کار تولید واحدهای DER قابل کنترل، نقطه کار بارهای قابل کنترل و قیمت های بازار برای دورههای بهینه سازی بعدی می پردازد. سپس بر اساس سیگنالهای صادر شده توسط

MCC، کنترل کننده‌های محلی میزان بار و سطح تولید خود را تنظیم می‌کنند و پیشنهادات خود را برای دوره

بعد آماده می‌کنند

۲-۷-۲- کنترل غیر متمرکز میکروگرید

در رویکرد کنترلی غیرمتمرکز، واحدهای DER و بارها در داخل میکروگرید، از بیشترین قدرت تصمیم‌گیری و استقلال برخوردارند. مستقل بودن کنترل کننده‌های محلی بدین معناست که آنها به صورت هوشمند عمل کرده و می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و یک نهاد هوشمند بزرگتری را تشکیل دهند. در کنترل غیرمتمرکز در انجام پایان نامه مهندسی برق، وظیفه اصلی هر کنترل کننده، لزوماً بیشینه کردن درآمد یا کمینه کردن هزینه‌های واحد مربوطه نیست بلکه ارتقا کارایی کل میکروگرید می‌باشد. بنابراین، ساختار کنترلی در این حالت باید به گونه‌ای طراحی شود که فاکتورهای اقتصادی، زیست محیطی و فنی را در نظر گیرد این خصوصیات نشان می‌دهد که یک سیستم چند کارگزارهای (MAS) می‌تواند اولین کاندید برای پیاده‌سازی سیستم کنترلی غیرمتمرکز در میکروگرید باشد. به لحاظ مفهومی، MAS صورت تکامل یافته سیستم کنترلی توزیع شده کلاسیک با قابلیت کنترل نهادهای پیچیده و بزرگ می‌باشد. هر کارگزار از اطلاعات خود برای تصمیم‌گیری آینده استفاده می‌کند. روشهای مبتنی بر هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی یا سیستمهای فازی می‌تواند در MAS به کار گرفته شود. شکل (۹-۲) شمایی از ساختار کنترلی غیرمتمرکز را نشان می‌دهد.



شکل (۹-۲) ساختار کنترلی MAS در استراتژی کنترلی غیرمتمرکز [۱۱]