پخش بار بهینه دینامیکی در ریزشبکه‌های صنعتی با درنظر گرفتن شارژ خودروهای الکتریکی(PEVs)

مسعود قنبرزاده*[۱]، حسن براتی[۲]

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران، masoud.qanbarzade@gmail.com
۲- استادیار گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، barati216@gmail.com

چکیده: ریزشبکه‌های صنعتی متداول شامل کارخانه‌هایی با منابع انرژی پراکنده(DERs) و بارهای الکتریکی هستند که وابسته به سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما(CHP) هستند. در حالیکه انتظار می‌رود که ریزشبکه‌های پیشرفته علاوه بر این شامل منابع انرژی پراکنده قابل بازیافت و همچنین خودروهای الکتریکی قابل اتصال به شبکه(PEV) باشند. در این مقاله یک روش برنامه‌ریزی تولید الکتریکی و حرارتی هماهنگ با شارژ خودروهای الکتریکی در یک ریزشبکه صنعتی با/بدون در نظر گرفتن سیتم‌های تولید فتوولتاییک(PV) کوپل شده با منبع ذخیره ساز فتوولتاییک، استفاده شده است. روش به کار گرفته شده بر اساس پخش بار دینامیکی در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته می‌باشد و شامل قیود حفاظتی پخش‌بار بهینه، محدودیت‌های کارخانجات ریزشبکه، قیود ذخیره‌سازهای فتوولتاییک و محدودیت‌های دینامیکی شارژ خودروهای الکتریکی می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی برای یک ریزشبکه ۱۸ شینه استاندارد IEEE شامل ۱۲ کارخانه و ۶ نوع خودروی الکتریکی همراه با/بدون سیستم‌های تولید فتوولتاییک در دو حالت عملکرد جزیره‌ای و متصل به شبکه بالادست، ارائه و مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. الگوریتم پیشنهادی در نرم افزارهای Matlab و GAMS پیاده سازی و با استفاده از حل کننده CONOPT حل شده است. نتایج حاصل نشان دهنده بهبود عملکرد سیستم قدرت و کارآیی روش پیشنهادی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیستم تولید همزمان برق و گرما، پخش‌بار بهینه ، ریزشبکه صنعتی، خودرو الکتریکی، سیستم تولید الکتریسیته فتوولتاییک

۱- مقدمه

هدف از ایجاد یک سیستم قدرت، تحویل مطمئن انرژی الکتریکی به مصرف‌کنندگان می‌باشد به گونه‌ای که انرژی تحویل شده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و همچنین از نظر کیفیت مطلوب و از ایمنی لازم برخوردار باشد. به این منظور روش‌های حل و پخش توان بهینه با تغییر الگوهای بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت به طور وسیعی به کار برده شده‌اند. یکی از مسائلی که اخیرا موجب تغییر در این الگوها شده است ورود خودروهای الکتریکی(PEV) و سیستم‌های تولید فتوولتاییک(PV) به سیستم‌های قدرت است. رشد روز افزون مصرف از یک سو و مسائلی از قبیل آلودگی محیط زیست و هزینه های حمل و نقل بویژه در شهرهای بزرگ از سوی دیگر، استفاده از PEVها را روز به روز با اهمیت‌تر و گسترده‌تر نموده است. از سوی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

دیگر در سال های اخیر سیستم‌های تولید فتوولتاییک(PV) نیز بخاطر نگرانی‌های زیست محیطی و مسائل مدیریت گرفتگی حمل و نقل، بعنوان جایگزینی مناسب و قابل قبول برای منابع انرژی متداول پذیرفته شده‌اند. انرژی PV در حال حاضر درصد کمی از تولید الکتریسیته جهانی را تامین می‌کند، با این وجود انتظار می‌رود کاربرد آنها در ریزشبکه‌های صنعتی به سرعت رشد کند زیرا که پیک اکثر بارهای صنعتی همزمان با حداکثر خروجی واحدهای PV اتفاق می-افتد.

ریز شبکه‌های صنعتی(IMGs) برای بهبود عملکرد و افزایش بازده تولید توان خود از طریق جذب حرارت مازاد، از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت(CHP) بهره می‌گیرند. این سیستم‌ها حرارت جذب شده از تولید توان را نگهداری می‌کنند و آن را برای اهداف حرارتی خانگی و صنعتی به کار می‌گیرند[۱]. از میان انواع مختلف سیستم‌های CHP نوع‌های توربین‌های گازی، موتور گاز طبیعی و میکروتوربین نقش اساسی در ریزشبکه‌های صنعتی و پارک‌های صنعتی ایفا می‌کنند. بر خلاف سایر تکنولوژی‌ها آنها قابل پراکنده کردن هستند، نیاز به سرمایه‌گذاری کمتری دارند و می‌توانند بطور پیوسته و برای صدها ساعت به تولید انرژی بپردازند.[۲]. علاوه بر این سیستم‌هایCHP دارای عملکرد رضایت بخشی از نظر انعطاف‌پذیری، سرعت به کار اندازی و خاموش سازی بالا و نرخ شیب بالا هستند[۳].

با توجه به توابع هدف انتخاب شده و محدودیت‌ها، فرمول بندی‌های ریاضی مختلفی برای حل مسائل OPF وجود دارد. تکنیک‌های مختلف از جمله روش‌های کلاسیک که برای حل مسائل OPF به کار رفته‌اند عبارتند از: برنامه‌ریزی غیرخطی(NLP) ، برنامه‌ریزی خطی(LP)، برنامه‌ریزی درجه دوم(QP)، روش گرادیان، روش نیوتن و روش‌های نقطه داخلی(IPMs). تکنیک‌های بهینه‌سازی کلاسیک به کار رفته برای حل مسائل با توابع هدف و قیود جدانشدنی، غیرمحدب و ناهموار ناموفق بوده‌اند. با ظهور روش‌های تکاملی جدید در مسائل بهینه‌سازی و جهت غلبه بر برخی اشکالات روش‌های کلاسیک استقبال گسترده‌ای از این روش‌ها شده است. روش‌های جستجوی هوشمند و تکاملی مانند: الگوریتم ژنتیک(GA) ، برنامه‌ریزی‌تکاملی(EP)، بهینه‌سازی-کلنی مورچگان(ACO)، بهینه‌سازی ذرات معلق(PSO) و الگوریتم تکامل تفاضلی(DE)، برای حل مسائل مختلف OPF به کار رفته‌اند.

بررسی منابع و مراجع موجود نشان می‌دهد که بسیاری از مراجع نسبت به حل مسئله برنامه‌ریزی در مدار قرار گرفتن واحدها با قید امنیت(SCUC) در یک سیستم قدرت اقدام نموده‌اند و روش‌ها، فرمول‌بندی‌ها و راه حل‌های متعددی جهت این مسئله بیان شده است. در اینجا برخی از آنها بطور خلاصه بیان می‌شوند. در [۱] یک روش جدید تامین توان برای یک شرکت توزیع از طریق بازار روز پیش معرفی شده است. در این مقاله، شرکت توزیع محدودیت‌های شبکه خود را لحاظ نموده و در یک برنامه بهینه‌سازی، هزینه کلی فراهم سازی انرژی را کمینه می‌کند. به این منظور، شرکت توزیع میزان تامین انرژی از بازار، میزان تولید انرژی توسط منابع تولید پراکنده بخش خصوصی، میزان تولید منابع تولید پراکنده متعلق به خودش و میزان قطع بار در بارهای قابل قطع را برنامه‌ریزی و اعلام می‌نماید.

مراجع [۳-۲] نیز یک چارچوب مناسب جهت بهره‌برداری شرکت توزیع در یک بازار رقابتی ارائه می‌دهند. در این مراجع مسئله بهینه-سازی در دو بخش حل می‌شود. در بخش اول رفتار شرکت توزیع جهت تامین توان مورد نیاز در بازار روز پیش بهینه و تلاش می‌شود هزینه انرژی تامین شده از طریق بازار، DGهای بخش خصوصی، DGهای متعلق به شرکت توزیع و قطع بار مشترکین کمینه شود. در بخش دوم و بر مبنای تصمیمات اتخاذ شده در بخش اول، برنامه‌ریزی زمان حقیقی به منظور کمینه کردن هزینه‌ها در فواصل ساعت به ساعت صورت می‌پذیرد. در [۴] مفهوم یک شبکه خودگردان معرفی شده و ساختار آینده سیستم قدرت در حضور این شبکه‌های خودگردان نمایش داده شده است. یک روش بهره‌برداری از منابع در یک ریزشبکه مبتنی بر منابع تولید پراکنده‌ی CHP در [۵] معرفی شده است. در این مرجع پس از معرفی و مرور روش‌های انتخاب بهینه مکان نصب و اندازه بهینه منابع CHP به معرفی روش بهره‌برداری بهینه از منابع تولیدی CHP پرداخته شده است. تابع هدف یک تابع هدف چند متغیره است که شامل کمینه کردن همزمان میزان سوخت مصرفی و میزان آلایندگی تولید شده می‌باشد. مرجع [۶] یک سیستم چند عامله جهت بهره‌برداری زمان حقیقی از یک ریزشبکه را معرفی می‌نماید. روش پیشنهاد شده در این مرجع جهت برنامه‌ریزی تولید و نیز مدیریت مصرف کاربرد دارد. در قسمت برنامه‌ریزی تولید، عامل متولی امر مسئله را به دو زیر مسئله تقسیم نموده و مسئله برنامه‌ریزی تولید را در دو افق "روز آینده" و "زمان حقیقی" حل می‌نماید. در بخش برنامه‌ریزی تولید جهت روز آینده برنامه‌ریزی ساعت به ساعت خروجی واحدهای تولیدی مشخص شده و در بخش برنامه‌ریزی زمان

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

حقیقی، برنامه‌ریزی تولید لحظه‌ای منابع تولید بر مبنای تصمیمات اتخاذ شده در بخش اول بهینه می‌گردد.

مرجع [۷] پخش بار بهینه در یک ریزشبکه را با استفاده از روش بهینه‌سازی توزیع شده حل نموده است. در این مرجع با استفاده بسیار محدود از زیر ساخت‌های مخابراتی اثبات می‌شود که این روش بهینه-سازی جهت یک ریزشبکه قابل پیاده‌سازی بوده و جهت بررسی روش پیشنهادی از ریزشبکه موسوم به CERTS بهره گرفته شده است. در [۸] ضمن مدلسازی بار و تولید در ریزشبکه‌های متشکل از منابع بادی، مسئله پخش بار بهینه با استفاده از روش بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) تحلیل شده است. هدف در روش پیشنهادی این مرجع عبارتست از بهره‌برداری بهینه از منابع تولید، بارهای قابل کنترل و باتری‌های ذخیره‌کننده انرژی. مرجع مذکور بیان می‌دارد که روش اعمال شده نسبت به تغییرات قیمت حساس بوده و با فروش انرژی ذخیره شده در ساعات پیک می‌تواند نسبت به پیک‌سایی در شبکه بالادستی همکاری نماید. دسته‌ای دیگر از مراجع تاثیر ورود خودروهای الکتریکی بر سیستم‌های قدرت را مورد بررسی قرار داده‌اند. بطور مثال مراجع [۱۱-۹] توجه خود را متوجه تاثیرات خودروهای برقی بر شبکه توزیع نموده‌اند. در [۱۰] یک روش جدید مدیریت بار جهت ایجاد هماهنگی در شارژ خودروهای برقی در یک شبکه هوشمند ارائه شده است. در این مرجع مشکلات ایجاد شده در شبکه‌های توزیع ناشی از شارژ بدون مدیریت خودروهای الکتریکی دسته‌بندی شده است. در مرجع [۱۲] یک فرمول بندی جدید جهت هماهنگی شارژ خودروهای الکتریکی با درنظرگرفتن هزینه افت انرژی باتری‌های آنها ارائه شده است. در این مقاله هزینه افت انرژی بصورت تابعی درجه سه از ولتاژ و جریان شارژ در نظر گرفته شده است. در مرجع [۱۳] هماهنگی شارژ خودروهای الکتریکی و تاثیر آن‌ها بر روی دینامیک سیستم، مورد مطالعه قرار گرفته است. این مقاله اثرات خودروها را بر روی نوسانات ولتاژ و اضافه بار ترانسفورماتورها در شبکه ۳۴ شینه IEEE را بررسی نموده است. مزایای وجود یک سیستم ارتباطی دوطرفه بین شبکه و خودروهای الکتریکی موضوعی است که در مرجع [۱۴] مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله عنوان شده است که وجود یک زیرساخت ارتباطی مطمئن و با سرعت بالا، جهت تبادل اطلاعات میان PEVها و جایگاه‌های شارژ و همچنین داشتن اطلاعات تولید، تقاضا و پخش بار در هر لحظه می‌تواند منجر به افزایش نفوذ این نوع از خودروهای الکتریکی در شبکه شود. در مرجع [۱۵] یک روش بهینه-سازی دو مرحله‌ای برای برنامه‌ریزی شارژ خودروهای الکتریکی در شبکه‌های توزیع ارائه نموده است. در مرحل اول بهینه‌سازی پخش بار بهینه محاسبه می شود و در مرحله دوم یک بهینه‌سازی خطی برای شارژ مجدد خودروهای الکتریکی انجام می‌گیرد. روش فوق روی یک شبکه با ضریب نفوذ بالای خودروهای الکتریکی (۳۰۰ وسیله) اعمال شده که نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان دهنده کارایی روش پیشنهادی می‌باشد.

۲- ریزشبکه‌های صنعتی با حضور خودروهای الکتریکی و منابع تولید الکتریسیته فتوولتاییک

از آنجا که بناست در این مقاله اثرات حضور خودروهای الکتریکی و سیستم‌های تولید الکتریسیته فتوولتاییک بر ریزشبکه‌های صنعتی مورد بررسی قرار گیرد، در این بخش این اجزا بطور اجمالی معرفی می‌گردند.

۲-۱- ریزشبکه‌های صنعتی

ریزشبکه‌های صنعتی عموماً از همکاری و مشارکت تعدادی کارخانه با منابع تولید انرژی پراکنده(DER) شکل گرفته‌اند. در این مقاله منابع تولید پراکنده شامل CHPها(به عنوان مثال توربین‌های گازی، موتورهای گاز طبیعی و میکرو توربین‌ها) و سیستم‌های تولید فتوولتاییک در نظر گرفته شده‌اند. فرض شده است که هر کارخانه مقداری بار الکتریکی داشته باشد. بعضی کارخانه‌ها ممکن است برای پروسه تولیدشان نیاز به انرژی حرارتی هم داشته باشند که این نیاز می‌تواند از سیستم‌های CHP یا بویلرها تامین شود. ریزشبکه‌ها می-توانند به شبکه بالادست متصل یا مستقل از آن باشند. در حالت مستقل ریزشبکه‌ها باید انرژی مورد نیاز خودشان را برای تغذیه بارهای الکتریکی از طریق همکاری با واحدهای DG تولید کنند. در حالیکه در حالت متصل به شبکه بالادست، ریزشبکه‌ها اجازه دارند بخشی از نیاز الکتریکی خود را از شبکه بالادست بخرند یا حتی در بعضی ساعات شبانه روز، الکتریسیته را به شبکه بالادست بفروشند. از سوی دیگر، به دلیل وجود مسافت بین کارخانه‌ها تنها آنهایی که نزدیک یکدیگرند می‌توانند در تامین نیاز حرارتی با هم مشارکت کنند. البته ممکن است برخی کارخانه‌ها نیاز حرارتی نداشته باشند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

۲-۲- معرفی خودروهای الکتریکی در ریزشبکه‌ها

اثرات زیست محیطی حمل و نقل سوخت بنیان در کنار افزایش قیمت سوخت، منجر به پیشرفت ساختار حمل و نقل الکتریکی گردیده است. این نوع از خودروها بسیار پربازده هستند و در مقایسه با خودروهای معمولی دارای هزینه بهره‌برداری کمتر بوده و گاز کربن کمتری منتشر می‌کنند. بر اساس تخمین مرجع [۱۶] انتظار می‌رود استفاده از خودروهای الکتریکی در شبکه‌های مسکونی، تجاری و صنعتی در آینده نزدیک بسیار محبوب می‌شود. ریزشبکه‌ها و پارک‌های صنعتی معمولا دارای خودروهای بزرگ و سنگین نظیر کامیون‌های جمع‌کننده، بالابر، خاک‌بردار و کامیون‌های تحویل دهنده می‌باشند. جایگزینی این خودروها با خودروهای الکتریکی در ریزشبکه‌ها نیاز به بررسی دقیق دارد، زیرا که این امر ممکن است اثرات برجسته‌ای روی مدیریت و عملکرد شبکه الکتریکی داشته باشد.

۲-۳- سیستم‌های تولید فتوولتاییک

سیستم‌های تولید الکتریسیته فتوولتاییک بخاطر نگرانی‌های زیست محیطی و مسائل مدیریت ترافیک در حمل و نقل، بعنوان جایگزینی مناسب و قابل قبول برای منابع انرژی معمول پذیرفته شده‌اند. انرژی فتوولتاییک در حال حاضر درصد کمی از تولید الکتریسیته جهانی را تامین می‌کند. با این وجود، انتظار می‌رود کاربرد آنها در شبکه‌های صنعتی به سرعت رشد کند زیرا که پیک اکثر بارهای صنعتی همزمان با حداکثر خروجی واحدهای فتوولتاییک اتفاق می‌افتد. ریزشبکه‌های صنعتی می‌توانند انرژی تولید شده توسط نیروگاه‌های فتوولتاییک را برای به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به عملکرد واحدهای حرارتی، به کار برند.

سیستم‌های فتوولتایک غالباً با منابع ذخیره‌ساز فتوولتاییک نظیر باتری‌ها کوپل شده‌اند. این پیکربندی به ریزشبکه این اجازه را می‌دهد که انرژی تولیدی مازاد را در طول زمان‌های خارج از پیک در عناصر ذخیره‌ساز فتوولتاییک ذخیره کنند و در زمان مناسب آن را به سیستم بازگردانند. با این آرایش می‌تواند طبیعت اتفاقی تولیدات فتوولتاییک در زمان واقعی را متعادل کند و همچنین سود حاصل از فروش انرژی ذخیره شده در ساعات پیک را افزایش دهد[۱۷].

۳- فرمول بندی مسئله برنامه‌ریزی تولید برق و حرارت در ریزشبکه‌های صنعتی

فرمول‌بندی پیشنهادی برای برنامه‌ریزی تولید برق و حرارت در ریزشبکه‌های صنعتی یک مسئله پخش بار بهینه دینامیکی در طول یک دوره زمانی ۲۴ ساعته است. این فرمول‌بندی هزینه‌های کلی تامین الکتریسیته و حرارت در یک ریزشبکه را با درنظر گرفتن قیود الکتریکی و حرارتی و همچنین محدودیت‌های حفاظتی شبکه، به حداقل می‌رساند.

۳-۱- تابع هدف

تابع هدف پخش بار بهینه دینامیکی به دنبال به حداقل رساندن هزینه‌های کلی در طول دوره زمانی برنامه‌ریزی است(در این مقاله دوره برنامه‌ریزی یک بازه ۲۴ ساعته انتخاب شده است):

$$Minimize \ \{Overall\ Cost = Cost - Revenue\} \qquad (۱)$$

هزینه‌های مربوط به ریزشبکه‌های صنعتی را می‌توان به چهار بخش تقسیم نمود که عبارتند از هزینه‌های انرژی الکتریکی تولیدی توسط سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت (CHP)، هزینه حرارت تولیدی توسط بویلرها، هزینه بهره‌برداری از واحدهای خورشیدی و نهایتاً هزینه خرید انرژی الکتریکی از شبکه بالادست که به ترتیب در رابطه (۲) نشان داده شده است:

$$Cost = \sum_{i=1}^{N}\sum_{h=1}^{T} Cost_{i,h}^{CHP} + \sum_{i=1}^{N}\sum_{h=1}^{T} Cost_{i,h}^{b} + \sum_{i=1}^{N}\sum_{h=1}^{T} Cost_{i,h}^{PV} + \sum_{h=1}^{T} ep_h * grid_h^{buy} \qquad (۲)$$

که در آن ep_h قیمت انرژی در ساعت hام است.

هزینه برق تولیدی توسط سیستم تولید همزمان برق و حرارت (CHP)

$$Cost_{i,h}^{CHP} = \left(\frac{P_{i,h}^{CHP}}{\eta_i^{CHP}} * gp\right) + P_{i,h}^{CHP} * OM_i^{CHP} \qquad (۳)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

که در آن $P_{i,h}^{CHP}$ توان اکتیو تولیدی، η_i^{CHP} بازده الکتریکی، gp قیمت گاز و OM_i^{CHP} هزینه‌های متغیر بهره‌برداری و نگهداری از سیستم CHP در کارخانه متصل به شین iام است.

هزینه حرارت تولیدی توسط بویلر:

$$Cost_{i,h}^{b} = \frac{b_{i,h}}{\eta_i^{b}} * gp \qquad (۴)$$

که در آن $b_{i,h}$ حرارت تولیدی بویلر و η_i^{b} بازده آن است.

هزینه بهره‌برداری از واحدهای خورشیدی:

$$Cost_{i,h}^{PV} = P_{i,h}^{PV} * OM_i^{PV} \qquad (۵)$$

که در آن $P_{i,h}^{PV}$ توان تولیدی واحد خورشیدی و OM_i^{PV} هزینه-های متغیر بهره‌برداری و نگهداری از سیستم فتوولتاییک در کارخانه متصل به شین iام است.

در معادله (۱) درآمد حاصل از فروش الکتریسیته به شبکه بالادست، اینگونه تعریف می‌شود:

$$\mathrm{Re}venue = \sum_{h=1}^{T} SC * ep_h * grid_h^{sell} \qquad (۶)$$

که در آن SC ضریب فروش نام دارد، به این معنی که ما انرژی را به چه قیمتی به شبکه بالادست می‌فروشیم(در این مقاله SCبرابر ۰.۹ در نظر گرفته شده است). $grid_h^{sell}$ نیز مقدار الکتریسیته فروخته شده به شبکه بالادست توسط ریزشبکه در ساعت hام است.

۳-۲ – متغیرهای تصمیم گیری

متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله عبارتند از توان اکتیو و راکتیو تولیدی توسط واحدهای تولید برق و حرارت همزمان $\left(P_{i,h}^{CHP}, Q_{i,h}^{CHP}\right)$، حرارت تولیدی توسط بویلرها $\left(b_{i,h}\right)$، انرژی الکتریکی خریداری شده یا فروخته شده به شبکه بالادست $\left(grid_h^{buy}, grid_h^{sell}\right)$، توان شارژ و دشارژ ذخیره‌سازهای کوپل شده با تولیدات خورشیدی $\left(P_{i,h}^{S.ch}, P_{i,h}^{S.Dch}\right)$ و توان شارژ خودروهای الکتریکی $\left(P_{i,k,h}^{V.ch}\right)$.

۳-۳ – قیود حاکم بر مسئله

۳-۳-۱- قیود حاکم بر ریزشبکه و قیود امنیتی

معادلات پخش بار در همه شین‌های شبکه:

$$V_{i,h}\sum_{j=1}^{N} V_{j,h}\left(G_{ij}\cos\theta_{ij,h} + B_{ij}\sin\theta_{ij,h}\right) - P_{i,h}^{G} + P_{i,h}^{D} = 0 \qquad (۷)$$

$$V_{i,h}\sum_{j=1}^{N} V_{j,h}\left(G_{ij}\sin\theta_{ij,h} - B_{ij}\cos\theta_{ij,h}\right) - Q_{i,h}^{G} + Q_{i,h}^{D} = 0 \qquad (۸)$$

که در آن:

$$P_{i,h}^{G} = P_{i,h}^{CHP} + P_{i,h}^{PV} + P_{i,h}^{S.Dch} \qquad (۹)$$

$$P_{i,h}^{D} = P_{i,h}^{F} + P_{i,h}^{S.ch} + \sum_{k\in i} P_{i,k,h}^{V.ch} \qquad (۱۰)$$

$$Q_{i,h}^{G} = Q_{i,h}^{CHP} \qquad (۱۱)$$

$$Q_{i,h}^{D} = Q_{i,h}^{D} \qquad (۱۲)$$

رابطه (۹) بیان می‌کند که توان اکتیو تولید شده در هر شین از سه طریق تامین می‌شود: توان اکتیو تولید شده توسط سیستم CHP ، توان اکتیو حاصل از سلول خورشیدی و توان تزریقی (دشارژ) توسط ذخیره‌سازهای نصب شده در کنار سلول‌های خورشیدی. همچنین بنابر رابطه (۱۰) کل توان اکتیو مصرفی در هر شین نیز برابر است با مجموع توان اکتیو مصرفی کارخانه، توان جذب شده توسط ذخیره‌سازهای نصب شده در کنار واحدهای خورشیدی و توان مورد نیاز جهت شارژ خودروهای الکتریکی متصل به شین. لازم به ذکر است همانطور که در روابط (۱۱) و (۱۲) مشخص است، تولیدات خورشیدی و ذخیره‌کننده-های آنها مشارکتی در تامین یا مصرف توان راکتیو ندارند.

قید تامین حرارت مورد نیاز در هر گروه حرارتی:

در معادله فوق α_i^{CHP} یک ضریب بدون دیمانسیون است که از تقسیم انرژی حرارتی مفید تولیدی بر انرژی تولیدی CHP بدست می‌آید. با ضرب α_i^{CHP} در توان تولیدی CHP، انرژی حرارتی تولیدی بدست می‌آید. معادله فوق بیان می‌نماید که مجموع انرژی حرارتی تولیدی توسط واحدهای CHP و بویلرها نباید کمتر از نیاز حرارتی گروه گرمایی مورد نظر باشد.

قید ظرفیت خطوط شبکه:

$$\left|S_{ij,h}\right| \le S_{ij}^{\max} \qquad (۱۴)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power (Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014) ۲۱

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

قید ولتاژ شین‌ها:

$$V_i^{\min} \le V_{i,h} \le V_i^{\max} \quad (۱۵)$$

۳-۳-۲- قیود حاکم بر تجهیزات کارخانجات

قید توان خروجی از منابع CHP:

$$P_i^{\min} \le P_{i,h}^{CHP} \le P_i^{\max} \quad (۱۶)$$
$$Q_i^{\min} \le Q_{i,h}^{CHP} \le Q_i^{\max}$$

قید توان خروجی بویلر:

۳-۳-۳- قیود حاکم بر ذخیره‌سازهای تولیدات خورشیدی

باتری نصب شده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی تولیدات خورشیدی دارای قیودی است که در ادامه بیان می‌گردند.

قید توازن توان در باتری ذخیره‌ساز:

$$E_{i,h}^{S} = E_{i,h-1}^{S} + \eta_i^{S.ch} * \Delta h - \frac{1}{\eta_i^{S.Dch}} * P_{i,h}^{S.Dch} * \Delta h \quad (۱۸)$$

معادله فوق انرژی دخیره شده در باتری واحدهای فتوولتاییک در هر ساعت را با استفاده از انرژی آن در ساعت قبل و بازده شارژ و دشارژ منبع ذخیره‌ساز آن محاسبه می‌کند.

قید نرخ شارژ و دشارژ باتری‌های ذخیره‌ساز:

$$P_{i,h}^{S.ch} \le P_i^{S.ch,\max} \quad (۱۹)$$
$$P_{i,h}^{S.Dch} \le P_i^{S.Dch,\max} \quad (۲۰)$$

دو معادله فوق بیان می‌کنند که شارژ و دشارژ منبع ذخیره ساز با حداکثر شیب خاصی امکان پذیر است.

قید ظرفیت باتری‌های ذخیره‌ساز:

$$E_i^{S,\min} \le E_{i,h}^{S} \le E_i^{S,\max} \quad (۲۱)$$

۳-۳-۴- قیود حاکم بر خودروهای الکتریکی

قید توازن انرژی در باتری خودروها:

$$E_{k,h}^{V} = E_{k,h-1}^{V} + \eta_i^{V} * P_{i,k,h}^{V.ch} * \Delta h \quad (۲۲)$$

این معادله انرژی باتری در هر ساعت را بر اساس انرژی ساعت قبل و بازده شارژ باتری محاسبه می‌کند.

قید نرخ شارژ باتری خودروها:

همانند منابع ذخیره‌ساز فتوولتاییک، باتری خودروها هم با نرخ شیب مشخصی می‌تواند شارژ شود:

$$P_{i,k,h}^{V.ch} \le P_k^{V.ch,\max} \quad (۲۳)$$

قید ظرفیت باتری خودروها:

$$b_{i,h} \le b_i^{\max} \quad (۱۷)$$
$$E_{k,h}^{V} \le E_k^{V,\max} \quad (۲۴)$$

قید زمان خروج خودروها از جایگاه شارژ:

$$E_{k,h}^{V} = E_k^{V,\max} \qquad \forall k \ \& \forall h = h_{po,k} \quad (۲۵)$$

در واقع قید اخیر تضمین می‌نماید که هر باتری هر خودرو در زمان خروج از جایگاه شارژ، بطور کامل شارژ شده باشد.

مسئله پخش بار بهینه دینامیکی در یک ریزشبکه صنعتی که در این بخش معرفی گردید، یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی است. در این مقاله، مسئله مذکور با استفاده از لینک بین نرم‌افزار GAMS و Matlab شبیه‌سازی و با حل کننده CONOPT حل گردیده است.

۴- نتایج مطالعات شبیه‌سازی

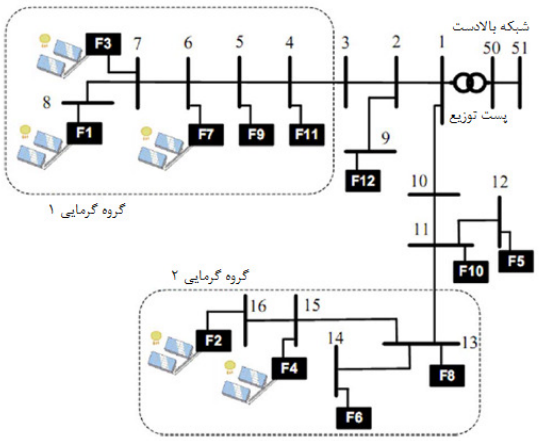
به منظور اعتبارسنجی روش پیشنهادی، ریزشبکه ۱۸ شینه IEEE که از مرجع [۸] استخراج شده است در محیط نرم‌افزارهای GAMS و Matlab شبیه‌سازی و جهت اجرای آن از کامپیوتر شخصی Dual core, CPU 2.00GHz استفاده شده است. ریزشبکه مورد شبیه‌سازی، یک شبکه ۱۸ شینه می‌باشد. ولتاژ نامی شبکه، ۳۳kv می‌باشد. ریزشبکه صنعتی مورد شبیه‌سازی، شامل ۱۲ کارخانه می‌باشد. هر کارخانه، مجهز به یک سیستم تولید همزمان الکتریسیته و حرارت (CHP)، تولید الکتریسیته خورشیدی(PV) کوپل شده با سیستم ذخیره الکتریکی (PVS) و بویلر می‌باشد. در این ریزشبکه، ۶

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

نوع خودروی الکتریکی (PEV) موجود می‌باشد. دیاگرام تک خطی ریزشبکه صنعتی مورد شبیه‌سازی در شکل(۱) نشان داده شده است. سایر اطلاعات آن در مرجع [۱۳] ارائه شده است.



شکل (۱): سیستم ۱۸ شینه IEEE [۸]

شبیه‌سازی روش ارائه شده در حالت‌های مختلف ریزشبکه، از جمله حالت متصل به شبکه، حالت جزیره‌ای، حالت بدون در نظر گرفتن PVها و PEVها و با در نظر گرفتن آن‌ها، انجام گرفته است. به این منظور، ۱۵ سناریو مختلف از حالت‌های کاری ریزشبکه انتخاب گردیده است. این سناریوها در جداول(۱) و (۳) لیست شده‌اند. لازم به ذکر است در حالت مستقل،کلیه کارخانه‌ها مسئول تولید انرژی خود می‌باشند. این در حالی است که در حالت یکپارچه، سیستم مدیریت ریزشبکه و با روش بیان شده مسئول بهره‌برداری از سیستم است.

۴-۱ - ریزشبکه در حالت جزیره‌ای

در شش سناریوی ابتدایی اتصالی با شبکه بالادست وجود ندارد، که این حالت از بهره‌برداری موسوم به حالت جزیره‌ای می‌باشد. در سناریو(۱)، هر کارخانه به طور مستقل، بار الکتریکی و حرارتی خود را تأمین می‌کند. واضح است که این سناریو، پرهزینه‌تر از سناریو۲ می‌باشد که در آن امکان تامین انرژی توسط سایر کارخانه‌ها نیز وجود دارد. در سناریو(۲)، اتصالی بین ریزشبکه و شبکه بالادست وجود ندارد و ریزشبکه صنعتی، خود تأمین کننده بار مورد نیاز خود می‌باشد. در این حالت، کنترل‌کننده ریزشبکه، بهره‌برداری از ریزشبکه را با روش ارائه شده انجام می‌دهد. قیمت‌های تمام شده بهره‌برداری از ریزشبکه به ازای سناریوهای مختلف در جدول(۲) قابل مشاهده و مقایسه می‌باشد.

جدول(۱): سناریوهای مورد شبیه‌سازی در حالت جزیره‌ای

سناریو	وجود و نوع شارژ PEVها	واحد PV	روش بهره‌برداری
۱	-	-	شین‌های مستقل
۲	-	-	بهره‌برداری متمرکز
۳	هماهنگ با نرخ شارژ ثابت	موجود	شین‌های مستقل
۴	هماهنگ با نرخ شارژ متغیر	موجود	بهره‌برداری متمرکز
۵	هماهنگ با نرخ شارژ ثابت	موجود	بهره‌برداری متمرکز
۶	هماهنگ با نرخ شارژ متغیر	موجود	شین‌های مستقل

جدول (۲): مقایسه اقتصادی سناریوها در حالت بهره‌برداری جزیره‌ای

سناریو	قیمت تمام شده کل ($)	هزینه کل ($)	درآمد ریزشبکه ($)
۱	۳۵۵۲/۲۷۱	۳۵۵۲/۲۷۱	۰
۲	۲۷۴۱/۹۲۶	۲۷۴۱/۹۲۶	۰
۳	۴۷۰۴/۱۰	۴۷۰۴/۱۰	۰
۴	۳۸۰۲/۱۲	۳۸۰۲/۱۲	۰
۵	۳۹۶۴/۴۹۰	۳۹۶۴/۴۹۰	۰
۶	۴۶۲۷/۵۲۰	۴۶۲۷/۵۲۰	۰

با توجه به جدول(۲)، قیمت تمام شده بهره‌برداری از مقدار ($۳۵۵۲) در سناریو۱، به قیمت ($۲۷۴۱) در سناریو(۲) کاهش یافته است.یعنی چیزی حدود ۲۲٪ کاهش هزینه داشته‌ایم.

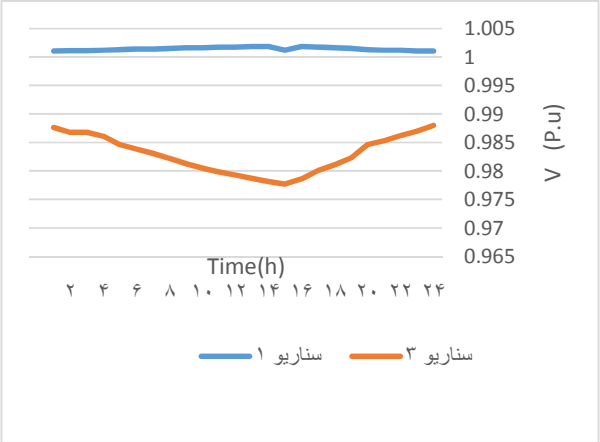
از سناریو ۲ به بعد، با حضور PEVها قیمت تمام شده کل بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. که این امر با توجه به تحمیل هزینه های مربوط به خودروهای الکتریکی به ریزشبکه، قابل پیش بینی بود. در این میان سناریو ۳ یعنی حالتی که بهره‌برداری به روش مستقل صورت گرفته و نرخ شارژ خودروهای الکتریکی ثابت است، گران‌ترین سناریو حالت جزیره‌ای می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که امکان تامین انرژی از کارخانه‌های مجاور در تقلیل هزینه‌های شبکه می‌تواند موثر باشد.

ورود عناصر PEV و PV بر روی پروفیل ولتاژ نیز تاثیر گذاشته است. شکل(۲) پروفیل ولتاژ شین شماره۸ را در دو سناریو ۱و۳ مقایسه می-کند. لازم به توضیح است که انتخاب این شین بخاطر دور بودن آن از شین مرجع بوده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]



شکل (۲): پروفیل ولتاژ شین شماره۸ در سناریوهای ۱و۳

همانطور که از شکل(۲) مشخص است، در سناریو ۱ که عناصر PEV وجود ندارند پروفیل ولتاژ مسطح و حوالی 1P.u می‌باشد. در حالیکه ورود عناصر مذکور بخصوص در ساعات اوج بار(ساعات ۲۰-۱۰) موجب افت ولتاژ شده است.

۲-۴ – ریزشبکه در حالت متصل به شبکه بالادست

سناریوهای(۷ تا ۱۵)، به منظور بررسی روش ارائه شده در حالت متصل به شبکه با امکان تبادل انرژی الکتریکی با شبکه بالادست در نظر گرفته شده‌اند. جدول(۳) نشان دهنده این سناریوها و جدول (۴) مقایسه اقتصادی این سناریوها را نشان می‌دهد.

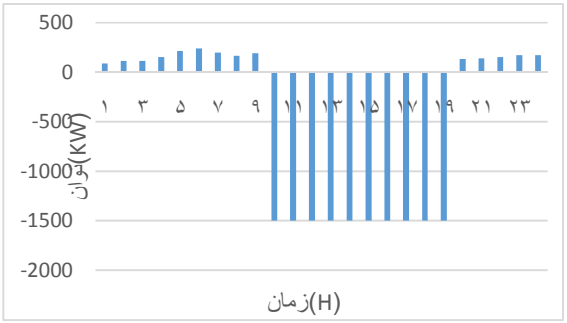
جدول (۳): سناریوهای مختلف در حالت متصل به شبکه بالادست

سناریو	وجود و نوع شارژ PEVها	واحد PV	روش بهره‌برداری	امکان خرید از شبکه بالادست	امکان فروش به شبکه بالادست
۷	-	-	مستقل	موجود	-
۸	-	-	متمرکز	موجود	-
۹	-	-	مستقل	موجود	موجود
۱۰	-	-	متمرکز	موجود	موجود
۱۱	ناهماهنگ با بهره‌بردار	-	متمرکز	موجود	-
۱۲	هماهنگ با نرخ ثابت	-	متمرکز	موجود	-
۱۳	هماهنگ با نرخ متغیر	-	متمرکز	موجود	-
۱۴	هماهنگ با نرخ ثابت	موجود	متمرکز	موجود	موجود
۱۵	هماهنگ با نرخ متغیر	موجود	متمرکز	موجود	موجود

جدول (۴): مقایسه اقتصادی سناریوها در حالت متصل به شبکه بالادست

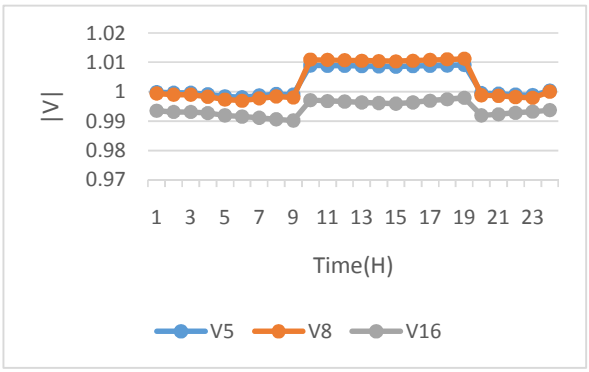
سناریو	قیمت تمام شده کل ($)	هزینه کل ($)	درآمد ریزشبکه ($)
۷	۳۵۱۲/۳۵۱	۳۵۱۲/۳۵۱	۰
۸	۲۷۳۱/۸۵۹	۲۷۳۱/۸۵۹	۰
۹	۳۴۵۳/۲۲	۴۸۴۵/۵۲	۱۳۹۲/۳
۱۰	۲۳۵۳/۵۷۱	۴۶۴۸/۵۷۱	۲۲۹۵
۱۱	۴۵۹۳/۷۱۴	۴۵۹۳/۷۱۴	۰
۱۲	۴۴۲۵/۳۳۸	۴۴۲۵/۳۳۸	۰
۱۳	۴۲۵۹/۴۷۸	۴۲۵۹/۴۷۸	۰
۱۴	۳۷۶۲/۰۹۱	۳۷۹۳/۸۸۱	۳۱/۷۸۹
۱۵	۳۵۹۶/۱۹۷	۳۶۲۷/۹۸۷	۳۶/۰۷۵

نمودار شکل(۳)، نشان‌دهنده توان الکتریکی مبادله شده ریزشبکه با شبکه بالادست در سناریو(۱۰) می‌باشد. در این نمودار، انرژی فروخته شده به شبکه بالادست، مقدار منفی دارد. با در نظر گرفتن نتایج شکل(۳)، مشخص است که ریزشبکه تنها در ساعات کم‌باری انرژی الکتریکی را از شبکه بالادست خریداری می‌کند. بهره‌بردار ریزشبکه در ساعات اوج بار، از بیشینه توان قابل انتقال به شبکه بالادست جهت فروش الکتریسیته و کسب سود استفاده کرده است.



شکل (۳): انرژی مبادله شده با شبکه بالادست(سناریو ۱۰)

شکل(۴) وضعیت اندازه ولتاژ را در شین‌های شماره ۵، ۸ و ۱۶ نشان می‌دهد. این سه شین به علت دور بودن از شین ۱ که شین مرجع انتخاب شده است، بیشترین انحراف را دارند. قابل ذکر است در رابطه پخش بار، کلیه شین‌ها به جز شین مرجع، از نوع PQ (شین بار) می‌باشند.



شکل (۴): اندازه ولتاژ در شین‌های مختلف ریزشبکه (سناریو ۱۰)

همانگونه که ملاحظه می‌شود، انحراف اندازه ولتاژ از مقدار ۱pu، برابر ۱٪ می‌باشد که در محدوده استاندارد تعریف شده (±۵٪) قرار دارد. همانگونه که ملاحظه می‌شود، اندازه ولتاژ در شین‌ها، در زمان اوج بار از مقدار ۱pu فراتر رفته‌اند. دلیل این امر، فروش الکتریسیته به شبکه

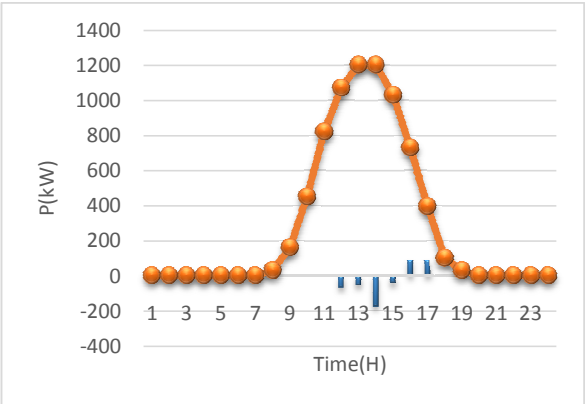
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

بالادست می‌باشد. در ساعات اوج مصرف، تولید واحدهای CHP افزایش یافته و باعث عکس شدن جهت جریان در خطوط توزیع ریزشبکه به سمت شبکه بالادست و افزایش ولتاژ شین‌ها شده است.

یک واحد تولید الکتریسیته خورشیدی، می‌تواند با جذب نور، توان الکتریکی تولید کند. این واحد به کمک یک ذخیره‌ساز الکتریسیته می‌تواند انرژی تولیدی خود را ذخیره نموده و در موقع نیاز به ریزشبکه بازگرداند. در این قسمت، کاربرد واحد الکتریکی خورشیدی را بر ریزشبکه صنعتی بررسی می‌کنیم.

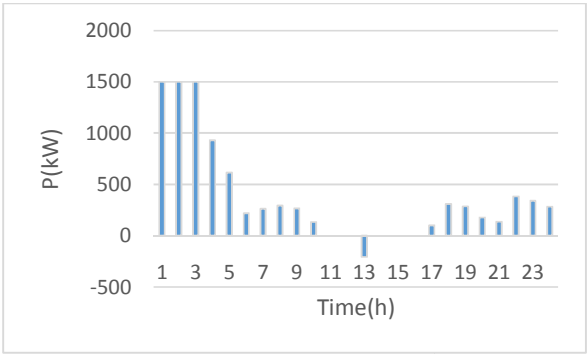
در سناریو ۱۴، شارژ PEVها به صورت برنامه‌ریزی شده می‌باشد ولی نرخ شارژ ثابت است. در این حالت، قیمت تمام شده تأمین انرژی ریزشبکه، $۳۷۶۲ بدست آمده است. این مقدار نسبت به سناریو ۱۲ که در آن از واحد تولید الکتریسیته خورشیدی استفاده نشده است، به میزان $۶۶۳ و به عبارت دیگر ۱۷٪ کاهش یافته است. این امر نشان‌دهنده این است که استفاده از منابع تولیدپراکنده تجدیدپذیر، می‌تواند نقش موثری در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری از ریزشبکه داشته باشد. در سناریو ۱۵، فرض می‌شود نرخ شارژ PEVها قابل تغییر بوده و قابل برنامه‌ریزی است. در سناریو ۱۵، برنامه‌ریزی شارژ خودروهای الکتریکی دارای انعطاف بیشتری نسبت به سناریو ۱۴ می‌باشد.

شکل(۵) نمودار منحنی تولید واحد تولید الکتریسیته خورشیدی و شارژ و دشارژ منبع ذخیره الکتریسیته واحد خورشیدی را نمایش می‌دهد. در این نمودار شارژ دارای علامت منفی و تخلیه انرژی الکتریکی دارای علامت منفی می‌باشد. قیمت تمام شده در این سناریو$۳۵۹۶ می‌باشد که در مقایسه با سایر سناریوهای دارای PEV، کمترین قیمت را دارا می‌باشد. این امر به علت قابلیت برنامه‌ریزی شارژ PEVها و همچنین وجود واحد تولید الکتریسیته خورشیدی می‌باشد.



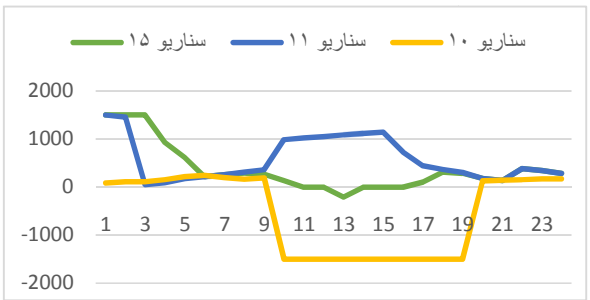
شکل (۵): منحنی تولید واحد فتوولتاییک و شارژ و دشارژ منبع ذخیره‌ساز

شکل(۶)، انرژی الکتریکی مبادله شده با شبکه بالادست را به ازای سناریو ۱۵ نشان می‌دهد. با مقایسه شکل(۳) و شکل (۶)، می‌توان مشاهده نمود که مقدار الکتریسیته خریداری شده از شبکه بالادست افزایش یافته و فروش الکتریسیته در ساعات اوج بار کاهش یافته است. دلیل این امر، افزایش بار تحمیل شده از سوی خودروهای الکتریکی می‌باشد.



شکل (۶): انرژی مبادله شده با شبکه بالادست(سناریو ۱۵)

شکل(۷) نمودار مقایسه‌ای انرژی الکتریکی مبادله شده ریزشبکه و شبکه بالادست می‌باشد. همانگونه که مشخص است، در سناریوهای ۱۰و ۱۵، عمده خرید الکتریسیته در ساعات کم‌باری انجام گرفته است این در حالی است که در سناریوی ۱۱، میزان خرید الکتریسیته از شبکه بالادست افزایش چشمگیری داشته و فروش انرژی الکتریکی به شبکه بالادست قطع شده است. در سناریو ۱۱، شارژ خودروهای الکتریکی مستقل از وضعیت قیمت انرژی می‌باشد و به عبارتی دیگر، شارژ PEVها توسط بهره‌بردار مرکزی ریزشبکه کنترل نمی‌شود. این امر باعث شده است که شارژ خودروهای الکتریکی در زمان اوج بار صورت گیرد. با مقایسه دو سناریو ۱۱و ۱۵ می‌توان نتیجه گرفت روش پخش بار دینامیکی بکار گرفته شده به خوبی تولید واحدهای تولیدپراکنده و مصرف بار و همچنین شارژ خودروهای الکتریکی را مدیریت نموده است. به صورتی که شارژ PEVها در سناریو ۱۵، نسبت به سناریو ۱۱به صورت توزیع شده‌تر در طول زمان بوده و در زمان‌های کم‌باری صورت گرفته است.



[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

شکل (۷): نمودار مقایسه‌ای مبادله انرژی با شبکه بالادست

۵- نتیجه گیری

در این مقاله شبکه ۱۸ شینه استاندارد IEEE به همراه ۱۲ کارخانه دارای منابع تولیدپراکنده CHP و بویلر به عنوان ریزشبکه صنعتی مورد شبیه‌سازی قرار گرفت و عملیات پخش بار دینامیکی با لحاظ قیود ریزشبکه بر روی آن صورت گرفت. در ادامه، فرض شد در این ریزشبکه، ترابری به وسیله PEVها انجام گرفته می‌شود و انواع متنوعی از PEVهای مختلف، با اندازه و ظرفیت‌های شارژ متفاوت در سطح ریزشبکه در نظر گرفته شد. با شبیه‌سازی حالت‌های مختلف شارژ اثرات و کاربرد استفاده از PEVها در ریزشبکه صنعتی مورد بررسی قرار گرفت. در پایان نیز با جاگذاری واحدهای تولید الکتریسیته خورشیدی به همراه منبع ذخیره الکتریکی در سطح ریزشبکه صنعتی، کاربرد این منبع به عنوان یک منبع تجدیدپذیر در ریزشبکه بررسی گردید. نتایج عددی بدست آمده، کارایی روش بکار رفته را تأیید می‌کند.

روش پخش‌بار دینامیکی ارائه شده به ازای سناریوهای مختلف با حضور و بدون PEVها و PVها و همچنین حالت‌های مختلف شارژ ریزشبکه صنعتی پیاده‌گردیده و نتایج حاصله تحلیل و مقایسه گردیدند. با توجه به نتایج بدست آمده ملاحظه گردید استفاده از منابع تولیدپراکنده CHP باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه در تأمین انرژی گرمایی ریزشبکه دارد به گونه‌ای که عمده انرژی گرمایی مورد نیاز ریزشبکه توسط این منابع تأمین گردید. همچنین ملاحظه گردید برنامه‌ریزی هوشمندانه و بهینه شارژ خودروهای الکتریکی نقش شایانی در کاهش هزینه‌های ریزشبکه و همچنین هموارتر نمودن پروفیل بار دارد و از نظر فنی نیز شرایط مناسب‌تری برای ریزشبکه فراهم می‌کند. این در حالی است که شارژ برنامه‌ریزی نشده خودروهای الکتریکی می‌تواند باعث تحمیل هزینه فراوان و همچنین بروز مشکلات فنی در ریزشبکه گردد. همچنین استفاده از PV در تأمین انرژی ریزشبکه به همراه ذخیره‌ساز الکتریسیته، باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبکه گردید.

مراجع

[1] Palma-Behnke, R., Vargas, L. S., & Jofré, A. ,2005, A distribution company energy acquisition market model with integration of distributed generation and load curtailment options, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20,No. 4, pp:1718-1727.

[2] Algarni, A. A., & Bhattacharya, K., 2007, October, A comprehensive short-term operations framework for a Disco in competitive electricity markets, IEEE Conference In Electrical Power, IEEE Canada, pp : 440-445.

[3] Algarni, A. A., & Bhattacharya K., 2009, A generic operations framework for discos in retail electricity markets, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.24, No.1, pp: 356-367.

[4] Agovic, K., Jokic, A., & Van den Bosch, P. P. J. ,2005, November, Dispatching power and ancillary services in autonomous network-based In Future Power Systems, IEEE International Conference on power systems, Amsterdam, Netherlands, pp6-12.

[5]Basu, A. K., Bhattacharya, A., Chowdhury, S., & Chowdhury, S. P. ,2012, Planned scheduling for economic power sharing in a CHP-based micro-grid, IEEE Transactions on Power Systems,Vol.27 , No.1, pp: 30-38.

[6]Logenthiran, T., Srinivasan, D., Khambadkone, A. M., & Aung, H. N. ,2012, Multiagent system for real-time operation of a microgrid in real-time digital simulator, , IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.3, No.2, pp: 925-933.

[7] Wan, P., & Lemmon, M. D. ,2010, June, Optimal power flow in microgrids using event-triggered optimization, In American Control Conference (ACC) 2010, Baltimore, USA,pp. 2521-2526.

[8] Sortomme, E., & El-Sharkawi, M. A. ,2009, March, Optimal power flow for a system of microgrids with controllable loads and battery storage, IEEE In Power Systems Conference and Exposition 2009, PSCE'09. IEEE/PES, Seattle, WA, pp. 1-5.

[9] Deilami, S., Masoum, A. S., Moses, P. S., & Masoum, M. A. ,2011, Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile. IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.2, No.3, pp: 456-467.

[10] Sundstrom, O., & Binding, C. ,2012, Flexible charging optimization for electric vehicles considering distribution grid constraints, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.3, No.1,pp: 26-37.

[11] Sousa, T., Morais, H., Vale, Z., Faria, P., & Soares, J.,2012, Intelligent energy resource management considering vehicle-to-grid:A simulated annealing approach. IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.3, No.1, pp: 535-542.

[12] Zhongjing Ma, Suli Zou, and Xiangdong Liu, 2015, "A Distributed Charging Coordination for Large-Scale Plug-In Electric Vehicles Considering Battery Degradation Cost", IEEE Transactions on Systems Technology, Vol.23, No.2.

[13] Ian Beil, Ian Hiskens,2014, " Coordinated PEV Charging and its Effect on Distribution System Dynamics", System computation conference(PSCC), Wroclaw Poland.

[14] W. Liu, W. Gu, et al. , Apr. 2014, "Decentralized multi-agent system-based cooperative frequency control for autonomous microgrids with communication constraints," IEEE Trans. Sustainable Energy, Vol.5, No.2, pp. 446-456.

[15] Francesco Baccino, Samuele Grillo, Federico Silvestro, 2015, " A Two-Stage Margin-Based Algorithm for Optimal Plug-in Electric Vehicles Scheduling", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.23, No.2.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

[16] Luis F. Ochoa, and Gareth P. Harrison, 2010 , Minimizing Energy Losses: Optimal Accommodation and Smart Operation of Renewable Distributed Generation" IEEE Transactions on power systems, Vol.26 ,No.1, pp: 198-205.
[17] Xia Lili, Qiu Xiaoyan, Wei Xiwen, Li Xingyuan, 2010 , IEEE Research of Distribution Generation Planning in Smart Grid Construction, Asia-Pacific, Chengdu, pp:1-4.

رزومه



مسعود قنبرزاده در دزفول متولد شده است (۱۳۶۵). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه شهید چمران اهواز(۱۳۸۹)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۳) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت، ریزشبکه‌ها و مباحث مرتبط با بهینه‌سازی در سیستم‌های قدرت است.



حسن براتی در سال (۱۳۴۸) درشهرستان دزفول متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه صنعتی اصفهان(۱۳۷۱)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه تبریز(۱۳۷۵) و دکتری مهندسی برق-قدرت از واحد علوم و تحقیقات تهران(۱۳۸۶) سپری کرده است.فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه تجدید ساختار در صنعت برق، ادوات FACTS و قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت می‌باشد و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می-باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 3-Autumn2013& winter 2014

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.2.5]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]