

## استراتژی مدیریت شارژ و دشارژ منبع ذخیره ساز در حضور تولید پراکنده مبتنی بر پیل سوختی در ریزشبکه

مصطفی صدیقی زاده<sup>۱</sup>، بهناز کشاورز محمدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

### چکیده

مطالعات اخیر نشان می دهد که حدود ۲۰٪ تا ۳۰٪ انرژی مصرفی بدون نیاز به تغییرات در ساختار فیزیکی سیستم و تنها به وسیله عملکرد بهینه و مدیریت شده قابل کاهش خواهد بود. یکی از روش های کاهش تلفات و پاسخ به نیاز مصرف کنندگان و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در دسترس به صورت محلی مانند انرژی خورشیدی، باد، هیدروژن و ... و ترکیب آنها برای پیاده سازی سیستم های مدولار، قابل گسترش و برنامه ریزی می باشد. تغییرات سطح شارژ باتری (SOC) نسبت به زمان در منبع ذخیره ساز مبتنی بر پیل سوختی بدون مدیریت تراکم سیستم توزیع انرژی الکتریکی با سیر نزولی همراه است و شارژ باتری خیلی سریعتر خالی می شود ولی منبع ذخیره ساز مبتنی بر پیل سوختی با مدیریت تراکم سیستم توزیع انرژی الکتریکی سیر نزولی سطح شارژ باتری نسبت به حالت بدون مدیریت تراکم خیلی کمتر است و شارژ باتری خیلی دیرتر تمام می شود. همچنین کیفیت توان در منبع ذخیره ساز در حضور تولید پراکنده، که توسط مدیریت تراکم برای پیل سوختی در ریزشبکه مشخص شده اند دارای نوسانات ولتاژ کم و کیفیت توان بهتری نسبت به مکان هایی است که بدون مدیریت تراکم برای سیستم توزیع انرژی الکتریکی با توجه به برنامه ریزی بهینه شارژ و دشارژ منبع ذخیره ساز در حضور تولید پراکنده مبتنی بر پیل سوختی در ریز شبکه توسط روش های پخش بار با بهره گیری از روش فازی مشخص شده اند، است.

**کلمات کلیدی:** مدیریت شارژ، منبع ذخیره ساز، پیل سوختی، ریزشبکه.

## مقدمه

با رشد روز افزون مجامع انسانی و رشد صنعتی جوامع مختلف، نیاز به منابع انرژی رو به فزونی است. از سویی دیگر منابع فسیلی در جهان رو به کاهش هستند و این منابع از نظر اندازه و مقدار محدود و کم بوده و در ضمن باعث آلودگی محیط زیست نیز می‌شوند. لذا در سال‌های گذشته، تمایل و نظر محققان به استفاده از منابع جدید و تجدیدپذیر انرژی رو به گسترش گذاشته است. پیشرفت مسائل مربوط به محیط زیست و ترکیب آن با فناوری‌های استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی و اتصال آنها به شبکه قدرت موارد نو را پیش روی محققین قرار داده است. از جمله این منابع تجدیدپذیر انرژی و پاک می‌توان به انرژی خورشیدی، انرژی باد، پیل‌های سوختی، زمین گرمایی و ... اشاره کرد [1].

در این تحقیق به استراتژی مدیریت شارژ و دشارژ منبع ذخیره ساز در حضور تولید پراکنده مبتنی بر پیل سوختی در ریزشکه پرداخته می‌شود و با کنترل مناسب بر روی سیستم فوق، به دنبال بهره برداری بهینه از هر یک از منابع می‌گردد.

## پیشینه تحقیق

طبق تحقیقات ویلیز و همکاران در سال ۲۰۰۰ [10] از توان توربین بادی برای تغذیه الکتروولایزر و بار استفاده شده است. هرگاه توان تولیدی توسط توربین بادی کمتر از توان مورد نیاز بار باشد، آنگاه پیل سوختی (FC1) با مصرف هیدروژن تولیدی توسط الکتروولایزر شروع به تولید توان الکتریکی نموده و بار را تغذیه می‌کند. در صورتی که این دو قادر به تأمین بار نباشد، مازاد توان مورد نیاز بار توسط ابر خازن (UC2) تأمین می‌شوند. شکل (۱) نشان دهنده بلوک دیاگرام شبیه سازی شده این سیستم می‌باشد. مطابق شکل (۱) FC/UC با یکدیگر به صورت یک زیرسیستم می‌باشند. نقش UC در این سیستم پوشش دینامیک کند FC در زمان‌های تغییر توان تولیدی FC و همچنین تأمین بار در صورت نیاز می‌باشد. همچنین استفاده از UC باعث کاهش هزینه سیستم می‌شود. در این سیستم UC تنها زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که FC در حال کار باشد. استراتژی شارژ و دشارژ UC در این سیستم بدین صورت است که در زمان‌های کم باری، توان مازاد FC در UC ذخیره می‌شود و در زمان پر باری کمبود توان توسط UC جبران می‌شود.

## فرضیه‌ها

۱. استفاده از سیستم تولید توان با منابع تجدیدپذیر انرژی به منظور مدیریت شارژ و دشارژ منبع ذخیره ساز (سیستم تولید پراکنده) مبتنی بر پیل سوختی در ریزشکه، باعث افزایش قابلیت اطمینان سیستم تولید توان پراکنده می‌شود.
۲. کنترل کننده مورد استفاده و طراحی شده می‌تواند نقش مهمی در تعیین بهره برداری مناسب از سیستم (سیستم تولید پراکنده) مبتنی بر پیل سوختی در ریزشکه داشته باشد.

## اهداف و کاربردهای تولیدات پراکنده

هدف اصلی از به کارگیری واحدهای تولید پراکنده، تأمین توان راکتیو موردنیاز بارهای شبکه است. طبق این تعریف نیازی به تأمین توان راکتیو موردنیاز از طریق این تجهیزات نمی‌باشد، هر چند که برخی از واحدهای تولید پراکنده قادر به تولید توان راکتیو نیز می‌باشند و بخشی از توان راکتیو بارها را نیز تأمین می‌نمایند. همچنین جهت تأمین نیازمندی‌های بار و شبکه و با توجه به نوع تولید پراکنده، کاربردهای مختلفی را برای این تولیدات در نظر گرفته‌اند که عبارت است از:

## تولید همزمان برق و حرارت (CHP).

انرژی حرارتی بسیاری در فرآیند تبدیل سوخت به انرژی الکتریکی تولید می‌گردد. به طور متوسط،  $\frac{2}{3}$  انرژی تولیدی در طی این فرآیند تبدیل به انرژی حرارتی می‌گردد. این حرارت تولید شده در صورت نزدیکی به مراکز مصرف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

**تغذیه پشتیبان:**

تولید پراکنده می‌تواند در شبکه توزیع در برخی مواقع که یکی از بخش‌های شبکه دچار مشکل شده است، به‌طور اضطراری بار موردنیاز برخی مصرف‌کنندگان که دارای هزینه خاموشی هنگفتی می‌باشند را تأمین کند.

**پیکسای:**

هزینه تأمین انرژی موردنیاز بارهای شبکه در هر ساعت وابسته به میزان بار شبکه و آمادگی نیروگاه‌ها می‌باشد. در صورتیکه هزینه تأمین انرژی توسط  $DG$  در ساعات پیک از هزینه خرید انرژی از شبکه در این ساعات کمتر باشد، می‌توان از این تولیدات جهت کاهش هزینه‌های تأمین انرژی الکتریکی استفاده نمود. در این حالت  $DG$  در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰۰ ساعت در سال به تأمین انرژی الکتریکی موردنیاز مصرف‌کنندگان می‌پردازد.

**پشتیبانی شبکه:**

استفاده از تولید پراکنده قابلیت کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در سایر بخش‌ها از جمله تقویت ولتاژ شبکه، کاهش تلفات خطوط، کنترل توان راکتیو، آزادسازی ظرفیت خطوط انتقال و افزایش ظرفیت اضطراری شبکه را دارا می‌باشد.

**تعویق هزینه‌های احداث و توسعه شبکه:**

در این حالت با آنالیز و بررسی تولیدات پراکنده و هزینه‌ها در طول دوره بهره‌برداری و مقایسه با توسعه شبکه، روش مناسب جهت توسعه شبکه ارائه می‌گردد.

کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی با استفاده از تولیدات مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و بالا بودن راندمان و آلودگی کمتر در تولیداتی که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند.

**تأمین خدمات جانبی<sup>۲</sup> موردنیاز جهت بهره‌برداری شبکه:**

در شبکه‌های قدرت تجدید ساختار یافته، قابلیت ارائه خدماتی همچون ذخیره چرخان، ذخیره تکمیلی و راه‌اندازی شبکه، دارای اهمیت زیادی می‌باشند.

**بهبود کیفیت برق‌رسانی:**

حضور منابع تولیدات پراکنده در نزدیکی مراکز مصرف می‌تواند تأثیرات مثبتی بر روی قابلیت اطمینان و کاهش تعداد و تداوم مدت‌زمان خاموشی‌های مصرف‌کنندگان و همچنین افزایش کیفیت برق‌رسانی به مراکز بار با بهبود پروفیل ولتاژ در نقاط مصرف داشته باشد.

**- مولدهای برق با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر**

انرژی‌های تجدیدپذیر کاربردهای بسیار وسیعی دارد و به اشکال مختلف می‌توان در تأمین توان الکتریکی از آن‌ها استفاده کرد:

**توربین‌های بادی**

استفاده از انرژی باد چیز تازه‌ای نیست در گذشته‌های دور کشتی‌های بادبانی را به کمک انرژی باد به حرکت درمی‌آوردند و همین‌طور آسیاب‌های بادی نمونه‌های بارز استفاده از انرژی باد در گذشته می‌باشد. توربین‌های بادی از نظر شکل ظاهری به دودسته تقسیم می‌شوند که نوع اول عمومیت بیشتری دارد:

توربین‌های با محور افقی: که متشکل از یک‌پایه یا برج می‌باشند و یک قسمت فوقانی برج که دارای یک شفت است و در قسمت بیرون برج بر روی شفت یک پروانه که معمولاً دو باله یا سه باله دارد بر روی آن قرار گرفته و طول باله‌ها از ۱۰ تا ۳۰ متر می‌رسد که بستگی به توان توربین بادی و ارتفاع برج دارد در قسمت داخلی بالای برج بر روی سر دیگر محور جعبه‌دنده و محرک ژنراتور قرار دارد. توربین‌های با محور عمودی: مولد این توربین‌ها معمولاً بر روی سطح قرار می‌گیرد و محور آن‌ها به‌صورت عمودی از آن‌ها خارج شده و تا ارتفاع مناسب بالا می‌رود در قسمت فوقانی این محور پره‌های توربین به شکلی که باد بتواند عامل چرخش آن شود قرار دارند.

توربین‌های بادی می‌توانند به صورت اختصاصی و یا در مزارع بادی در کنار توربین‌های دیگر تأمین توان الکتریکی نمایند. گاهی با استفاده از این توربین‌ها در کنار فتوولتائیک‌ها و با استفاده از باتری خانه‌ها می‌توان به طور کامل انرژی یک محل را تأمین کرد.

توربین‌های بادی در مقیاس‌ها و کاربردهای مختلفی به کار می‌روند، از مزارع بادی با تعداد توربین‌های زیاد که به شبکه متصل هستند تا توربین‌های منفردی که ممکن است به شبکه وصل نباشند و یا توربین‌هایی که برای پمپاژ آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به مورد کاربرد، راستای محور و ظرفیت تولید، توربین‌ها دارای ساختارهای متفاوت از نقطه نظر اجزا تشکیل‌دهنده و روش‌های کنترلی می‌باشند. اجزای اصلی توربین‌های بادی عبارت‌اند از: روتور، جعبه‌دنده، محور کم‌سرعت، محور سرعت بالا، ژنراتورها، بدنه، سیستم ترمز، سیستم انحراف توربین به چپ و راست (سیستم گرداننده)، بادنا و بادسنج، سیستم کنترل و ایمنی، برج و سایر اجزا. در این پژوهش در بین منابع تجدید پذیر از منابع بادی استفاده می‌گردد.

### سیستم‌های فتوولتائیک

ولتاژ در سلول‌های فتوولتائیک توسط یک پیوند شیمیایی ناشی از برخورد فوتون‌های نور به دست می‌آید. در سیستم‌های فتوولتائیک بدون بهره‌گیری از مکانیزم‌های متحرک، انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد. جزء اساسی نیروگاه‌های فتوولتائیک را سلول‌های فتوولتائیک تشکیل می‌دهند. این سلول‌ها تازمانی که در مقابل نور خورشید قرار دارند مثل یک باتری کوچک تولید برق می‌کنند. با اتصال‌های سری و موازی تعداد زیادی از سلول‌ها واحدی بزرگ‌تر به دست می‌آید که آرایه خورشیدی نامیده می‌شود.

توان الکتریکی به دست آمده از آرایه خورشیدی به دلیل تغییر شرایط محیط از لحاظ دما و شدت نور همواره دارای نوسان است. سلول‌های فتوولتایی زمانی بیشترین راندمان را دارند که بهترین حالت قرار گرفتن نسبت به خورشید را داشته باشند و حداکثر توان را جذب نمایند.

### سیستم‌های حرارتی - خورشیدی

علاوه بر سلول‌های فتوولتائیک که مستقیماً نور را به توان الکتریکی تبدیل می‌کنند سیستم‌های خورشیدی دیگری نیز از قبیل سیستم‌های حرارت خورشیدی وجود دارند که اساس این روش‌ها استفاده از نور یا گرمای خورشید به عنوان یک عامل محرک جهت راه‌اندازی مولدهاست. امروزه پنج نوع از این نیروگاه‌ها شناخته شده‌تر می‌باشند:

- نیروگاه‌های خورشیدی هلیواستاتی (دریافت‌کننده مرکزی)

- نیروگاه‌های با آینه‌های سهموی دراز

- برج‌های نیرو (دودکش خورشیدی)

- نیروگاه‌های با استخر آب شور (استخر خورشیدی)

- دریافت‌کننده مرکزی آینه‌های شلجمی (بشقابی - استرلینگ)

نیروگاه‌هایی که با فن‌آوری‌های دریافت‌کننده مرکزی و آینه‌های شلجمی - موتورهای استرلینگ نصب شده‌اند، دارای بازدهی معادل ۲۵-۱۵ درصد برای تبدیل انرژی خورشیدی به برق هستند. نیروگاه‌های دودکش و استخر خورشیدی، به دلیل کارکرد قابل اطمینان و نصب ساده قسمت‌های اصلی آن‌ها، به خصوص برای کشورهای درحال توسعه مناسب هستند.

در نیروگاه‌های حرارتی - خورشیدی نیز به دلیل طبیعت انرژی خورشیدی امکان تولید برق مستمر و بدون وقفه برای مصرف‌کنندگان، با محدودیت‌هایی روبرو می‌باشد. این محدودیت‌ها با در نظر گرفتن سیستم پشتیبان و احیاناً سیستم ذخیره‌ساز انرژی گرمایی قابل حل است.

برای تأمین بدون وقفه برق مصرف‌کنندگان، امکان پیوند سیستم‌های پشتیبان سوخت فسیلی با چرخه نیروگاه‌های حرارتی - خورشیدی از نوع آینه‌های سهموی دراز، هلیواستاتی و آینه‌های شلجمی وجود دارد. برای پاسخ سریع به تغییرات طبیعی انرژی خورشیدی، سیستم‌های پشتیبان فقط از نفت یا گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌کنند<sup>۳</sup>

### مولدهای انرژی زمین گرمایی

انرژی گرمایی زمین، انرژی تجدید پذیری است که از حرارت مفید و قابل استخراج ناشی از گرمای گدازه‌ها و تخریب مواد رادیواکتیو موجود در اعماق زمین به دست می‌آید و این انرژی توسط بخار یا آب گرم به سطح زمین آورده می‌شود. انرژی گرمایی معمولاً به ۴ دسته تقسیم می‌شود، که عبارت‌اند از: هیدروترمال، لایه تحت فشار، تخته‌سنگ‌های خشک و داغ و گدازه‌های آتش‌فشانی می‌باشند. گرچه مشخصات فیزیکی هر یک از آن‌ها متفاوت است اما صرف‌نظر از اقتصادی بودن، هر یک از آن‌ها توانایی تولید برق را دارا می‌باشند.<sup>۴</sup>

بین انواع مختلف انرژی زمین گرمایی، انرژی هیدروترمال بیش از سایر منابع توسعه پیدا کرده است و تنها نوعی است که به علت قیمت قابل رقابت آن کاربرد تجاری پیدا کرده است و این در حالی است که سایر سیستم‌ها در مرحله تست و آزمایش تجربی بسر می‌برند، هر چند دو نوع آخر به‌طور موفقیت‌آمیزی از لحاظ فنی توجیه شده و به‌طور تجربی، استخراج انرژی از آن‌ها بهبود داده شده است. روش‌های مختلفی جهت تبدیل انرژی زمین گرمایی به انرژی الکتریکی وجود دارند، که به‌عنوان مثال می‌توان از سیستم‌های بخار خشک و بخار انبساط آبی که جزو روش‌های قدیمی می‌باشند و نیز سیستم‌های سیکل دو مداره و جریان کلی که روش‌های جدیدتری بوده و از امتیازات قابل توجهی برخوردارند، نام برد.

### مقایسه تکنولوژی تولید پراکنده

استفاده از هر یک از منابع تولید پراکنده با توجه به شرایط مصرف‌کننده و هزینه انرژی تولیدی متفاوت می‌باشد. اقتصادی بودن هر یک از طرح‌های فوق بسته به هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، راندمان، هزینه سوخت و هزینه تعمیرات و نگهداری می‌باشد. در جدول ۱ مقایسه کلی برخی از منابع تولید پراکنده آمده است.<sup>۵</sup>

جدول (۱): مشخصات انواع تولیدات پراکنده

نوع تکنولوژی	موتور احتراق داخلی	توربین گازی	میکرو توربین	پیل سوختی
نوع سوخت	گاز طبیعی	گاز طبیعی	گاز طبیعی	گاز طبیعی
طول عمر (سال)	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰
مدت‌زمان راه‌اندازی سرد	۱۰ ثانیه	۱۰ دقیقه	۵-۲ دقیقه	کمتر از ۶ دقیقه
راندمان	۳۰-۳۷	۲۲-۳۷	۲۳-۲۸	۳۰-۴۶

### قابلیت فنی تولیدات پراکنده

مهم‌ترین عامل در بررسی نصب تولیدات پراکنده، شناسایی ویژگی‌ها و قابلیت‌های فنی این منابع می‌باشد. در بیشتر موارد نیاز به نصب این منابع به‌گونه‌ای است که بایستی قابلیت کارکرد به‌صورت جدا از شبکه را نیز داشته باشند. در ضمن هر واحد تولید پراکنده بایستی قابلیت ارتباط، کنترل و فرمان‌گیری از اپراتور را داشته و ابزار لازم برای حفاظت، اتصال و سنکرون‌سازی با شبکه اصلی در آن در نظر گرفته شده باشد. در جدول ۲ به برخی از مهم‌ترین قابلیت‌های فنی تولیدات پراکنده اشاره شده است.

جدول (۲): مهم‌ترین قابلیت‌های فنی تکنولوژی‌های تولید پراکنده

نوع واحد تولید	قابلیت انعطاف در تولید	رزرو	کنترل ولتاژ	کنترل فرکانس	قابلیت خود راه‌اندازی
نیروگاه‌های معمول	بله	بله	بله	بله	بله
واحدهای CHP	بله	بله	بله	بله	بله
دیزل ژنراتور	بله	بله	بله	بله	بله
نیروگاه بادی با ژنراتور القایی	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر
نیروگاه بادی دو تغذیه‌ای با ژنراتور القایی	بله	بله	بله	بله	خیر
سلول خورشیدی	خیر	خیر	بله	بله	خیر
میکرو توربین	بله	بله	بله	بله	خیر
پیل سوختی	بله	بله	بله	بله	خیر
نیروگاه آبی کوچک	بله	بله	بله	بله	بله

### مشخصه عملکردی تکنولوژی‌های DG

هم‌اکنون این پرسش مطرح می‌شود که چگونه می‌توان از مولدهای تولید پراکنده در شبکه توزیع بهره‌برداری کرد و آن‌ها را همزمان در یک شبکه قرارداد و در این شبکه مسائل مهمی همچون تلفات، حفاظت، هارمونیک‌ها، سطح ولتاژ، توان راکتیو و... چگونه حل می‌شود؟

بر اساس محدودیت تولید توان، عوامل تأثیرگذار در تولید و نیز نوع توان تولیدی می‌توان تولیدات پراکنده را از دیدگاه مشخصه عملکردی به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

گروه اول انواع مولدهایی هستند که به ژنراتورهای سنکرون مجهزند. این واحدها می‌توانند شبیه نیروگاه‌های تولید متمرکز مدل‌سازی شوند ولی دارای دو محدودیت می‌باشند:

محدودیت بالا و پایین توان خروجی:

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

محدودیت تأخیر در افزایش تولید توان در مدت‌زمان مشخص.

گروه دوم مولدهایی که بر پایه انرژی‌های نو کار می‌کنند. مشخصه اصلی این واحدها این است که توان خروجی آن‌ها به شدت تحت تأثیر شرایط محیط می‌باشد بنابراین این نوع واحدها مناسب برای استفاده در مواقع اضطراری نمی‌باشند.

در بسیاری از انواع این نوع مولدها توان خروجی به صورت تابعی از ولتاژ و فرکانس می‌باشد، یعنی:

$$P_G = f(f, v) \quad (2-2)$$

گروه سوم، سیستم‌های ذخیره‌سازهای انرژی هستند. این نوع از واحدهای DG محدودیت زمانی در قابلیت تولید توان دارند. به عبارت دیگر انرژی تحویلی این واحدها به مصرف‌کنندگان محدود می‌باشد. اگر  $E$  مقدار انرژی ذخیره شده در این واحدها و  $P_{g,i}$  مقدار توان تحویلی در مدت‌زمان  $\Delta t_i$  باشد، این واحدها را می‌توان با رابطه زیر مدل کرد.

$$(3-2)$$

$$\sum_i P_{g,i} \cdot \Delta t_i \leq E$$

### مزایای استفاده از مولدهای DG

با استفاده از شبکه‌های تولید پراکنده می‌توان بار پیک را به شدت کاهش داد چراکه این مولدها به خاطر کوچک بودن، مشکلات ناشی از راه‌اندازی و در مدار قرار دادن مانند نیروگاه‌های بزرگ را ندارند و از آن‌ها می‌توان در ساعات اوج مصرف

جهت کمک به تأمین توان شبکه استفاده کرد و از این طریق از سرمایه‌گذاری‌های بسیاری که جهت تأسیس نیروگاه‌های جدید و تأمین توان پیک لازم است جلوگیری می‌شود. با ادامه بحران‌های انرژی در جهان و افزایش رو به رشد قیمت سوخت‌های فسیلی اقبال عمومی بیشتری به سمت استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر به چشم می‌خورد. از این رو می‌توان از مولدهای انرژی‌های تجدید پذیر در شبکه توزیع استفاده کرد.

شبکه‌های تولید پراکنده به علت پراکندگی منابع توان در سطح آن و همچنین نزدیکی مصرف‌کنندگان به مراکز تولید انرژی از تلفات کمتری در سطح شبکه برخوردار هستند.

ظرفیت یک شبکه توزیع با تولید پراکنده بسیار بیشتر از شبکه همسان بدون تولیدات پراکنده می‌باشد، چراکه به علت نزدیکی مراکز تولید و مصرف به یکدیگر توان کمتری در خطوط و فیدرها جابجا می‌شود و از این رو چنین شبکه‌هایی ظرفیت بالایی دارند.

در شبکه‌های توزیع مبتنی بر واحدهای  $DG$  سرعت عملیات توسعه شبکه ناشی از عدم قطعیت در پیش‌بینی میزان بار و ظرفیت در دسترس، مطابق با رشد بار که در شبکه‌های توزیع بدون  $DG$  انجام می‌گیرد، کاهش می‌یابد که این می‌تواند سرمایه‌گذاری توسعه آتی شبکه را به تعویق اندازد. شبکه‌های با تولیدات پراکنده از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار هستند و این مزیت به واسطه بالا بودن تعداد مولدهای موجود در شبکه است.

با استفاده از واحدهای  $DG$  به صورت اتوماسیون در شبکه‌های توزیع اتوماسیون شده می‌توان از قابلیت بالایی در شبکه توزیع از نظر انجام پخش بار صحیح و حداکثر استفاده از ظرفیت شبکه برخوردار شد.

امکان تولید همزمان برق و گرما در مولدهای  $DG$  موجب می‌گردد استفاده از این شبکه‌ها راندمان بالاتری داشته باشد و از این طریق صرفه‌جویی انرژی چشمگیری خواهند داشت.

با ایجاد بازارهای رقابتی برق و افزایش دادوستدهای مستقیم و غیرمستقیم می‌توان انرژی تولیدی واحدهای  $DG$  را دادوستد کرد و معبرهای نسبتاً کم‌هزینه‌ای برای بازارهای رقابتی برق به وجود آورد، همچنین امکان فراهم کردن بازارهایی در مناطق دور دست فاقد سیستم‌های انتقال و توزیع و مناطق فاقد انرژی الکتریکی را به دست می‌دهد که می‌توان و از این طرق هزاران شغل مستقیم و غیرمستقیم ایجاد کرد.

برخی مشترکین نیز با استفاده از واحدهای اختصاصی  $DG$ ، امکان کاهش هزینه‌های پرداختی انرژی الکتریکی برای آن‌ها فراهم می‌شود.

با توجه به مزایای فوق‌الذکر و بسیاری دیگر از مزایا از جمله برخوردار بودن منابع  $DG$  از استانداردهای بالای زیست‌محیطی، آلودگی صوتی کمتر و ... در جهت احداث و بهره‌برداری از این شبکه‌ها مطالعات بسیاری انجام شده و بسیاری از کشورها مصمم به بهره‌برداری هر چه بیشتر از این شبکه‌ها هستند.

علاوه بر مزایای فوق‌الذکر، به‌کارگیری این واحدها معایبی را نیز به همراه دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- با توجه به این که شبکه‌های توزیع معمولاً به صورت شعاعی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، با نصب منابع  $DG$  در داخل این شبکه‌ها جهت شارش توان معکوس شده در نتیجه هماهنگی انجام شده بین تجهیزات حفاظتی شبکه، از قبیل فیوزها، ریکلوزرها و رله‌ها معتبر نخواهد بود و حفاظت این شبکه‌ها پیچیده‌تر می‌شود. البته میزان تأثیر  $DG$  بر روی هماهنگی عناصر حفاظتی بستگی به اندازه ظرفیت این منابع، نوع و نیز محل نصب آن‌ها دارد.

۲- برخی از منابع  $DG$  باعث کاهش کیفیت توان شبکه می‌شوند در این خصوص می‌توان به تغییر اندازه ولتاژ، افزایش بازه فرکانس و ایجاد هارمونیک‌های ولتاژ و جریان، اشاره کرد. همچنین جهت کاهش اثرات منفی ناشی از عدم هماهنگی منابع  $DG$  در شبکه‌های توزیع و کاهش اثرات منفی آن‌ها روی قابلیت اطمینان شبکه می‌بایستی مطالعاتی صورت گیرد.

۳- با به‌کارگیری منابع  $DG$  در شبکه‌های توزیع، بهره‌برداری و کنترل شبکه مشکل‌می‌شود، به عنوان مثال برای جلوگیری از برق‌دار شدن ناخواسته بخش‌های بی‌برق شده هنگام تعمیرات و انجام مانور توسط منابع  $DG$ ، باید تدابیر حفاظتی خاصی اندیشیده شود.

### پیل سوختی و منابع تولید پراکنده

تلاش‌های زیادی در گذشته صورت گرفته است تا اینکه DG در کنترل اولیه فرکانس مشارکت کند [۴ و ۵]. در مرجع یک سیستم پیل سوختی بدون یک اصلاحگر تلاش می‌کند تا توان مورد تقاضا را تأمین کند و در یک حالت یک سیستم پیل سوختی با اصلاحگر با توربین‌های بادی‌ای که پاسخ کند سیستم پیل سوختی را جبران می‌کنند، ترکیب می‌شود تا تعادل توان حاصل شود. سیستم پیل سوختی دارای پاسخ کند است، چه اصلاحگر موجود باشد یا نه، این کندی پاسخ عمدتاً به علت تأخیر زمانی سیستم تأمین هوا و دینامیک‌های چندراشه است. در سیستم‌های هیبریدی پیل سوختی-باتری ارائه شده است و تلاش‌هایی صورت گرفته است تا توان پیل سوختی و باتری خانه به تقاضای سمت dc تنظیم شود. در این موارد، سیستم‌های هیبرید در یک وضعیت خودکفا و بدون رابط با یک سیستم ac کار می‌کنند.

تحت این فلسفه عملکردی، DG باید در حین اغتشاشات محلی از شبکه حمایت کند، چون تولید مرکزی در دوره گذرا از سیستم‌های ولتاژ بالا پشتیبانی می‌کند. در طرح کنترلی ارائه شده در اینجا، توان سیستم هیبریدی هر دو تقاضای توان سمت ac و dc را پوشش می‌دهد. این بدان علت است که سیستم پیل سوختی طوری طراحی شده است که بتواند در هر دو حالت ذیل کار کند: زمانی که سیستم توزیع به سطح ولتاژ متوسط شبکه متصل باشد و وقتی از شبکه جدا شده و در حالت خودکفا (به عنوان بخشی از یک ریزشبه در آینده) کار می‌کند. مفهوم ریزشبه راهکار مؤثر برای کنترل شبکه‌های با سطح نفوذ بالای DG است.

### کنترل‌های ریز شبکه و منابع تولید پراکنده

اکثر DG های شامل یک ریزشبه نیز کنترل پذیرند. بنابراین، به منظور دستیابی به کلیه مزایای عملکرد تولید پراکنده کنترل پذیر، یک معماری سیستم کنترل سلسله مراتبی که شامل سه سطح کنترلی باشد از یک ریزشبه آتی انتظار می‌رود. کنترلر ریزشبه (MC) از اطلاعات محلی برای کنترل ولتاژ و فرکانس ریزشبه در شرایط گذرا استفاده می‌کند. کنترلر مرکزی ریزشبه (MGCC) عملکرد ریزشبه را بهینه می‌کند و سیستم‌های مدیریت توزیع (DMS) بهینه‌ساز چندین MGCC ای هستند که با هم در ارتباطند. از آنجا که کنترلر ارائه شده در این مقاله مبتنی بر اطلاعات محلی است، اولین لایه MC سیستم پیل سوختی-باتری را در ریزشبه آتی تشکیل خواهد داد. باتری خانه تنها در دوره گذرا توان را تحویل می‌دهد و در حالت دائم این پیل‌های سوختی هستند که کل نیاز توان را فراهم می‌کنند. کنترل طراحی شده است تا در صورت تغییر بار در حالت متصل به شبکه، بخشی از توان اکتیو و راکتیو مورد تقاضای سیستم را فراهم کند و یا در حالت جدا شده از شبکه، کل انرژی مورد تقاضا را فراهم کند. حالت دوم در دو صورت اتفاق می‌افتد یا به خاطر یک خطای دوردست که در سمت ولتاژ متوسط رخ داده است و یا اینکه برای برخی ریزشبه‌ها در برخی موارد حالت جزیره‌ای یک وضعیت مطلوب است. پس از رفع خطا، کنترلر سیستم پیل سوختی را با شبکه اصلی سنکرون کرده و اتصال الکتریکی بازیابی می‌شود. به منظور مطالعه بدترین سناریو، فرض می‌شود که نقطه کوپل مشترک (PCC) که سیستم هیبرید از آن و از طریق یک خط به شبکه توزیع وصل می‌شود دارای ظرفیت اتصال کوتاه پایینی باشد. پیکربندی سیستم شبیه پیکربندی یک ریزشبه است. بنابراین، عملکرد رضایت‌بخش سیستم هیبرید تضمین‌کننده ترکیب موفقیت‌آمیز آن با یک ریزشبه آتی است. پاسخ سیستم ابتدا تحت یک تغییر پله شدید در بار در حالت متصل به شبکه و سپس وقتی با خروج منبع دست‌بالا، تغییر در عملکرد جزیره‌ای رخ می‌دهد، توسط نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی می‌شود. انتظار می‌رود که در حالت دائم DSO باید با DG هماهنگ شود تا عملکرد بهینه شده و تلفات توان اکتیو کمینه شود و پروفیل ولتاژ مسطح باقی بماند.

استفاده از ذخیره‌ساز برای اهدافی از قبیل کاهش اوج بار و در نتیجه کاهش تلفات شبکه، تأخیر در توسعه شبکه، تجارت انرژی با توجه به قیمت متفاوت انرژی در طول ساعات شبانه‌روز و بهبود انتشار گازهای گلخانه‌ای امروزه از اهمیت زیادی برخوردار است. در فیدرهای شبکه توزیع به دلیل رشد بار سالانه فیدرها گپ انرژی ایجاد شده نسبت به ظرفیت نامی فیدر به مراتب کوچکتر بوده و در نتیجه توجیه پذیری اقتصادی ایجاد خط جدید با چالش مواجه است. از طرفی شرکت‌های توزیع ناچار به تأمین این توان اضافی به وسیله راه حل‌هایی همچون تغییر ساختار شبکه و احداث فیدر جدید هستند. این راه حل‌ها در مواردی با مسئله مالکیت اراضی، رفع حریم خط و در نتیجه زمانبر بودن



مواجهه است بنابراین می‌توان از باتری به منظور کاهش اوج بار فیدر و در نتیجه تأخیر در توسعه شبکه استفاده کرد. از طرفی با توجه به مالکیت بهره‌بردار شبکه بر ذخیره‌ساز و متفاوت بودن قیمت خرید و فروش انرژی برای مالک شبکه توزیع، امکان تبادل انرژی با شبکه برای حداکثر شدن سود حاصله وجود دارد.

### اهداف زیست محیطی و توسعه انرژی‌های پاک

سود حاصل از اهداف زیست محیطی در بسیاری از کشورها به جهت حمایت و توسعه انرژی‌های پاک طرح‌های مختلفی همچون بخش‌های مالیاتی، وام‌های کم‌بهره، اعطای یارانه و یا پاداش در عوض کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شود. آلاینده‌ها را می‌توان در دو دسته کلی گازهای گلخانه‌ای و گازهای سمی طبقه بندی نمود. گازهای گلخانه‌ای دارای اثرات مخرب فراگیر و سراسری بر روی شرایط جوی و آب و هوای می‌باشد. در این مقاله با در نظر گرفتن هزینه اجتماعی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در ازای واحد انرژی تولیدی، میزان سالیانه کاهش انتشار این آلاینده‌ها در نتیجه استفاده از ذخیره‌ساز، به صورت سودهایی برای مالکان این سیستم محاسبه می‌شود. به دلیل نرخ بالای انتشار گاز دیاکسید کربن در میان گازهای گلخانه‌ای تنها این گاز لحاظ شده است. در این مؤلفه با توجه به نمودار روزانه تولید گاز دی اکسید کربن توسط نیروگاه‌ها بر حسب  $KWh/Kg$  که با توجه به میانگین نمودار سالانه از داده‌های کشور ژاپن استخراج شده است (با توجه به وجود نیروگاه‌های هسته‌ای و برق آبی و استفاده از آنها در بار پایه در زمان‌های کمباری میزان آلاینده‌گی هوا در کمباری کمتر از پرباری است) به این نکته پرداخته شده است که استفاده از ذخیره‌ساز در شبکه به چه میزان در کاهش آلودگی هوا نقش دارد.

در چند دهه اخیر با توجه به مشکلات موجود در نیروگاه‌های سوخت فسیلی، استفاده از انواع تولیدات پراکنده قابل توجه بسیاری از کشورهای دنیا قرار گرفته است. این تولیدکننده‌های توان، دارای ویژگی‌های منحصر به فردی مانند کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، کاهش تلفات شبکه‌های توزیع برق، افزایش قابلیت اطمینان، بهبود پروفیل ولتاژ و به تعویق انداختن ساخت نیروگاه‌های جدید هستند. در سراسر دنیا متناسب با میزان توان نامی، سطح ولتاژ تولیدی و موارد دیگر، تعاریف مختلفی مختص هر کشور برای تولیدات پراکنده وجود دارد. در کاربرد منابع تولیدات پراکنده با توجه به عدم پیوستگی تولید و غیرهمزمانی در تولید و مصرف در شبکه، معمولاً نیاز به وسایل ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری و ابرخازن می‌باشد. اتصال برخی از تولیدات پراکنده به شبکه شامل فتوولتائیک، سلول‌های سوختی، میکروتوربین، توربین‌های بادی و تعدادی از ماشین‌های احتراق داخلی از طریق مبدل‌های الکترونیک قدرت صورت می‌پذیرد. سیستم کنترل مبدل‌های منابع تولید پراکنده در دو مد کاری یعنی مدهای کنترل ولتاژ و کنترل توان کار می‌کند، منابع تولید پراکنده برای اتصال به ریزشبکه‌ها نیاز به مبدل‌های الکترونیک قدرت دارند که این مبدل‌ها در دو حالت کنترل ولتاژ و توان کار می‌کنند. اگر ریزشبکه به شبکه سراسری متصل باشد منابع تولید پراکنده در مد کنترل توان کار می‌کنند در صورتی که ریزشبکه از شبکه سراسری جدا می‌گردد یکی از مبدل‌ها به عنوان مبدل کنترل ولتاژ در نظر گرفته می‌شود که فرکانس و ولتاژ مرجع سایر منابع تولید پراکنده را مشخص می‌کند. سایر مبدل‌ها که توان خروجی خود را کنترل می‌کنند به عنوان مبدل کنترل توان می‌باشند. کنترل صحیح مبدل‌ها بر روی شبکه باعث بهبود پروفایل ولتاژ، کاهش توان تلفاتی و بهبود پایداری ولتاژ می‌گردد. برای شاخص حساسیت ولتاژ جایابی مناسب منبع تولید پراکنده با مد کنترل ولتاژ، تغییرات ولتاژ شینه‌های شبکه را کنترل می‌کند به طوری که می‌تواند با تزریق توان اکتیو این تغییرات به حداقل مقدار خود برساند. بنابراین جایابی منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن مدهای کنترلی از اهمیت خاصی برخوردار می‌گردد. در ادامه ابتدا به بررسی مطالعات انجام شده و بیشینه تحقیق در زمینه جایابی منابع تولید پراکنده بر اساس توابع هدف مختلف و سپس به بررسی مدهای کنترلی این منابع پرداخته می‌گردد. در مرجع با استفاده از الگوریتم تکاملی به جایابی و مقداربایی بهینه منابع تولید پراکنده در یک شبکه استاندارد به منظور کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان پرداخته می‌شود. در مرجع [۲] مسئله جایابی بهینه منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن بار متغیر بررسی شده است. در این مرجع تأثیر منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن بار متغیر بر روی هزینه بهره‌برداری سیستم و قابلیت اطمینان سیستم نیز بررسی شده است. در مرجع [۳] تأثیر انواع مختلف مدل‌های بار بر روی مسئله جایابی بهینه منابع تولید پراکنده بررسی شده است. به منظور حل مسئله از روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات استفاده

شده است. اهداف مسئله کمینه نمودن تلفات اکتیو و راکتیو و ظرفیت انتقالی خطوط می‌باشد تخمین مکان و اندازه واحدهای تولید پراکنده در سیستمهای توزیع با مدل‌های بار مختلف نشان داده شده است که یک بهینه‌سازی چند هدفه برای برنامه‌ریزی واحدهای تولید پراکنده می‌باشد روشی که به منظور جایابی واحدهای تولید پراکنده در شبکه توزیع به‌کار رفته است مبتنی بر تحلیل تداوم پخش بار و تعیین شینه‌های با بیشترین حساسیت به فروپاشی ولتاژ بوده ضمن اینکه تأثیر بازده و کارایی روی بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توان بررسی می‌شود. تحلیل جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده با در نظر گرفتن کاهش تلفات و بهبود ولتاژ شینه‌ها در شبکه توزیع را نشان می‌دهد. در این مرجع اثر بارهای مختلف و حساس به ولتاژ و فرکانس در تخصیص بهینه منبع تولید پراکنده به لحاظ اندازه و مکان و به‌منظور کاهش تلفات حقیقی و حفظ ولتاژ در محدوده مشخص در شینه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شبکه توزیع بررسی می‌شود.

### بهینه‌سازی شارژ و دشارژ منابع تولید پراکنده

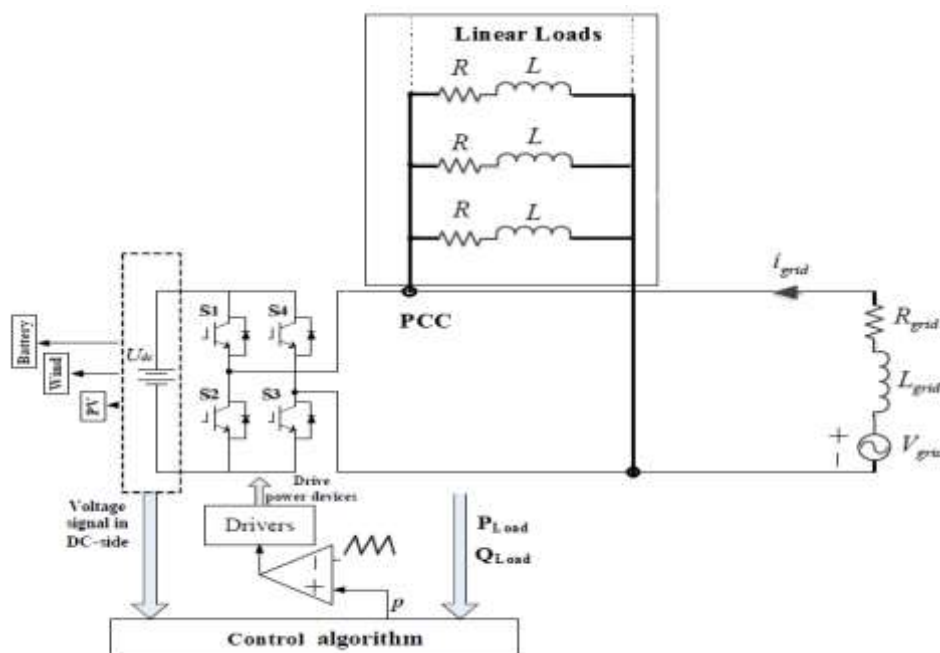
جایابی بهینه چند واحد تولید پراکنده با استفاده از روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات وزندار تطبیقی را پیشنهاد می‌دهد. روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات وزندار تطبیقی توانایی کنترل سرعت ذرات را داشته و هدف آن کمینه کردن تلفات توان حقیقی با حفظ محدوده ولتاژ می‌باشد. تخصیص بهینه واحدهای تولید پراکنده و کلیدهای کنترل از راه دور که به طور قابل توجهی روی قابلیت اطمینان و تلفات انرژی شبکه مؤثر بوده مدنظر می‌باشند. در مرجع یک روش ابتکاری برای جایابی بهینه و اندازه مناسب واحدهای تولید پراکنده به منظور کمینه کردن هزینه شرکت های برق توزیع و جنبه‌های اقتصادی مانند هزینه انرژی، سرمایه‌گذاری، هزینه عملکردی منبع تولید پراکنده و هزینه تلفات و جنبه‌های فنی نظیر تلفات انرژی و سطوح ولتاژ ارائه می‌شود. یک روش تحلیلی برای تخصیص بهینه و اندازه مناسب واحدهای تولید پراکنده با در نظر گرفتن کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در سیستم های توزیع پیشنهاد می‌دهد، که ارزیابی تلفات و پروفیل ولتاژ بر اساس روش پخش بار برای شبکه‌های شعاعی لحاظ شده و یک روش مبتنی بر محاسبه فاکتور حساسیت تلفات و لیست حق تقدم ارائه شده و با روش فاکتور حساسیت سنتی مقایسه می‌شود. روش جدیدی در جایابی بهینه خازنها و منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریهای جهت داده شده بهینه‌سازی توده ذرات ارائه شده است. جایابی بهینه منابع تولید پراکنده به‌منظور افزایش حد پایداری ولتاژ در شبکه توزیع استفاده شده است. در این مرجع پایداری ولتاژ به عنوان فاصله نقطه کاری سیستم تا نقطه فروپاشی ولتاژ تعریف شده و به جایابی منابع تولید پراکنده در تابع هدف حساسیت و منحنی‌های پایداری ولتاژ صورت می‌گیرد و مشاهده می‌گردد که از هر دو روش مکان قرارگیری منابع تولید پراکنده یکسان می‌باشد. در مرجع با استفاده از روش سیگنال ب‌اس فرکانسی، عملکرد هماهنگی تنظیم توان بین اجزاء ریزشبه در حالت غیرمتمرکز و تغییر مدهای کاری ( توان ثابت-ولتاژ ثابت) منابع تولید پراکنده با استفاده از حد آستانه فرکانس\_ ولتاژ پیاده سازی می‌گردد. تولید پراکنده و منابع ذخیره ساز انرژی استفاده شده است. با استفاده از این روش، کنترل توان هر یک از مبدل‌های منابع ذخیره‌ساز انرژی می‌تواند بدون تغییرات گذرا صورت پذیرد. در مطالعات گذشته جایابی منابع تولید پراکنده با توجه به توابع هدف گوناگونی مانند بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش توان تلفاتی، در نظر گرفتن عدم قطعیت و ... صورت می‌گیرد که تاکنون جایابی با در نظر گرفتن مدهای کنترل ولتاژ و توان صورت نگرفته است. در این مقاله یک روش جدید به منظور جایابی منابع تولید پراکنده افزوده شده به یک شبکه توزیع ایزوله براساس توابع هدف تلفات سیستم، حساسیت ولتاژ نسبت به توان اکتیو، میزان توان اکتیو در رسیدن ولتاژ به  $0/9$  پریونیت با در نظر گرفتن مدهای کنترل توان و ولتاژ صورت می‌گیرد. با استفاده از این روش محل‌های بهینه کنترل‌کننده‌ها تعیین می‌گردد. در این مقاله ابتدا به بررسی کنترل مبدل‌های منابع تولید پراکنده پرداخته می‌گردد. سپس روش پیشنهادی جایابی منابع تولید پراکنده اضافه شده به شبکه ایزوله با در نظر گرفتن مد کنترل ولتاژ و توان براساس توابع هدف ارائه می‌گردد. با توجه به اینکه توان منابع تولید پراکنده متغیر می‌باشد، اتصال اینگونه منابع به‌صورت مستقیم به شبکه فشار ضعیف مناسب نمی‌باشد. بنابراین از مبدل‌های الکترونیک قدرت به منظور اتصال منابع به شبکه استفاده می‌شود. این مبدل‌ها به منظور کنترل ولتاژ و فرکانس ریزشبه‌ها در حالت ایزوله یا متصل به شبکه در دو مد کنترل توان و ولتاژ کار می‌کنند. زمانیکه ریزشبه‌ها به شبکه سراسری متصل می‌باشد با توجه به اینکه تمام منابع ولتاژ و فرکانس خود را از شبکه اصلی می‌گیرند، در مد کنترل توان کار می‌کنند. اگر ریزشبه‌ها از شبکه اصلی جدا گردد یکی از مبدل

ها به صورت مد کنترل ولتاژ و بقیه مبدل ها به صورت مد کنترل توان کار می کنند. در حالت کلی هر مبدل می تواند در دو مد کنترل توان یا ولتاژ کار کند که اگر چندین مبدل در ریزشبهه باشد برای تقسیم توان بین آن ها می توان از روش دروپ استفاده نمود.

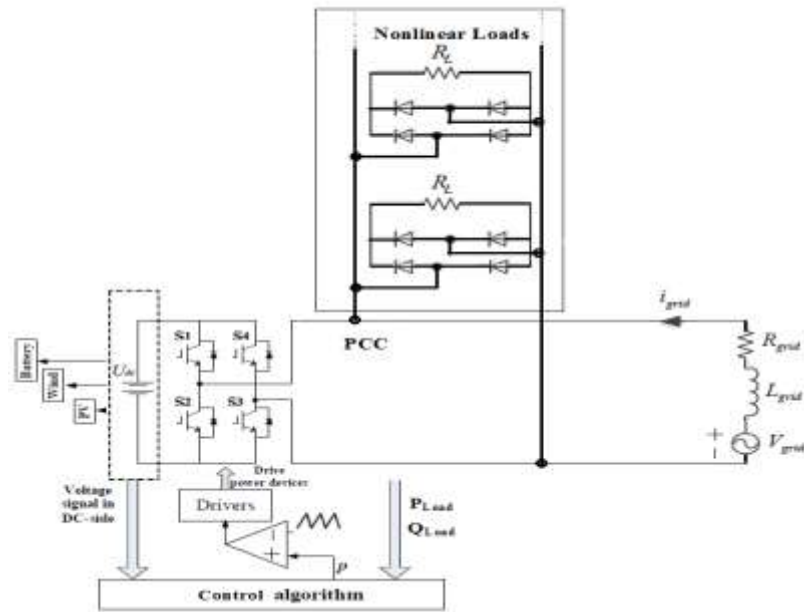
### سیستم های تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر تکفاز متصل به شبکه (*Grid-Connected*)

با ازدیاد منابع انرژی پراکنده در قالب واحدهای تولید پراکنده، ذخیره سازی پراکنده و ترکیبی از این دو، مفهوم ریزشبهه بیش از پیش نمایان شده است. برای بهره برداری بهینه از ریزشبهه ها، مدیریت بهینه منابع انرژی پراکنده در آنها لازم است. هماهنگ سازی واحدهای تولید پراکنده و بارها در یک ریزشبهه، نیازمند استفاده از هوش مصنوعی به صورت پراکنده می باشد. خدماتی که ریزشبهه ها در آینده فراهم می آورند شامل مدیریت انرژی های نو و برنامه های پاسخ دهی به بار می باشد. مصرف کنندگان نیز می بایست در مدیریت بار، صرفه جویی در انرژی و بهره برداری اقتصادی شرکت کنند. در بسیاری از سناریوهای مربوط به این خدمات، سیستم مدیریت انرژی بخشی حیاتی جهت هماهنگ سازی ادوات گوناگون موجود در ریزشبهه های توزیع می باشد.

شبکه تکفاز با ولتاژ سینوسی  $V_{grid}$  با مقاومت  $R_{grid}$  و سلف  $L_{grid}$  در نقطه اتصال مشترک یا PCC به بارهای خطی و غیر خطی و همچنین سیستم DG متصل شده است. جریان این شبکه باید سینوسی مطلوب با هارمونیک بسیار پایین باشد. همچنین برای بهبود و افزایش کیفیت ولتاژ، جریان و توان شبکه مطلوب این است که جریان شبکه هم فاز با ولتاژ شبکه گردد.

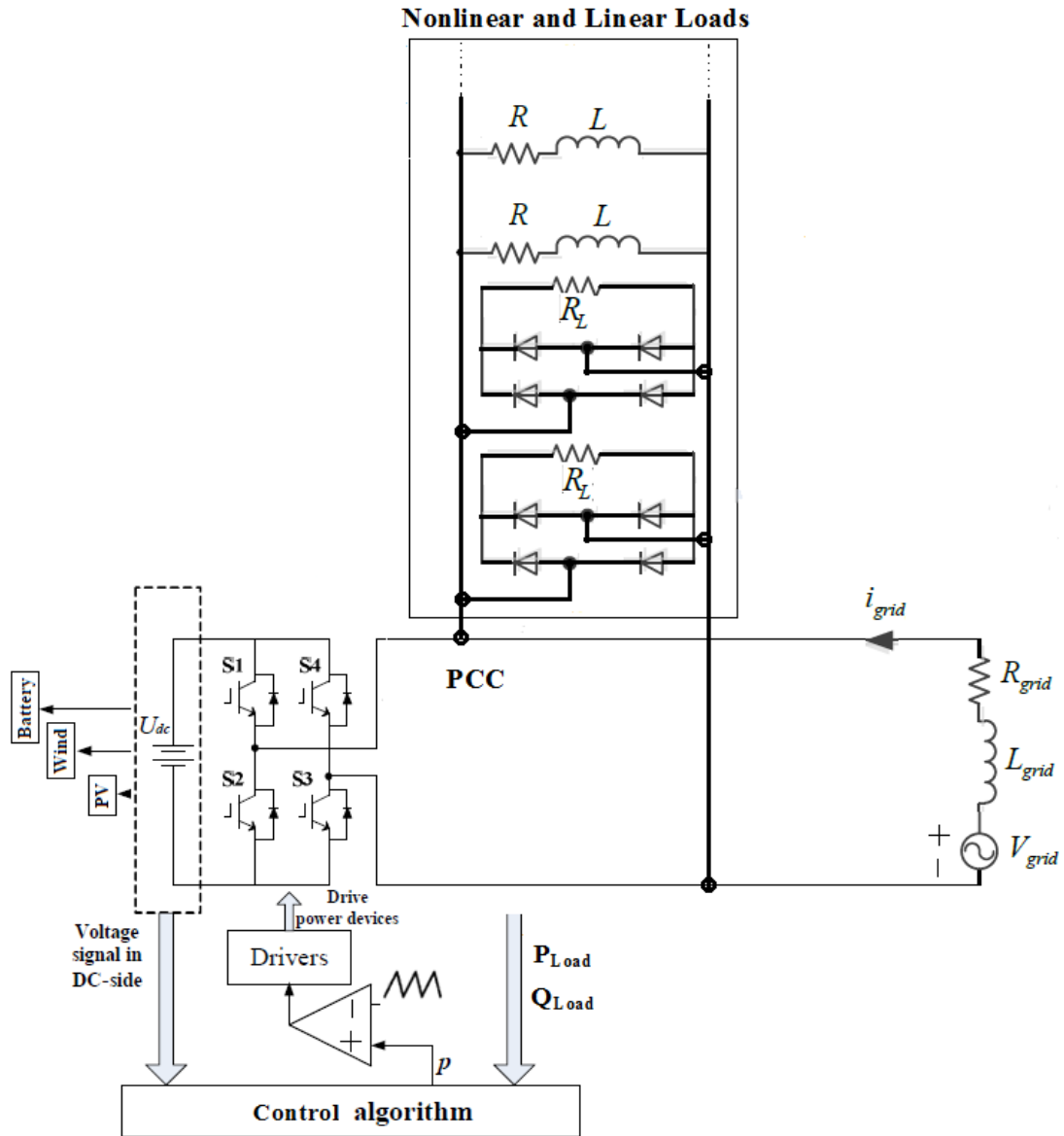


شکل ۱- سیستم تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر تکفاز متصل به شبکه با بارهای خطی بارهای خطی نشان داده شده توان اکتیو و راکتیو مصرف می کنند. سیستم DG باید کل توان راکتیو بار و همچنین بخشی یا تمامی توان اکتیو بار را تولید کند. در نتیجه شبکه تنها توان اکتیو تولید می کند که باعث سینوسی شدن جریان شبکه می گردد. تولید کل توان راکتیو بار توسط سیستم DG باعث هم فاز شدن جریان و ولتاژ شبکه می شود. نکته ای که باید در نظر گرفته شود این است که تأمین کل توان راکتیو و اکتیو بار به ظرفیت و توانایی اینورتر تکفاز در تولید توان ها بستگی دارد. باید اینورتری انتخاب شود که توانایی تولید کل توان راکتیو بار را داشته باشد. به طور کلی انتخاب سیستم تولید پراکنده برای اتصال به شبکه به میزان بار بستگی دارد.



شکل ۲ - سیستم تولیدپراکنده مبتنی بر اینورتر تکفاز متصل به شبکه بارهای غیرخطی

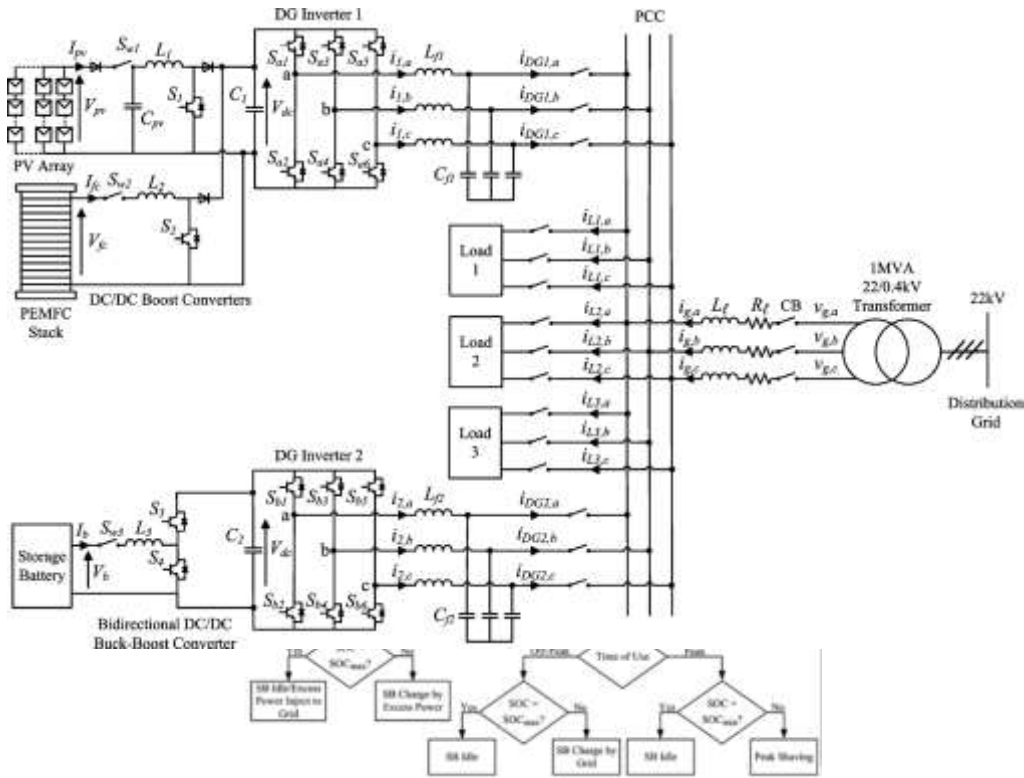
بارهای غیرخطی نشان داده شده در شکل ۳ جریانهای هارمونیک مصرف می‌کنند که باعث هارمونیک شدن جریان شبکه می‌شود. این بار توان اکتیو ثابت و هارمونیک مصرف می‌کند. سیستم DG باید کل توان اکتیو هارمونیک و بخشی از توان اکتیو ثابت را تولید کند. توان راکتیو مصرفی این بار فقط هارمونیک می‌باشد که باید کلان توسط سیستم DG تأمین گردد. مجموع این عملکرد باعث سینوسی شدن جریان شبکه می‌گردد. سیستم نشان داده شده در شکل ۳ شامل هر دو بار خطی و غیر خطی می‌باشد که این امر باعث می‌شود که بار مجموع علاوه بر توان راکتیو هارمونیک توان راکتیو ثابت نیز مصرف می‌کند. در این حالت سیستم DG باید کل توان راکتیو ثابت و هارمونیک بار را جهت بهبود کیفیت ولتاژ و توان شبکه تأمین کند.



شکل ۳- سیستم تولیدپراکنده مبتنی بر اینورتر تکفاز متصل به شبکه بابرهای خطی و غیرخطی

### ساختار ریز شبکه پیشنهادی

شکل ۴ ساختار ریز شبکه پیشنهادی که برای عمل کردن در حالت متصل به شبکه و جزیره‌ای، طراحی گردیده است. واحد اصلی یک آرایه ۴۰ کیلو وات PV و یک PEMFC ۱۵ کیلوواتی را دربردارد که بطور موازی با سمت dc اینورتر DG از طریق کانورترهای بوست (dc/dc boost)، برای تنظیم ولتاژ dc-link اینورتر DG در سطح مطلوب توسط تحویل برق اضطراری، متصل شده‌اند. آرایه PV بعنوان واحد تولیدی اصلی اجرا شده و PEMFC جهت پشتیبانی تولید متناوب آرایه PV مورد استفاده قرار گرفته است. زمانیکه نور خورشید کافی موجود باشد، آرایه PV در حالت MPPT برای تحویل ماکزیمم توان dc P<sub>PV</sub> عمل می‌کند، که با جزئیات مورد بحث قرار گرفته و ولتاژ خروجی آرایه PV برای تغییر در داخل رنج قابل قبولی برای اطمینان از عملکرد مناسب اینورتر DG مجاز شده است. برای دستیابی به سطح ولتاژ dc-link V<sub>dc</sub> در سطح مورد نیاز، PEMFC تولید آرایه PV را برای تحویل P<sub>fc</sub> اضطراری، تکمیل می‌کند. زمانیکه ولتاژ خروجی آرایه PV کمتر از یک حد از پیش تعیین شده، افت کند، آرایه PV از واحد DG جدا شده و PEMFC بعنوان واحد تولیدی اصلی برای تحویل توان مورد نیاز، عمل می‌کند.



شکل ۴- عملکرد SB در حین بهره برداری متصل به شبکه

یک SB لیتیم-یون ۳۰ آمپر-ساعت از طریق یک مبدل بوک-بوست dc/dc برای تسهیل عملیات شارژ و دشارژ، به سمت dc اینورتر DG ۲ متصل شده است. در حین عملکرد جزیره‌ای، نقش SB دستیابی به تعادل توان در ریز شبکه می‌باشد که بصورت زیر داده شده است:

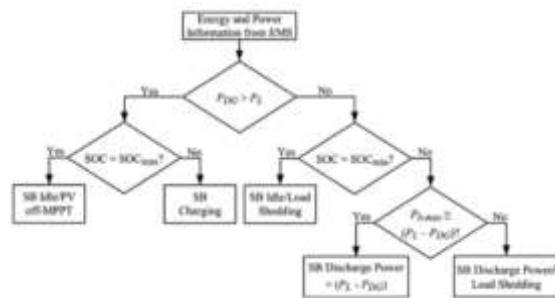
$$P_{DG} + P_b = P_L \quad (1)$$

که  $P_{DG}$  انرژی تحویل داده شده توسط واحد اصلی DG، می‌باشد،  $P_b$  توان SB که در مقید به محدودیت‌های شارژ و دشارژ بصورت زیر قرار گرفته است:

$$P_b \leq P_{b,max} \quad (2)$$

$P_L$  توان حقیقی تحویل داده شده توسط واحد DG اصلی به بارها می‌باشد. محدودیت‌های انرژی SB بر اساس محدودیت‌های بخش شارژ (SOC) تعیین شده‌اند که بصورت زیر داده شده است:

$$SOC_{min} < SOC \leq SOC_{max} \quad (3)$$



زیر

شکل ۵- عملکرد SB در حین بهره برداری جزیره‌ای

اگرچه SOC باتری نمی‌تواند بطور مستقیم اندازه‌گیری شود. وقتی ریز شبکه بطور جزیره‌ای از شبکه توزیع عمل می‌کند، SB می‌تواند در حالت شارژ، دشارژ یا آماده بکار عمل کند که بستگی به SOC و  $P_b$  اش دارد. فلوجارت‌ها در شکل‌های ۲ و ۳ عملکرد SB را بر اساس اطلاعات خروجی فراهم شده توسط یک سیستم مدیریت انرژی (EMS) بترتیب در حین بهره‌برداری متصل به شبکه و جزیره‌ای، خلاصه می‌کند. EMS جوانب مختلف مدیریت توان، همچون پیشبینی بار، آماده‌سازی واحد، توزیع اقتصادی و پخش بار بهینه از طریق یک سرور مرکزی، کنترل و نمایش می‌دهد. اطلاعات مهمی همچون، اندازه‌گیری‌های میدانی از اندازه‌گیرهای هوشمند، موقعیت‌های تپ ترانسفورماتور و وضعیت بریکر جریان (CB)، همگی جهت پردازش از طریق اترنت به سرور مرکزی ارسال شده‌اند.

در حین عملکرد متصل به شبکه، شبکه توزیع در نقطه اتصال مشترک (PCC) از طریق یک بریکر جریان (CB) به ریز شبکه متصل شده است. نقش اصلی عملکردهای واحد DG اصلی فراهم کردن توان محلی و پشتیبانی ولتاژ برای بارها، همچنین کاهش بار مسئولیت تولید و تحویل توان بطور مستقیم از شبکه توزیع، می‌باشد. با گسترش تجهیزات الکترونیک قدرتی که به ریز شبکه متصل هستند، جریان‌های بار می‌توانند بعلت وجود مؤلفه‌های هارمونیکی، منحرف گردند. همچنین واحدهای DG برای جبران‌سازی هرگونه هارمونیکی در جریان‌های کشیده شده توسط بارهای غیر خطی در ریز شبکه، عمل می‌کنند، که در این صورت هارمونیکی‌ها به دیگر شبکه‌های الکتریکی متصل به PCC منتشر نخواهند شد. بطور کلی، تغییراتی در توان تولیدی توسط آرایه PV و توانی که توسط بارها تقاضا شده‌اند، وجود دارد. اگر توان تولیدی توسط واحد DG اصلی بزرگتر از کل تقاضای بار در ریز شبکه باشد، توان اضافی می‌تواند برای شارژ SB مورد استفاده قرار گیرد و یا مطابق SOC SB، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، به شبکه توزیع تزریق گردد. در مقابل، وقتی تمام تقاضای بار بیشتر از توان تولیدی توسط واحد DG اصلی باشد، SB می‌تواند برای دستیابی به عملکردهای مختلف مدیریت انرژی بر اساس SOC اش و زمان استفاده (TOU) برق، کنترل گردد. در حین پربودهای خارج از پیک (منظور زمانهایی که پیک بار نیست)، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، زمانیکه قیمت تولید از شبکه کم است و اگر SOC SB کمتر از ماکزیمم حد SOC ( $SOC_{max}$ ) باشد، SB می‌تواند توسط شبکه شارژ شود و بارها توسط واحد DG اصلی و شبکه تغذیه خواهند شد. در حین پربودهای پیک، زمانیکه قیمت تولید از شبکه بالاست و اگر SOC SB بیشتر از مینیمم حد SOC ( $SOC_{min}$ ) باشد، SB می‌تواند توان به شبکه تحویل دهد تا به اصلاح پیک دست یابد.

در زمانیکه یک خطا بر روی شبکه بالادست شبکه توزیع رخ می‌دهد، CB برای قطع ریز شبکه از شبکه توزیع عمل می‌کند. واحد DG اصلی و SB منابع برق منحصر به فرد باقی مانده‌ای هستند که بارها را تنظیم می‌نمایند. در مورد زمانیکه ظرفیت تولید واحد DG اصلی برای رویارویی با کل تقاضای بار ناتوان است، برای فراهم نمودن کمبود توان حقیقی و راکتیو جهت دستیابی به تعادل توان و پایداری ریز شبکه همانند آنچه در شکل ۳ نشان داده شده است، SB مورد نیاز است. زمانیکه تقاضای بار کل از ظرفیت تولید واحد DG اصلی و SB تجاوز کند، EMS افتی را در فرکانس سیستم شناسایی می‌کند و حذف بار برای بارهای غیر ضروری برای بازگردانی فرکانس سیستم و دستیابی به پایداری ریز شبکه، مورد نیاز است.

### خودروهای هیبریدی

اما تفاوت اصلی مدلسازی خودروهای هیبریدی در مقایسه با باتریها، مربوط به سیگنال سفر خودروهای هیبریدی یادر دسترسپذیری آنها در ریز شبکه میباشد به طوری که این خودروها هنگامی که در ریز شبکه حضور ندارند نباید در معادلات بهینه‌سازی شرکت داده شوند. به همین منظور در این مقاله دو نوع سیگنال سفر برای مالکان خودرو در ریز شبکه مورد نظر در نظر گرفته شده است: یک سیگنال مربوط به ساکنانی است که رفتاری همچون کارمندان دارند به طریقی که از ساعت ۷ صبح از خانه خارج و ساعت ۴ بعدازظهر وارد خانه می‌شوند، ددسته یگر مربوط به ساکنانی با شغل آزاد است به طوری که ساعت ۰۱ صبح از خانه خارج و ساعت ۲ بعدازظهر به خانه باز میگردند. سپس ساعت ۵ مجدداً از خانه خارج و ساعت ۱۰ به خانه باز می‌گردند. معادلات باتری خودروهای هیبریدی با در نظر گرفتن سیگنال دسترسپذیری خودروهای مورد نظر در زیر آورده شده است.

برای خودروهای دسته اول داریم:

$$24) \leq h \quad \text{for } 1(\leq h \leq 7 \text{ or } 16)$$

$$z_{dp1}(h) \times PPHEV1(h) - QPHEV1(h+1) = QPHEV1(h) + ((1 - z_{dp1}(h)) \times \eta_{ch} - \eta_{dch}) \quad (4)$$

برای خودروهای دسته دوم نیز داریم:

$$17) \text{ or } (22 \leq h \leq 24) \text{ or } (14 \leq h \leq 10) \quad \text{for } 1(\leq h \leq 10)$$

$$z(h)_{dp2} \times PPHEV2(h) - QPHEV2(h+1) = QPHEV2(h) + ((1 - z(dp2 h)) \times \eta_{ch} - \eta_{dch}) \quad (5)$$

$P_{PHEV_i}(h)$ : میزان توان مبادله شده با باتری خودرو (شارژ یا دشارژ) در هر ساعت.

$Q_{PHEV_i}(h)$ : میزان انرژی الکتریکی قابلدسترس باتری در ریزشبه در ساعت  $h$ .

نکته اساسی در بهبود بازده انرژی مصرفی ساختمان، هماهنگ سازی و بهینه کردن بهره برداری از بارها و منابع انرژی مختلف است. با وجود این مشکلات بسیاری باید باز پایش دیده شوند. اولاً، بهره برداری منابع مختلف انرژی اعم از گرمایی الکتریکی که هر کدام تجهیزات متنوع مخصوص به خود را دارند مانند واحدهای CHP و انرژیهای نو به یکدیگر مرتبطند و باید بخوبی هماهنگ سازی شوند. عملکرد منابع انرژی و بارهای قابل کنترل نیز در زمان به یکدیگر مرتبطند و باید طی زمان به خاطر وجود تجهیزات ذخیره ساز انرژی گرمایی و الکتریکی هماهنگ سازی شوند. ثانیاً، بدیهی است که منابع انرژی نو مانند پنل‌های خورشیدی و انرژی بادی در معرض نوسانات تصادفی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. بعلاوه، بار مصرفی (مانند سیستم روشنایی و گرما) می‌تواند بسته به شرایط محیطی و احتیاجات رفاهی که به رفتار ساکنین ساختمان وابسته است در معرض ناپیوستگی‌هایی باشد. در این مقاله زمانبندی ۲۴ ساعت پهنه منابع تولیدی در یک ریزشبه‌ممسکونی با هدف حداقل کردن هزینه کلی برق و گاز طبیعی مصرفی و با برآوردن قید تعادل توان و دیگر قیود پیچیده ای که هر کدام از منابع انرژی دارند، مصورت یگیرد.

در یک ریزشبه، تولیدات پراکنده باید جزئی از سیستم مدیریت انرژی باشند چرا که استفاده از تولیدات پراکنده با هزینه پایین و مقیاس بالا مسلماً در بهینه سازی تابع هزینه دخیل خواهد بود و این خود ریز شبکه‌ها را سکوی مناسبی برای رسیدن به بحث مدیریت هوشمند قرار داده است. هدف از طرح سیستم مدیریت انرژی، تصمیم گیری برای تولید توان بر مبنای بهترین استفاده ممکن از واحدهای تولیدی است. بنابراین نیاز است تا با استفاده از روشهای ساده پیشبینی، میزان بار مصرفی ریزشبه و توان تولیدی توسط واحدهای خورشیدی و بادی نیز محاسبه شوند.

تابع هدف در این مساله از نوع هزینه است و مجموع هزینه‌ی گاز مصرفی Micro-CHP و بویلر کمکی و هزینه‌ی برق خریداری شده از شبکه یا فروخته شده به آن می‌باشد. در ادامه فرمولاسیون مساله با در نظر گرفتن قیود مختلف ارائه می‌شود که در واقع حل این مساله توسط ماژول بهینه سازی مصورت یگیرد. با توجه به معادلات ارائه شده، واضح است که مساله از نوع غیر خطی است و حل آن بسیار زمانبر و بعلاوه جواب مساله یکتا و نهایی نمی‌باشد. برای ارفع ین مشکل از یک حلال بسیار قدرتمند (CPLEX SOLVER) استفاده شده و مساله به شکل MINLP<sup>1</sup> و با استفاده از نرم افزار GAMS حل شده است.

$$J = \sum TOU(h) (P_{buy}(h) - P_{sell}(h)) (1h \text{ hour}) + Gas(h) (g_{CHP}(h) + g_{aux}(h))$$

$h=1$  تابع هدف  $J$  در این مساله از نوع هزینه است و مجموع هزینه گاز مصرفی Micro-CHP و بویلر کمکی و هزینه برق خریداری شده از شبکه یا فروخته شده به آن در ۲۴ ساعت می‌باشد.

$TOU(h)$ : قیمت برق شبکه در ساعت  $h$  ( $\$/kWh$ ) (قیمت برق برای خرید و فروش از/به ریزشبه یکسان است).

$P_{buy}(h)$   $P_{sell}(h)$ : به ترتیب عبارتند از توان خریداری شده از شبکه و فروشی به آن در ساعت ( $kWh$ ).

$Gas_p(h)$ : قیمت گاز مصرفی در ساعت  $h$  ( $\$/m^3$ ).



به ترتیب عبارتند از گاز مصرفی توسط Micro-CHP و بویلر کمکی در ساعت  $(m^3h)$ .

**قید تعادل توان الکتریکی**

$$P_{buy}(h) - P_{sell}(h) - P_{batt}(h) + (2^{z_{dp1}} - 1) P_{PHEW1}(h) \quad (7)$$

$$+ (2^{z_{dp2}} - 1) P_{PHEW2}(h) + e_{CHP}(h) + e_{pv}(h) = D_e(h)$$

در هر ساعت مجموع توان الکتریکی تولیدی توسط منابع تولید پراکنده و منابع ذخیره انرژی می‌بایست با توان الکتریکی مورد نیاز ریزشبهه برابر باشد که در آن،  $D_e(h)$  توان الکتریکی مورد نیاز ریزشبهه در ساعت  $h$  می‌باشد و در این حالت جابجایی بار در نظر گرفته نشده است.

**قیود مربوط به توان خروجی Micro-CHP**

با معرفی متغیر باینری  $VCHP(h)$  که نشاندهنده روشن یا خاموش بودن Micro-CHP در ساعت می‌باشد.

$$e_{CHP\_min} \times VCHP(h) \leq e_{CHP}(h) \leq e_{CHP\_max} \times VCHP(h) \quad (8)$$

$$H_{CHP\_min} \times VCHP(h) \leq H_{CHP}(h) \leq H_{CHP\_max} \times VCHP(h)$$

**قید توان خروجی بویلر کمکی**

با معرفی متغیر باینری  $U_{aux}(h)$  که نشاندهنده روشن یا خاموش بودن بویلر کمکی در هر ساعت می‌باشد،

$$H_{aux\_min} \times U_{aux}(h) \leq H_{aux}(h) \leq H_{aux\_max} \times U_{aux}(h) \quad (9)$$

**قیود دمای منبع آب و گرمایش هوای داخل ساختمان**

به منظور کنترل هوشمند و پیاده سازی پاسخ بار در بهره برداری Micro-CHP، شروط زیر می‌بایست برقرار باشد:

$$T_{storage\_min} \leq T_{storage}(h) \leq T_{storage\_max}$$

$$T_{in\_min} \leq T_{in}(h) \leq T_{in\_max}$$

که در آن  $T_{in\_min}$ ،  $T_{in\_max}$ ،  $T_{storage\_min}$  و  $T_{storage\_max}$  به ترتیب حداکثر دمای منبع آب، حداکثر دمای هوای داخل ساختمان، حداقل دمای فضای داخل ساختمان و حداقل دمای منبع آب است. این حدود حداکثر و حداقل دما به منظور ایجاد بار منعطف گرمایی برای بهره برداری بهینه از Micro-CHP می‌باشد. این تغییرات دما به گونهای در نظر گرفته می‌شود که برای ساکنین خانه مشکلی ایجاد نشود.

در Heat-Led-Control شروط بالا به این صورت در می‌آید:

$$T_{storage}(h) - T_{in}(h) = \Delta T_{storage}$$

$$T_{in}(h) - T_{in}(h) = \Delta T_{in}$$

محدودیت میزان شارژ و دشارژ باتری

$$SOC_{min} \leq SOC(h) \leq SOC_{max}$$

$$P_{bat} \leq P_{bat}(t) \leq P_{bat}$$

که در آن  $P_{bat}$  و  $P_{bat}$  به ترتیب حداقل و حداکثر توان قابل تبادل با ریزشبهه و  $SOC$  و  $SOC$  به ترتیب حداقل و حداکثر میزان مجاز شارژ موجود در باتری می‌باشد.

**محدودیت خودروهای هیبریدی**

$$PHEV_{max} - PHEV_{min} \leq P_{PHEVi}(h) \leq PHEV_{Trip}(h) \times P_i PHEV_{Trip}(h) \times P_i$$

$$h \text{ ام } PHEV_{Trip}(h) \times Q_i PHEV^{min} \leq Q_{PHEVi}(h) \leq PHEV_{Trip}(h) \times Q_i PHEV^{max} \quad (13)$$

دسترسی پذیری خودروها در ساعت  $PHEV_{Trip_i}(h)$ :

$p^{min}$ : حداقل توان قابل تبادل در ریزشبهک در ساعت.  
 $PHEVP^{max}$ : حداکثر توان قابل تبادل در ریزشبهک در ساعت.  
 $PHEVQ^{min}$ : ظرفیت حداکثر باتری.  
 $PHEVQ^{max}$ : ظرفیت حداقل باتری.

$PHEV$

### بحث و نتیجه گیری

ریزشبهک خانگی که منابع تولید و ذخیره انرژی الکتریکی این ریزشبهک عبارتند از یک واحد Micro-CHP به ظرفیت ۳ کیلووات الکتریکی و یک پنل PV با تولید ۱ کیلو وات یک باتری با ظرفیت ۸، کیلووات ساعت و دو خودروی هیبرید الکتریکی که مجهز به باتری با ظرفیت ۶/۸۶ کیلووات ساعت. منبع ذخیره انرژی گرمایی در این ریزشبهک یک مخزن آب با حجم ۱۵۰ لیتر می باشد. شبیه سازی با استفاده از دادههای انجام شده است، با این تفاوت که بازده گرمایی Micro-CHP ۰/۷ و حداکثر توان دشارژ باتری و خودروی هیبریدی ۱/۶۹ کیلووات و حداقل توان شارژ و دشارژ به ترتیب ۰/۶۴ و ۰/۵۰ کیلووات است.

همانطور که پیشتر اشاره شد، به منظور تأثیر هوشمند شدن شدن ریزشبهک در ابتدا برنامه ریزی ریزشبهک به صورت Heat-led control صورت می گیرد به این معنی که دمای داخل ساختمان و مخزن آب داغ باید در مقدار ثابتی باقی بماند. سپس ریزشبهک را به صورت هوشمند با در نظر گرفتن بار گرمایشی منعطف بهره برداری می کنیم. شایان ذکر است که تعرفه قیمت تبادل با شبکه در حالت پایه به صورت RTP در نظر گرفته شده است. در شکل (۳) هزینه بهره برداری ریزشبهک در دو راهبرد Heat-led و هوشمند با بار منعطف گرمایی با تعرفه RTP نمایش داده شده است. همانطور که از این شکل مشخص است، با در نظر گرفتن بار منعطف گرمایی و در نظر گرفتن پاسخ گویی بار، هزینه بهره برداری ریزشبهک به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

همانطور که در این شکل ملاحظه می شود، با توجه به منعطف بودن بار گرمایی، Micro-CHP به نحوی کنترل شده است که توان تولیدی در ساعات اوج مصرف و قیمت از ساعات دیگر بیشتر باشد و ریزشبهک قادر باشد نه تنها بار خود را تأمین کند بلکه در صورت امکان مازاد تولیدی را به شبکه ب ه فروش رساند. توان مبادله شده توسط باتری در ریزشبهک در شکل (۵) نمایش داده شده است. یکی از ادوات مهم جهت شرکت ریزشبهک در پاسخ گویی بار باتری است. همانگونه که ملاحظه می شود، باتری نقش مؤثری جهت ذخیره انرژی در ساعات اوج مصرف و آزاد کردن این انرژی در ساعات اوج مصرف و ساعات با قیمت بالای خرید از شبکه ایفا می کند. چگونگی ذخیره انرژی در ساعات اولیه بامداد و تخلیه انرژی توسط آن در ساعات ۱۱، ۱۵ و ۶۱ که میزان بار و قیمت خرید از شبکه به نسبت بالاتر است، در شکل (۵) مشخص است. مقادیر مثبت و منفی به ترتیب نشان دهنده خرید از/ فروش به شبکه هستند.

### منابع و ماخذ

۱. اخوان نیاکی محمد، مسعود علی اکبر، "جایابی بهینه منابع تولید پراکنده جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با استفاده از روش قدرتمند CPSO"، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران.
۲. افراخته حسین، مجتبی خانعلی زاده اینی، صالح نقی پور جلیسه، "جایابی منابع تولیدات پراکنده (DG) به منظور بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، اولین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، دانشگاه بیرجند، ۱۸ الی ۲۰ اسفند ماه ۱۳۸۸.

3. IEEE Standard 1366-1998, IEEE trial-use guide for electric power distribution reliability Index, 1998.

4. Italo Atzeni, Luis G. Ordóñez, Gesualdo Scutari, Daniel P. Palomar, and Javier Rodríguez Fonollosa, "Demand-Side Management via Distributed Energy Generation and Storage Optimization", IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 4, NO. 2, JUNE 2013
5. J. Cao, A. Emadi, "A New Battery/UltraCapacitor Hybrid Energy Storage System for Electric, Hybrid, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles" IEEE Trans. Power Electron., vol. 27, no. 1, pp. 122-132, Jan. 2012
6. KimM, Sohn YJ, LeeWY, KimCS. Fuzzy control based engine sizing optimization for a fuel cell/battery hybrid mini-bus. J Power Sour 2008;178:706-10.
7. Lingfeng Wang and Chanan Singh, "Multicriteria Design of Hybrid Power Generation Systems Based on a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm", IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 24, NO. 1, MARCH 2009.
8. Pavlos S.Georgilakis, and Nikos D. Hatziargyriou, "Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 28, NO. 3, AUGUST 2013
9. Pavlos S.Georgilakis, and Nikos D. Hatziargyriou, "Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 28, NO. 3, AUGUST 2013
10. R.E.Brown, "Electric Power Distribution Reliability", Marcel Dekker, Inc, New York. Basel, 2002.
11. T.Ackermann & G.Anderson & L.Soder, "Distributed Generation: a definition", Electric Power System Research (57), pp.195-204, June 2000.
12. T.-S. Lee, "Lagrangian modeling and passivity-based control of three phase AC/DC voltage-source converters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 51, pp. 892-902, 2015
13. Tani, A.; Camara, M.B.; Dakyo, B., "Energy Management Based on Frequency Approach for Hybrid Electric Vehicle Applications: Fuel-Cell/Lithium-Battery and Ultracapacitors," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, vol.61, no.8, pp.3375,3386, Oct. 2012
14. V. Petrovic, R. Ortega, and A. M. Stankovic, "Interconnection and damping assignment approach to control of PM synchronous motors," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 9, pp. 811-820, 2012
15. Vishnu Nanduri, Tapas K. Das, and Patricio Rocha, "Generation Capacity Expansion in Energy Markets Using a Two-Level Game-Theoretic Model", IEEE Transaction On Power System, VOL. 24, NO. 3, AUGUST 2009.
16. Voltage Characteristics Of Electricity Supplied By Public Distribution Systems", BSI British Standards, BS EN 50160:2000, 2000.
17. W.El-Khattam, M.M.A.Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits", Electric Power System Research (71), pp.119-128, 14 January 2004.
18. Wei-Song Lin, Chen-Hong Zheng, Energy management of a fuel cell/ultracapacitor hybrid power system using an adaptive optimal-control method, Journal of Power Sources, Volume 196, Issue 6, 15 March 2011, Pages 3280-3289.
19. Z.-Q. Wu and F.-X. Tan, "Passivity control of permanent-magnet synchronous motors chaotic system," Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering, vol. 26, pp. 159-163, 2020.
20. T.Ackermann & G.Anderson & L.Soder, "Distributed Generation: a definition", Electric Power System Research (57), pp.195-204, June 2000