طرح روشی نوین در برنامه‌ریزی بهینه کوتاه مدت ریزشبکه

محمد قلی‌نیا [۱] مهران صفدری [۲] سمیه حسن‌پور [۳]

۱- کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی سجاد- مشهد- ایران
M.gholinia1981@sadjad.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد- ایران
Mehran.safdary@mail.um.ac.ir

۳- استادیار- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی سجاد- مشهد- ایران
S_hasanpour@sadjad.ac.ir

چکیده: در این مقاله، برنامه‌ریزی بهینه اقتصادی در حوزه کوتاه‌مدت ریزشبکه در دو سطح با افق‌های متفاوت به اجرا در آمده است. هدف از برنامه‌ریزی با افق ۲۴ ساعته تعیین میزان تولید میکروتوربین‌ها، تعیین وضعیت مشارکت بارهای پاسخگو، مشخص شدن وضعیت شارژ و دشارژ منابع ذخیره ساز انرژی، میزان تبادل با شبکه بالادست و پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر با کمترین هزینه برای بهره‌بردار و بیشترین سود رسیده به مشترکین شرکت کننده در طرح پاسخگویی بار و با کمترین میزان تولید آلاینده‌ها، برای روز بعد می‌باشد. برنامه‌ریزی در لایه دوم با هدف کاهش خطای پیش‌بینی برنامه‌ریزی لایه اول و هزینه‌های ناشی از آن، برای ۱۵ دقیقه پیش رو انجام می‌گیرد. طرح پیشنهادی به کمک جعبه ابزار بهینه‌سازی نرم افزار متلب بر روی یک ریزشبکه نمونه به اجرا درآمده و نتایج بدست آمده بیانگر عملکرد مناسب این طرح در بهینه‌سازی هزینه‌های ناشی از خطای پیش‌بینی لایه اول بوده و با اجرای لایه دوم برنامه، ضمن تامین توان مورد نیاز ریزشبکه و کاهش هزینه‌های جاری آن، سود قابل توجهی نصیب شرکت کنندگان در برنامه پاسخگویی بار نموده است.

کلمات کلیدی: ریزشبکه، برنامه‌ریزی ریزشبکه، مدیریت بهینه ریزشبکه، بار پاسخگو، عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر، نفوذ زیاد منابع تجدیدپذیر

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۰۳
تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۹
نام نویسنده‌ی مسئول : دکتر سمیه حسن‌پور
نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران – مشهد – بلوار جلال آل احمد – جلال آل احمد ۶۴ – دانشگاه صنعتی سجاد – دانشکده‌ی برق و مهندسی پزشکی

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol15 No.1 Spring2018

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به قابلیت اطمینان بالای مورد نیاز و با توجه به حضور منابع تولید پراکنده در سطح توزیع، مبحثی جدید به نام ریزشبکه مطرح شده است که توجه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است. یک ریزشبکه را می‌توان به عنوان یک شبکه با سطح ولتاژ پایین با بارها و سیستم‌های تولیدی گوناگون کوچک متصل به آن تعریف کرد که این انرژی تولید شده می‌تواند هم توان و هم گرمای بارهای محلی را تامین کند.

افزایش نفوذ منابع تجدیدپذیر، افزایش نیاز به خدمات جانبی نظیر رزرو چرخان، تنظیم فرکانس و نرخ شیب بیشتر را در پی‌داشته و عملا بر هزینه‌های بهره‌برداری می‌افزاید. همچنین، در برخی موارد در اثر اضافه تولید واحدهای تجدیدپذیر و کمبود بار مصرفی، بهره‌بردار ناچار به قطع اجباری و خارج کردن این منابع از شبکه است[۱]. بنابراین عدم هماهنگی بین پیک تولید و پیک مصرف یکی دیگر از مشکلات اساسی آنها می‌باشد که این امر منجر به کمبود انرژی در ساعت‌های پیک بار و اضافه تولید در ساعت‌های غیر پیک می‌شود[۲]. اجرای صحیح برنامه‌های پاسخگویی بار و تعرفه‌های متغیر با زمان، می‌تواند به تطبیق الگوی مصرف و تولید کمک کند. بارهای انعطاف‌پذیر نیز برای منابع انرژی تجدیدپذیر که ذاتاً متغیر، نوسانی و غیر دائمی هستند، مکمل‌های ایده‌آلی محسوب می‌شوند بنابراین، می‌توان عدم قطعیت انرژی‌های تجدیدپذیر را از طریق برنامه‌های پاسخگویی بار و مدیریت مصرف، تا حدی جبران نمود. در [۳] ساختاری دو سطحی برای سیستم مدیریت انرژی با هدف بیشینه سازی سود بهره‌برداری و کمینه سازی هزینه‌های ناشی از خطای پیش‌بینی ارائه شده است. در [۴] مدلی ارایه شده است که طبق آن بهره‌بردار هیچ تعهدی از مصرف کننده برای مشارکت در پاسخ تقاضا نمی‌گیرد و مصرف کننده نیز به خاطر مشارکت در طرح از هیچ تشویقی برخوردار نمی‌گردد. در [۵] به نحوه مدیریت توان در ریزشبکه تنها در حالت قطع از شبکه اصلی پرداخته و حالت متصل به شبکه دیده نشده است. در [۶] تنها تاثیر بار پاسخگو در مدیریت تولید ریزشبکه در حالت ایزوله از شبکه بالادست مورد بررسی قرار گرفته است. در [۷] به مدیریت هزینه ریزشبکه در دو حالت عدم امکان فروش توان به شبکه بالادست و امکان فروش توان به شبکه بالادست پرداخته شده و بارهای پاسخگو بصورت حداکثر بارهای قابل قطع مشاهده شده است. در [۸] ریزشبکه بصورت منفصل از شبکه اصلی در نظر گرفته شده و عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر و آلودگی محیط زیست در کنار مدیریت تولید ریزشبکه مشاهده شده است. در [۹] به مدیریت هزینه ریزشبکه در حالت منفصل از شبکه اصلی پرداخته و حالت‌های مختلفی از تاثیر حضور منابع تولید مختلف و باتری در نظر گرفته شده است. در [۱۰] یک برنامه‌ریزی برای روز بعد و یک برنامه‌ریزی در همان روز با بازه زمانی ۵ دقیقه‌ای ارایه شده است. در [۱۱] یک روش مدیریت هزینه ریزشبکه در دو سطح ارایه شده است. در سطح اول هدف بیشینه‌سازی سود بهره‌بردار و سطح دوم برای پوشش خطای پیش‌بینی و با هدف کمینه کردن هزینه‌های رزرو می‌باشد. در [۱۲] دو ساختمان هوشمند شامل منابع تولید پراکنده و ذخیره‌ساز انرژی در نظر گرفته شده است. ساختمان‌های مذکور توسط کنتور هوشمند تعرفه برق را دریافت و برنامه‌ریزی برای بارهای پاسخگو در جهت کاهش هزینه‌های مصرف انرژی و بهره‌برداری از منابع برای روز آینده انجام می‌شود. در این مرجع ساختمان‌های هوشمند امکان استفاده از ذخیره‌سازهای یکدیگر را در مواقع لازم دارند. در [۱۳] به موضوع تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در یک ریزشبکه مستقل از شبکه اصلی پرداخته شده است. در این مرجع از میکروتوربین‌ها برای پوشش عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر استفاده و یک برنامه‌ریزی سالانه ارایه شده است.

از وجوه تمایز این مقاله این است که کلیه ادوات مرسوم یک ریزشبکه در مساله لحاظ شده و هزینه‌های ریزشبکه که شامل هزینه تولید، هزینه آلایندگی، هزینه تبادل با شبکه بالادست، هزینه استهلاک باتری و هزینه استفاده از بارهای پاسخگو می‌باشد، با برنامه ریزی بهینه به حداقل رسیده است. پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر به روشی جدید از شاخصه‌های این مقاله است که در کنار استفاده از بارهای پاسخگو و سایر ابزارهای موجود، منجر به افزایش دقت پیش‌بینی و پوشش بیشتر عدم قطعیت تولید این منابع شده است. نگاه ویژه به ایجاد انگیزه در بین مشترکین به مشارکت در برنامه پاسخگویی بار از دیگر شاخصه‌های این مقاله می‌باشد، که برخلاف سایر کارها که مبلغ پرداختی تشویقی به مشترکین را ثابت و تک نرخی در نظر گرفته‌اند، بهره‌بردار ضمن تعیین بازه پرداختی تشویقی، تعیین نرخ پرداخت را بر عهده مشترک گذاشته است که در صورت پذیرفته شدن نرخ پیشنهادی و استفاده از آنها، نرخ اعلام شده از سوی مشترکین، به آنها پرداخت خواهد شد و در صورت پذیرفته شدن نرخ پیشنهادی و عدم نیاز به آنها، پاداشی تحت عنوان آمادگی به آنها تعلق خواهد گرفت. همچنین با توجه به رویکرد کنترل مستقیم بار از سوی بهره بردار ریزشبکه، حاشیه امنیتی از جهت تضمین مشارکت ایشان بوجود خواهد آمد.

این مقاله با استفاده از اطلاعات مربوط به پیش‌بینی بار و تعرفه قیمت برق شبکه بالادست و همچنین پیش‌بینی تولید منابع انرژی بادی و خورشیدی به کمینه‌سازی هزینه تولید ریزشبکه پرداخته است و از آنجایی که تولید این منابع با عدم قطعیت‌هایی مواجه است با استفاده از ابزارهای موجود همچون بارهای پاسخگو، منابع ذخیره ساز انرژی و سایر منابع تولید ریزشبکه به مدیریت این عدم قطعیت‌ها پرداخته، و در نتیجه کارآمدی این ابزارها با در نظر گرفتن نفوذ زیاد منابع تجدیدپذیر ثابت شده است. در ادامه با کوتاه کردن افق برنامه‌ریزی و بروز رسانی اطلاعات ورودی برنامه، سعی در کمینه کردن هزینه‌های ناشی از خطای پیش‌بینی داشته است.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]

۲- طرح پیشنهادی برنامه‌ریزی دو سطحی

در این مقاله به دلیل هزینه‌های بسیارکم منابع تجدیدپذیر، نفوذ این منابع بسیار زیاد در نظر گرفته شده است و این امر بر عدم قطعیت های مساله برنامه‌ریزی افزوده است. اجرای طرح برنامه‌ریزی دو سطحی به شرح زیر است:

در لایه اول برنامه‌ریزی، میزان تولید میکروتوربین‌ها، وضعیت (میزان و زمان) مشارکت بارهای پاسخگو، وضعیت شارژ و دشارژ منابع ذخیره ساز انرژی، میزان تبادل با شبکه بالادست و پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر با کمترین هزینه برای بهره‌بردار و بیشترین سود رسیده به مشترکین شرکت‌کننده در طرح بار پاسخگو با کمترین میزان تولید آلاینده‌ها با در نظر گرفتن قیود تعادل توان، محدودیت تولید منابع تولید پراکنده، قیود تبادل توان و قیود مربوط به ذخیره سازها مشخص می‌شود. در لایه دوم، برنامه‌ریزی مجددا در بازه زمانی ۱۵ دقیقه‌ای انجام می‌شود، لذا خطای پیش‌بینی لایه اول و هزینه‌های ناشی از آن به حداقل رسیده و برنامه‌ریزی به واقعیت نزدیک‌تر خواهد شد. اختلاف پیش‌بینی صورت گرفته به بهینه‌ترین وجه با استفاده از تغییر در تولید میکروتوربین‌ها، خرید یا فروش به شبکه بالادست و استفاده از بارهای پاسخگو با قیمت پیشنهادی پایین صورت می‌گیرد. در این طرح بهره‌بردار با در نظر گرفتن هزینه تولید میکروتوربین‌ها، نرخ بارگیری آنها، نرخ انرژی در شبکه بالادست و نرخ اعلامی مشترکین همکار بهینه‌ترین برنامه را جهت بکارگیری از ادوات موجود در ریزشبکه را در راستای حفظ تعادل ریزشبکه انتخاب خواهد کرد. با توجه به این که برنامه‌ریزی مجدد برای بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه انجام می‌شود، روشن کردن واحدی که در مدار نیست از نظر اقتصادی بهینه نمی‌باشد. درغیر اینصورت برنامه جدید به شدت از برنامه اقتصادی لایه اول فاصله خواهد گرفت.

۳- نحوه پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر و اجرای برنامه پاسخگویی بار

بهره‌برداری و برنامه‌ریزی ریزشبکه در حضور منابع تجدیدپذیر با وجود عدم قطعیت‌ها بر پیچیدگی مساله افزوده است. استفاده از منابع تولید پراکنده کنترل‌پذیر با تغییرات سریع در میزان توان تولیدی، استفاده از منابع ذخیره‌ساز توان و استفاده از منابع سمت تقاضا برای کاهش تاثیر عدم قطعیت در حضور حداکثری منابع تجدیدپذیر، در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است. همچنین ویژگی غیر قابل پیش‌بینی بودن این منابع در زمان نفوذ زیاد آن، چالش برقراری تعادل بین تولید و مصرف می‌باشد. پاسخگویی بار از دید مشترک، تغییر در مصرف انرژی الکتریکی در واکنش به تغییر قیمت برق در زمان‌های مختلف و از دید بهره‌بردار، تغییر در مصرف انرژی الکتریکی برای حفظ پایداری شبکه می‌باشد. برنامه پاسخگویی بار به علت پاسخ سریع، عدم نیاز به سرمایه‌گذاری برای توسعه ظرفیت سیستم قدرت، گسترش ابزارهای هوشمند و قابلیت کنترل، از دیدگاه بهره‌بردار ابزار مناسبی جهت مدیریت عدم قطعیت منابع انرژی پاک و کاهش میزان توان تامین نشده به شمار می‌آید.

۳-۱- نحوه پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر

۳-۱-۱- مروری بر کارهای گذشته در زمینه پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر

بطور کلی کارهایی که در گذشته در مورد نحوه پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر انجام شده است به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

الف) تولید منابع تجدیدپذیر یک مقدار ثابت در نظر گرفته می‌شود.([۷] و [۹] و [۱۴]) همچنین در [۳] چند حالت برای تولید منابع تجدیدپذیر در نظر گرفته شده است.

ضعف این دسته در نادیده گرفتن عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر با توجه به ماهیت تصادفی و وابسته به اوضاع جوی بودن این منابع می‌باشد.

ب) پوشش عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر با در نظر گرفتن رزرو چرخان و یا تعریف ماتریس آنالیز حساسیت برای تغییر در توان خروجی منابع تولید پراکنده ([۱۵] و [۱۶])

رزرو چرخان را می‌توان برای پوشش سایر عدم قطعیت‌های موجود استفاده کرد. محاسبه ماتریس آنالیز حساسیت و در نتیجه تغییر در توان خروجی منابع تولید پراکنده باعث دور شدن از برنامه‌ریزی اقتصادی اولیه و در نتیجه افزایش هزینه‌ها خواهد شد. موارد اشاره شده از ضعف این دسته می‌باشد.

ج) استفاده از توابع توزیع احتمال به جهت مشاهده عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر که در کارهای گذشته معمولا به دو نوع از این توابع استفاده شده است.

نوع اول: تابع توزیع احتمال به چند بخش مجزا (چند بازه سرعت باد و میزان تابش خورشید) تقسیم می‌گردد. احتمال وقوع هر بخش به سرعت باد و یا میزان تابش خورشیدی که توسط نقطه میانی هر بخش مشخص می‌گردد، نسبت داده می‌شود. ([۱۷])

نوع دوم: در نظر گرفتن سناریوهای مختلف (و یا درخت سناریو) و سپس محاسبه احتمال وقوع هر سناریو ([۱۸] و [۱۹])

دخالت انسانی در انتخاب پارامترهای ورودی در هر دو نوع ذکر شده که ذات نوسانی دارند باعث افزایش عدم قطعیت شده و از ایراد این دسته می‌باشد.

۳-۱-۲- ایده پیشنهادی در پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر

با توجه به داده‌های باد و تابش خورشید در سال‌های گذشته، برای هر ساعت یک کمیت (باد و تابش) کمینه و یک کمیت بیشینه و استخراج شده و تعدادی عدد تصادفی بین این دو مقدار تولید می‌شود. سپس احتمال کمیت‌های سرعت باد با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول[۲۰] و احتمال کمیت‌های تابش خورشید با استفاده از تابع

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol15 No.1 Spring2018

توزیع احتمال بتا[۲۱] محاسبه می‌شود. از بین این تعداد اعداد تصادفی، کمیتی که بیشترین احتمال را داشته باشد بعنوان کمیت برگزیده این ساعت انتخاب می‌گردد. همچنین با توجه به داده‌های آماری سال‌های گذشته سایر پارامترهای ورودی توابع توزیع احتمال تعیین می‌شود. روش ارائه شده دارای ویژگی‌های زیر است:

الف) کمیت احتمالی بر خلاف کارهای انجام شده گذشته، بدون دخالت انسانی انتخاب می‌شود.

ب) کمیت احتمالی در هر ساعت بین کمیت کمینه و بیشینه همان ساعت با توجه به داده‌های سرعت وزش باد و تابش خورشید در سال‌های گذشته است.

ج) کمیت احتمالی در هر ساعت، آن کمیتی است که بیشترین احتمال را دارد.

۲-۳- نحوه پیاده سازی برنامه پاسخگویی بار

با توجه به اهمیت برقراری قید تعادل توان اکتیو در ریزشبکه، فرض می‌شود که مرکز کنترل ریزشبکه در هر ساعتی که به مشکل کمبود تولید و عدم تعادل توان اکتیو برخورد می‌کند، در صورت همکاری مشترکین در طرح بار پاسخگو، حاضر است بین ۱/۵ تا ۲ برابر هزینه تولید میکروتوربین‌ها پرداخت نماید تا تعادل و پایداری ریزشبکه حفظ شود. از ویژگی‌های اجرای این برنامه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی با اعلام میزان همکاری هر مشترک شرکت کننده در برنامه پاسخگویی بار برای کل روز و نه به طور ساعتی

ب) تعیین بازه‌ای برای مشوق پرداختی به مشترکین از سوی بهره‌بردار

ج) تعیین نرخ مشوق پرداختی از سوی مشترک با توجه به بازه تعیین شده و در نتیجه افزایش تمایل مشترکین برای شرکت در برنامه پاسخگویی بار

د) تضمین اجرای برنامه پاسخگویی بار با توجه به امکان کنترل مصرف مشترک از سوی بهره‌بردار

۴- مراحل گام به گام برنامه‌ریزی دو لایه

۴-۱- برنامه‌ریزی کوتاه مدت با افق ۲۴ ساعته

گام اول- دریافت اطلاعات ورودی شامل داده‌های چند ساله سرعت وزش باد و میزان تابش خورشید، بار پیش‌بینی شده، هزینه تولید میکروتوربین‌ها، نرخ شبکه بالادست و اطلاعات مربوط به مشترکین شرکت کننده در برنامه پاسخگویی بار

گام دوم- اجرای برنامه پیش‌بینی میزان تولید منابع تجدیدپذیر بر اساس روش پیشنهادی

گام سوم- بررسی تابع هدف برای دست‌یابی به مینیمم هزینه‌های ریزشبکه

گام چهارم- رعایت قید تعادل توان اکتیو و سایر قیود حاکم بر مساله

گام پنجم- استخراج نتایج برنامه بهینه‌سازی شامل میزان تولید میکروتوربین‌ها، میزان تبادل با شبکه بالادست، میزان شارژ و دشارژ باتری و میزان استفاده از بارهای پاسخگو

۴-۲- برنامه‌ریزی کوتاه مدت با افق ۱۵ دقیقه‌ای

گام اول- بروز رسانی اطلاعات تولید منابع تجدیدپذیر، نرخ انرژی در ریزشبکه و شبکه اصلی و اطلاعات بار

گام دوم- بررسی تابع هدف برای دست‌یابی به مینیمم هزینه‌های ریزشبکه

گام سوم- رعایت قید تعادل توان اکتیو و سایر قیود حاکم بر مساله

گام چهارم- بروز رسانی نتایج برنامه بهینه‌سازی شامل میزان تولید میکروتوربین‌ها، میزان تبادل با شبکه بالادست، میزان شارژ و دشارژ باتری و میزان استفاده از بارهای پاسخگو در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش سود مشترکین همکار

۵- ریزشبکه مورد مطالعه

ریزشبکه مورد مطالعه دارای دو عدد میکروتوربین با تولید توان کمینه ۱۰کیلووات و بیشینه ۳۰کیلووات، سه عدد سلول خورشیدی با تولید توان نامی ۵کیلووات، دو توربین بادی با تولید توان نامی ۱۵کیلووات، یک مجموعه منابع ذخیره ساز انرژی به ظرفیت ۲۵کیلووات، یک مجموعه بار که توان آنها در ۲۴ ساعت ثابت فرض شده و تعدادی بار پاسخگو جهت مشارکت در برنامه پاسخگویی بار که در راستای کاهش هزینه ریزشبکه و حداکثر کردن سود خود، میزان توان همکاری و قیمت مورد نظر خود را با توجه به قیمت روز گذشته پیش‌بینی و آن را به مرکز کنترل ریزشبکه اعلام می‌کنند. مولدهای تجدیدپذیر در این سیستم با توجه به پیش‌بینی تولید آن‌ها با بکارگیری روش پیشنهادی این مقاله، در حداکثر توان ممکن (با توجه به شرایط آب و هوایی) کار می‌کنند.

توان خروجی میکروتوربین، بارهای منعطف، پتانسیل منابع ذخیره انرژی و تبادل توان با شبکه بالادست، متغیرهای کنترلی جهت کمینه کردن هزینه روزانه ریزشبکه می‌باشند.

مفروضات ریزشبکه به شرح زیر می‌باشد:

- سه بازه کم‌باری، میان‌باری و پرباری در نظر گرفته شده است که ساعت‌های مربوط به هر کدام از بازه‌ها به ترتیب عبارتند از ۱ الی ۸ ، ۹ الی ۱۶ و ۱۷ الی ۲۴. همچنین مقادیر فرض شده برای پارامترهای ریزشبکه بصورت جدول (۱) می‌باشد.
- میزان هزینه تولید میکروتوربین‌ها در سه بازه زمانی بصورت جدول (۲) فرض شده است.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]

- هر مشترک به کنتور هوشمند مجهز بوده و دو پارامتر میزان مشارکت مشترک در طرح بار پاسخگو و همچنین قیمت مد نظر مشترک برای هر کیلووات همکاری خود، از روز قبل به مرکز کنترل ریزشبکه ارسال می‌شود. اطلاعات بدست آمده از مشترکینی که در طرح بار پاسخگو شرکت می‌کنند تحت جدولی به صورت جدول (۳) مرتب می‌شود.
- با توجه به قرار داد منعقد شده میان مشترکین و بهره‌بردار، به هر مشترک شرکت کننده در طرح بار پاسخگو که پیشنهاد وی مورد قبول واقع شده ولی به دلیل عدم نیاز، از آن استفاده نشده است، درصدی از نرخ تعیین شده از سوی مشترک، به عنوان نرخ آمادگی به وی پرداخت می‌گردد.
- پیش‌بینی میزان بار مصرفی در ۲۴ ساعت (میزان بار در لایه اول) و همچنین میزان بار مصرفی دقیق (میزان بار در لایه دوم) مطابق شکل (۱) می‌باشد.

جدول (۱): مقادیر فرض شده برای پارامترهای ریزشبکه

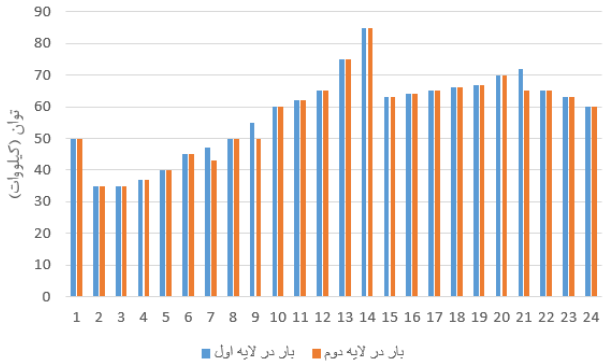
مقدار	پارامتر
۰,۰۰۵۸۷	K_{OM}
۳ کیلووات بر دقیقه	$Ramp\ Rate$
۳۵ کیلووات	$Ptie_{\max}$
۲۵ کیلووات	$SOC_{\max}$
۵ کیلووات	$SOC_{\min}$
۶۰ درصد	$\alpha_{\text{discharge}}$
۳ کیلووات	sr

جدول (۲): هزینه تولید میکروتوربین‌ها و کمینه و بیشینه هزینه پرداختی به مشترکین شرکت کننده در طرح پاسخگویی بار

دوره	بازه زمانی	هزینه تولید میکروتوربین (Currency /KW)	کمترین هزینه پرداختی به مشترکین همکار (Currency/KW)	بیشترین هزینه پرداختی به مشترکین همکار (Currency/KW)
کم‌باری	۱ - ۸	۳۰	۴۵	۶۰
میان‌باری	۹ - ۱۶	۴۰	۶۰	۸۰
پرباری	۱۷ - ۲۴	۵۳,۳	۸۰	۱۰۶,۶

جدول (۳): اطلاعات جمع آوری شده مشترکین طرح پاسخگویی بار

دوره مشارکت با توجه به قیمت پیشنهادی	قیمت اعلام شده (Currency/KW)	توان اعلام شده (KW)	مشترک
هر سه بازه	۴۲	۳	۱
میان‌باری – پرباری	۶۳,۵	۳,۵	۲
میان‌باری – پرباری	۶۳,۵	۴	۳
میان‌باری – پرباری	۷۹	۵,۷	۴
پرباری	۹۵	۴,۲	۵
پرباری	۸۱	۷,۶	۶
پرباری	۹۶	۸,۳۶	۷
پرباری	۸۳	۵	۸



شکل (۱): منحنی پیش‌بینی بار در ۲۴ ساعت در دو لایه

۶- تابع هدف و قیود حاکم بر مساله

بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه عبارت است از کمینه سازی هزینه‌های آن با در نظر گرفتن تعادل ریزشبکه و سایر قیود، که این موضوع تحت قالب یک مساله بهینه‌سازی بیان می‌شود. تابع هدف مساله در رابطه (۱) و جزئیات آن در روابط (۲) تا (۸) بیان می‌شود.

$$Min\,Cost = \sum_{t=1}^{24} \begin{pmatrix} Cost_{MT}(t) + Cost_{OM}(t) \\ + Cost_{Emission}(t) + Cost_{I\&E}(t) \\ + Cost_{DR}(t) + Cost_{\text{Battery}}(t) \end{pmatrix} \quad (۱)$$

$Cost_{MT}(t)$ بیانگر هزینه تولید میکروتوربین در ساعت t ام بوده و از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$Cost_{MT}(t) = \sum_{i=1}^{N_{MT}} C(t) \times \frac{P_{MT_i}(t)}{\eta(P_{MT_i}(t))} \quad (۲)$$

$\eta(P_{MT_i})$: راندمان میکروتوربین i ام بوده و از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$\eta(P_{MT_i}) = a \times P_{MT_i} + b \quad (۳)$$

$Cost_{OM}(t)$ بیانگر هزینه تعمیر و نگهداری میکروتوربین در ساعت t ام بوده و از رابطه (۴) بدست می‌آید[۲۲].

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol15 No.1 Spring2018

$$Cost_{OM}(t) = \sum_{i=1}^{N_{MT}} K_{OM\,MT_i} \times P_{MT_i}(t) \qquad (۴)$$

$Cost_{Emission}(t)$ بیانگر هزینه آلودگی محیط زیست در ساعت t ام بوده و از رابطه (۵) بدست می‌آید[۲۲].

$$Cost_{Emission}(t) = \sum_{i=1}^{N_{MT}} \begin{bmatrix} \rho_{NO_x} \times EF_{NO_x} \times P_{MT_i}(t) \\ +\rho_{SO_2} \times EF_{SO_2} \times P_{MT_i}(t) \\ +\rho_{CO_2} \times EF_{CO_2} \times P_{MT_i}(t) \end{bmatrix} \qquad (۵)$$

$Cost_{I\&E}(t)$ بیانگر هزینه و درآمد حاصل از تبادل با شبکه بالادست در ساعت t ام بوده و از رابطه (۶) بدست می‌آید.

$$Cost_{I\&E}(t) = MCP(t) \times P_{tie}(t) \qquad (۶)$$

$Cost_{DR}(t)$ بیانگر هزینه استفاده از بارهای پاسخگو در ساعت t ام بوده و از رابطه (۷) بدست می‌آید.

$$Cost_{DR}(t) = \sum_{i=1}^{N_{DR}} C_i \times P_{DR_i}(t) \qquad (۷)$$

$Cost_{\text{Battery}}(t)$ بیانگر هزینه استهلاک باتری در ساعت t ام بوده و از رابطه (۸) بدست می‌آید.

$$Cost_{\text{Battery}}(t) = \sum_{i=1}^{N_{\text{Battery}}} \left|P_{Batt_i}(t)\right| \times B_{Batt_i} \qquad (۸)$$

جدول (۴): مفهوم پارامترهای تعریف شده در روابط (۱) الی (۸)

پارامتر	مفهوم
$C(t)$	هزینه تولید میکروتوربین در ساعت t ام
N_{MT}	تعداد میکروتوربین‌های ریزشبکه
$P_{MT_i}(t)$	توان تولیدی میکروتوربین i ام در ساعت t ام
a و b	ضرایب ثابت بوده که وابسته به مشخصات میکروتوربین می‌باشد.
$K_{OM\,MT_i}$	ضریب هزینه تعمیر و نگهداری میکروتوربین i ام با یکای واحد پول بر کیلووات ساعت
ρ_x	واحد قیمت جریمه برای تولید آلاینده نوع x
EF_x	ضریب تولید آلاینده نوع x
$MCP(t)$	نرخ برق در شبکه اصلی
$P_{tie}(t)$	توان مبادله شده با شبکه اصلی که اگر مثبت باشد توان از شبکه اصلی خریداری می‌شود و اگر منفی باشد توان به شبکه اصلی فروخته می‌شود.
N_{DR}	تعداد مشترکین شرکت کننده در برنامه بار پاسخگو
C_i	هزینه اعلامی از سوی مشترک i ام برای هر کیلووات همکاری وی در برنامه پاسخگویی بار
$P_{DR_i}(t)$	میزان مشارکت مشترک i ام در برنامه پاسخگویی بار در ساعت t ام
N_{Battery}	تعداد باتری‌های ریزشبکه
$P_{\text{Batt}_i}(t)$	توان باتری i ام در ساعت t ام که اگر منفی باشد، باتری توان تحویل می‌دهد و اگر مثبت باشد باتری توان را ذخیره می‌کند.

قید تعادل توان اکتیو در رابطه (۹) نشان داده شده است.

$$\sum_{t=1}^{24} \left[\begin{array}{l} \sum_{i=1}^{N_{\text{MT}}} P_{MT_i}(t) + \sum_{i=1}^{N_{\text{Solar}}} P_{S_i}(t) \\ + \sum_{i=1}^{N_{\text{wind}}} P_{w_i}(t) + \sum_{i=1}^{N_{\text{DR}}} P_{DR_i}(t) \\ - \sum_{i=1}^{N_{\text{Battery}}} P_{Batt_i}(t) + P_{tie}(t) \end{array} \right] = \sum_{t=1}^{24} P_{Load}(t) \qquad (۹)$$

محدودیت تولید هر میکروتوربین توسط رابطه (۱۰) بیان می‌شود.

$$P_{MT}^{\min} \le P_{MT_i}(t) \le P_{MT}^{\max} \qquad (۱۰)$$

محدودیت نرخ بارگیری در هر ساعت توسط رابطه (۱۱) بیان می‌شود.

$$P_{MT_i}(t) - P_{MT_i}(t-1) \le 60 \times Ramp\ Rate \qquad (۱۱)$$

محدودیت رزرو چرخان توسط روابط (۱۲) و (۱۳) بیان می‌شود.

$$P_{MT}^{\max} - sr = P_{\text{actual}}^{\max} \qquad (۱۲)$$

$$P_{MT}^{\min} + sr = P_{\text{actual}}^{\min} \qquad (۱۳)$$

محدودیت انتقال توان خط رابط میان ریزشبکه و شبکه اصلی توسط رابطه (۱۴) بیان می‌شود.

$$\left|P_{tie}\right| \le P_{tie}^{\max} \qquad (۱۴)$$

محدودیت حداکثر همکاری هر مشترک در برنامه پاسخگویی بار توسط رابطه (۱۵) بیان می‌شود.

$$\sum_{t=1}^{24} P_{DR_i}(t) \le P_{DR_i}^{\max} \qquad i = 1,\ldots,N_{DR} \qquad (۱۵)$$

میزان ذخیره باتری در هر ساعت، محدودیت‌های مربوط به باتری و وضعیت اولیه باتری در روابط (۱۶) تا (۲۱) آورده شده است.

$$SOC(t) = SOC(t-1) + P_{\text{charge}}(t) - P_{\text{discharge}}(t) \qquad (۱۶)$$

$$SOC_{\min} \le SOC(t) \le SOC_{\max} \qquad (۱۷)$$

$$SOC(t) + SOC(t-1) \le SOC_{\max} \qquad (۱۸)$$

$$P_{\text{charge}}(t) \le SOC_{\max} \qquad (۱۹)$$

$$P_{\text{discharge}}(t) \le SOC_{\max} \times \alpha_{\text{discharge}} \qquad (۲۰)$$

$$SOC(t=1) = 0 \qquad (۲۱)$$

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]

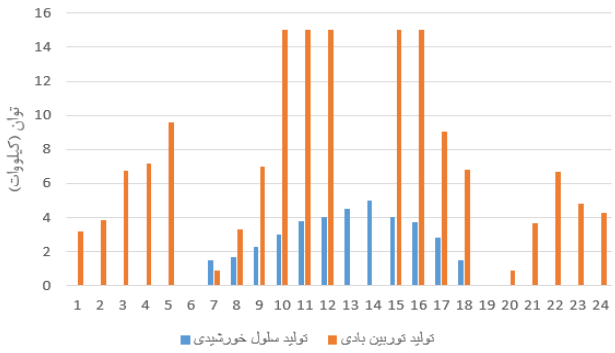
جدول (۵): مفهوم پارامترهای تعریف شده در روابط (۹) الی (۲۱)

پارامتر	مفهوم
N_{solar}	تعداد سلول‌های خورشیدی ریزشبکه
N_{wind}	تعداد توربین‌های بادی ریزشبکه
$P_{S_i}(t)$	توان تولیدی سلول خورشیدی i ام در ساعت t ام
$P_{W_i}(t)$	توان تولیدی توربین بادی i ام در ساعت t ام
$P_{Load}(t)$	بار ریزشبکه در ساعت t ام
$P_{MT}^{\min}$	کمینه توان تولیدی میکروتوربین
$P_{MT}^{\max}$	بیشینه توان تولیدی میکروتوربین
$Ramp\ Rate$	نرخ بارگیری میکروتوربین
sr	رزرو چرخان
$P_{DR_i}^{\max}$	حداکثر توان اعلامی از سوی مشترک i ام در برنامه پاسخگویی بار
$SOC(t)$	میزان ذخیره باتری در ساعت t ام
$P_{\text{charge}}(t)$	میزان توان شارژ شده باتری در ساعت t ام
$P_{\text{discharge}}(t)$	میزان توان دشارژ شده باتری در ساعت t ام
$\alpha_{\text{discharge}}$	ضریب دشارژ باتری که به منظور جلوگیری از استهلاک زیاد باتری در اثر دشارژ شدن لحاظ می‌گردد.

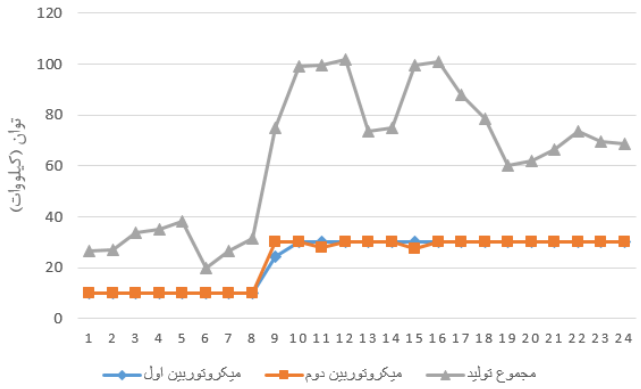
۷- نتایج شبیه‌سازی

در لایه اول برنامه‌ریزی ضمن در نظر گرفتن همزمان بارهای پاسخگو، تبادل با شبکه بالادست و بکارگیری منابع ذخیره ساز انرژی، برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته ریزشبکه مورد مطالعه به اجرا درآمد. بخشی از خروجی برنامه‌ریزی لایه اول که پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر می‌باشد در شکل (۲)، میزان تولید میکروتوربین‌ها و مجموع تولید ریزشبکه در شکل (۳)، میزان و وضعیت تبادل توان با شبکه اصلی و همچنین میزان شارژ و دشارژ باتری‌ها در شکل (۴) نمایش داده شده است. میزان و زمان استفاده از مشترکین شرکت کننده در برنامه پاسخگویی بار که بخش دیگری از خروجی برنامه‌ریزی لایه اول می‌باشد در شکل (۵) نشان داده شده است.

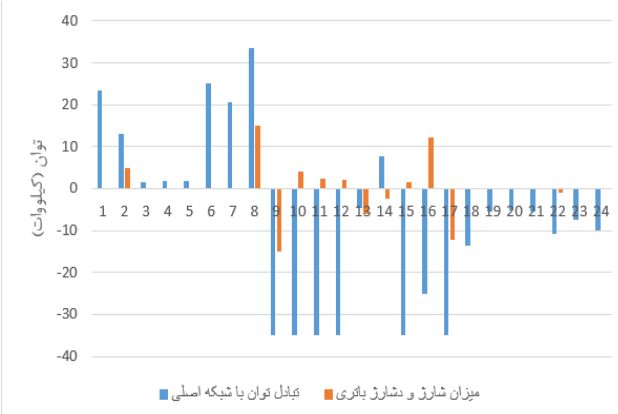
نتایج برنامه‌ریزی لایه اول نشان می‌دهد که در ساعت‌های کم‌باری که تعرفه برق در شبکه اصلی ارزان‌تر از هزینه تولید میکروتوربین‌ها می‌باشد بهره‌بردار تمایل به خرید توان از شبکه اصلی را داشته و تولید میکروتوربین‌ها را در مقدار کمینه خود قرار می‌دهد. توان خریداری شده به همراه مجموع تولید ریزشبکه صرف تامین بار می‌شود. مازاد توان خریداری شده از شبکه اصلی در باتری‌های ریزشبکه ذخیره می‌شود. در بازه‌های میان‌باری و پرباری با توجه به بالا بودن تعرفه برق در شبکه اصلی، بهره‌بردار تمایل دارد از کلیه ظرفیت‌های موجود استفاده کرده تا پس از تامین نیاز بار، به جهت کمینه کردن هزینه‌های خود توان مازاد را به شبکه اصلی بفروشد. با توجه به افزایش قابل ملاحظه تعرفه برق در شبکه اصلی در بازه پرباری، استفاده از مشترکین شرکت کننده در برنامه پاسخگویی بار به جهت حداکثر کردن سود رسیده به این مشترکین، به این بازه موکول شده است.



شکل (۲): پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر در لایه اول



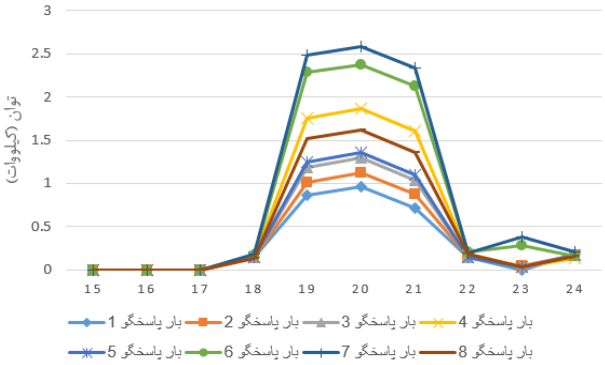
شکل (۳): تولید میکروتوربین‌ها و مجموع تولید ریزشبکه در لایه اول



شکل (۴): تبادل توان با شبکه اصلی و میزان شارژ و دشارژ باتری در لایه اول

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol15 No.1 Spring2018



شکل (۵): وضعیت استفاده از مشترکین شرکت کننده در برنامه پاسخگویی بار در لایه اول

در لایه دوم برنامه‌ریزی که به جهت کمینه کردن هزینه ناشی از خطای پیش‌بینی و برای بازه کمتر از یک ساعت در نظر گرفته شده است، چندین اختلاف در مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی بوجود آمده است. (ساعت‌های ۷ و ۲۱)

در ساعت ۷، سرعت وزش باد از مقدار پیش‌بینی شده بیشتر بوده و لذا تولید توربین بادی افزایش می‌یابد. در این ساعت میزان تابش خورشید کمتر از مقدار پیش‌بینی شده بوده و لذا تولید سلول خورشیدی کاهش می‌یابد. همچنین در این ساعت بار مصرفی به میزان چهار مگاوات کمتر از مقدار پیش‌بینی شده بوده است.

نتیجه اجرای برنامه‌ریزی در لایه دوم نشان از کاهش خرید توان از شبکه اصلی در این ساعت را داشته و سایر خروجی‌ها مشابه برنامه‌ریزی لایه اول در این ساعت می‌باشد.

در ساعت ۲۱، سرعت وزش باد از مقدار پیش‌بینی شده کمتر بوده و لذا تولید توربین بادی مقدار کمی کاهش می‌یابد. در این ساعت بار مصرفی به میزان هفت مگاوات کمتر از مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد. نتیجه اجرای برنامه‌ریزی در لایه دوم نشان از افزایش فروش توان به شبکه اصلی در این ساعت را داشته که در پی آن کاهش هزینه‌های بهره‌بردار با فروش بیشتر توان بوده است. سایر خروجی‌ها مشابه برنامه‌ریزی لایه اول در این ساعت می‌باشد. نتایج برنامه‌ریزی لایه دوم نشان می‌دهد که با تغییر در مقادیر پیش‌بینی شده ورودی در همان روز، بیشترین تغییر در خروجی‌های برنامه‌ریزی در توان مبادله شده با شبکه بالادست می‌باشد.

توان مبادله شده با شبکه اصلی در ساعت ۷ از ۲۰/۵۵+ به ۱۶/۵۵+ (در حالت خرید توان از شبکه اصلی) و در ساعت ۲۱ از ۵/۵۸- به ۱۲/۵۸- (در حالت فروش توان به شبکه اصلی) تغییر می‌کند. توان تولیدی میکروتوربین‌ها و میزان شارژ و دشارژ باتری بدون تغییر باقی مانده است. در نتیجه از افزایش هزینه تعمیر و نگهداری میکروتوربین‌ها و استهلاک بیشتر باتری‌ها جلوگیری شده و برنامه‌ریزی لایه دوم از برنامه‌ریزی اقتصادی لایه اول فاصله زیادی نمی‌گیرد.

با توجه به کاهش بار در ساعت ۲۱ و همچنین چشمگیر بودن تعرفه برق در شبکه اصلی در بازه پرباری، کاهش میزان مصرف ریزشبکه در این ساعت و در نتیجه افزایش فروش توان به شبکه اصلی، سود مناسبی را نصیب بهره‌بردار ریزشبکه می‌نماید و در نتیجه هزینه کل بهره‌بردار در برنامه‌ریزی لایه دوم به مراتب کمتر از برنامه‌ریزی لایه اول می‌باشد. جدول (۶) هزینه کل بهره‌بردار را در برنامه‌ریزی لایه‌های اول و دوم با یکدیگر مقایسه می‌نماید.

جدول(۶): مقایسه هزینه‌ها در دو لایه برنامه‌ریزی

لایه	اول	دوم
هزینه بهره‌بردار	۱۷۹۷۲	۱۷۱۰۳,۷۳۲۴۳

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جدید در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت ریزشبکه با دو سطح مدیریت منابع ریزشبکه ارایه گردید. هدف از طرح برنامه‌ریزی دولایه، گسترش نفوذ منابع تجدیدپذیر به کمک بارهای پاسخگو و منابع ذخیره‌ساز انرژی بوده که در سطح اول بهینه‌سازی سود بهره‌بردار و مشترکین همکار مد نظر بوده است و در لایه دوم هدف کمینه سازی هزینه ناشی از خطای پیش‌بینی تولید منابع تجدیدپذیر، بار و نرخ انرژی می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که امکان تبادل توان با شبکه اصلی، باعث شده است تا تغییر در مقادیر پیش‌بینی شده ورودی موجب تغییر بیشتر این خروجی (توان مبادله شده با شبکه اصلی) نسبت به سایر خروجی‌ها باشد. این موضوع سبب شده است تا از تغییرات شدید در توان تولیدی میکروتوربین‌ها و در نتیجه افزایش هزینه تعمیر و نگهداری آن‌ها و همچنین استهلاک بیشتر منابع ذخیره‌ساز انرژی به واسطه میزان شارژ یا دشارژ بیشتر آن‌ها جلوگیری کند.

۹- منابع

[1] A. Benigni, A. Helmedag, K. Chen, D. Calì, P. Jahangiri C. Molitor, “Multiphysics Test Bed for Renewable Energy Systems in Smart Homes”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 60, No. 3, 2013.

[2] M. Fotuhi-Firuzabad, F. Aminifar, A. Safdarian, “Compromising Wind and Solar Energies From the Power System Adequacy Viewpoint”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 27, pp. 2368 – 2376, 2012.

[۳] حدیث پوراصغرخمامی، محمدحسین جاویدی دشت بیاض، "مدیریت بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر و بارهای قابل کنترل در ریزشبکه هوشمند"، بیست و نهمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۹۳

[4] A. G. Tsikalakis and N. D. Hatziargyriou, “Operation of Microgrids with Demand Side Bidding and Continuity of Supply for Critical Loads ”, Euro. Trans. Electr. Power, Vol. 21, pp. 1238-1254, 2011.

[5] H. Morais1,P. kadar, “Optimal scheduling of renewable micro-grid in an isolated load area using mixed-integer linear programming”, ELSEVIER , Renewable Energy 35(2010).

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]

[6] M. Eghbal, T. K. Saha, and N. Mahmoudi-Kohan, “Utilizing demand response programs in day ahead generation scheduling for micro-grids with renewable sources”, IEEE, in Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), pp. 1-6, 2011.
[7] E. Nasrolahpour, M. Doostizadeh, H. Ghasemi, “Optimal Management of Micro Grid in Restructured Environment”, IEEE, Second Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generatin, pp. 116-120, 2012.
[8] H. Afshar, Z. Moravej, M. Niasati, “Modeling and Optimization of Microgrid Considering Emissions”, IEEE, Conference on Smart Electric Grids Technology, pp. 225-229, 2013
[9] S. Ramabhotla, Dr. S. Bayne, Dr. M. Giesselmann, “Economic Dispatch Optimization of Microgrid in Islanded Mode”, IEEE, pp. 1-5, 2014.
[10] T. Logenthiran, D. Srinivasan, A. M. Khambadkone, H. N. Aung, “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, 2012.
[11] Q. Jiang, M. Xue, G. Geng, “Energy Management of Microgrid in Grid-Connected and Stand-Alone Modes”, IEEE Transactions on Power System, Vol. 28, No. 3, pp. 3380-3389, 2013.
[۱۲] مهدی امینیان، شهرام جدید، "مدیریت انرژی بهینه در ساختمان های هوشمند با قابلیت داد و ستد انرژی"، مجله انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵.
[۱۳] بهنام نامور بهرغانی، محمد آقا شفیعی، معین ابوالقاسمی، محمد مرادی دالوند، محمد احمدیان، "تعیین اندازه بهینه منابع تولید پراکنده ریزشبکه مستقل از شبکه جهت تامین بارهای الکتریکی و حرارتی با در نظر گرفتن تاثیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و زیست محیطی"، سال ۱۲، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴.
[۱۴] محمد خلیلی، مجتبی خدرزاده، محمد مرادی دالوند، "ارائه مدلی جدید برای قیمت دهی مصرف کننده با در نظر گرفتن نقش آن در مدیریت بار و تاثیر آن بر بهره برداری از ریزشبکه‌ها"، مجله علمی و پژوهشی کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران، ۱۳۹۱
[۱۵] علی سفیدگر دزفولی، علیرضا صفاریان، محسن صنیعی، "مدیریت توان منابع تولید پراکنده و منابع انرژی پاک برای بهره‌برداری بهینه و پایدار ریزشبکه"، دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک، ۱۳۹۲
[۱۶] رضا حق مرام، هادی افشار، "مدیریت انرژی لحظه‌ای در ریزشبکه متشکل از منابع تولید پراکنده و ذخیره ساز انرژی"، کنفرانس ملی بهینه‌سازی مصرف انرژی در علوم و مهندسی، ۱۳۹۳
[۱۷] مصطفی اسماعیلی شاهرخت، احد کاظمی، "مدل‌سازی بهره‌برداری منابع انرژی تجدیدپذیر با بررسی مزایای اقتصادی و زیست محیطی"، نخستین کنفرانس انرژی بادی ایران، ۱۳۹۱
[۱۸] سیده حنانه فلسفی زاده حقیقی، شهرام جدید، "برنامه‌ریزی بارهای پاسخگو به منظور پوشش عدم قطعیت نیروگاه‌های بادی در سیستم قدرت با استفاده از بهینه‌سازی تصادفی"، نخستین کنفرانس انرژی بادی ایران، ۱۳۹۱
[۱۹] روح الله شکروی، محسن پارسا مقدم، "بهره‌برداری از ریزشبکه با در نظر گرفتن عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر و برنامه پاسخگویی بار"، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۹۲
[۲۰] همایون برهمندپور، سیما کمانکش، محمد جعفریان، "ظرفیت سازی شبکه انتقال با وجود توسعه نیروگاه‌های بادی"، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۹۲
[۲۱] تقی حسین‌زاده خنکداری، حمید عبدی، "جایابی بهینه و همزمان منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای انرژی در شبکه توزیع با استفاده از برنامه‌ریزی‌های احتمالی"، اولین کنفرانس اتوماسیون صنعت برق، ۱۳۹۱
[۲۲] اسماعیل جلال آبادی، اشکان رحیمی کیان، "بهره‌برداری بهینه و مدیریت ریسک یک ریزشبکه متصل به شبکه"، مجله انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۳.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.1.3.1]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol15 No.1 Spring2018