# تاثیر بازآرایی و افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی شبکه بر برنامه‌ریزی یک ریزشبکه

**حمید قافی[1*] ، احمد قاسمی [2]**

[1]کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق-قدرت، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
[2]استادیار، گروه مهندسی برق-قدرت، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران

دریافت: بهار ۹۶ پذیرش:تابستان ۹۶

**چکیده**

هدف این مقاله ارائه مدلی جهت بازآرایی و مشارکت واحدهای ریزشبکه به منظور بیشینه‌سازی سود و کاهش تلفات آن و همچنین بررسی ظرفیت ذخیره‌سازی در ریزشبکه مورد مطالعه می باشد. به این منظور ابتدا مدل ریزشبکه و عناصر آن معرفی می‌شود. ریزشبکه مورد مطالعه دارای ۱۰ باس و شامل میکروتوربین، توربین بادی به عنوان منابع تولید انرژی، باتری به عنوان ذخیره‌ساز می باشد. مقدار بار مصرفی و تخمین انرژی تولیدی واحد بادی با توجه به تغییرات سرعت باد به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند. برای مدل های عدم قطعیت تعدادی سناریو با توجه به شبیه‌ساز مونت‌کارلو تولید می‌شوند و بهره‌برداری بهینه ریزشبکه تحت این سناریوها بررسی می‌شود. این ریزشبکه در یکی از باس‌ها به شبکه‌ی بالادست متصل شده است و با درنظرگرفتن سود خود می‌تواند به مبادله با شبکه بالادست بپردازد. تعیین همزمان توپولوژی بهینه و نقطه کار بهینه و عناصر ریزشبکه شامل میزان تولید میکروتوربین ها، شارژ و دشارژ باتری‌ها، و مبادله با شبکه بالادست با استفاده از الگوریتم ازدحام‌ذرات انجام می گیرد. تابع هدف شامل درآمد منهای هزینه است. با وارد کردن عدم‌قطعیت منبع تولید پراکنده بادی و بار در خطوط تلاش می‌شود تاثیر عدم قطعیت در یافتن بهترین توپولوژی ریزشبکه و بهترین نقطه‌کار شبیه‌سازی شود.

* **عهده‌دار مکاتبات:** h.ghafi@yahoo.com

**کلمات کلیدی:** بازآرایی، ریزشبکه، مشارکت واحدها، عدم قطعیت، توربین بادی

## ۱- مقدمه

شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات توان، تعادل‌بار، و خدمات تعمیرات در شرایط بهره‌برداری از بارهای بحرانی بازآرایی می‌شوند [۱]. تأثیر بازآرایی شبکه های توزیع[1]در ریزشبکه[2] در مراجع [۴-۲] بحث شده است. به منظور حل کردن مسئله بهینه‌سازی بازآرایی شبکه های توزیع به منظور حداقل‌کردن تلفات توان، الگوریتم ازدحام ذرات[3] با استفاده از سناریوهای تولید شده توسط شبیه‌ساز مونت‌کارلو[4] در مرجع [۲] ارائه شده است. پخش‌بار اقتصادی [5] و بازآرایی شبکه‌های توزیع با درنظرگرفتن هزینه‌های تولید و ذخیره‌سازی در ریزشبکه، تلفات توان شبکه به صورت تابع هدف[6] ، در مراجع [۴و۳] مطالعه شده است. ژنراتورهای تولید پراکنده[7] با ویژگی تصادفی بودن با توجه به پیش‌بینی داده آب و هوا درنظر گرفته شده است. با این حال توزیع اقتصادی بار و بازآرایی شبکه‌های توزیع در بازه‌های زمانی مشترک درنظر گرفته نشده‌اند.

بازآرایی ریزشبکه در مراجع [۸-۵] تحلیل شده است. یک الگوریتم جدید به منظور حل‌کردن مسئله بازآرایی ریزشبکه مبتنی بر یک نمودار تصمیم‌گیری دودویی جهت حداقل کردن هزینه تلفات توان در مرجع [۵] حل شده است. یک روش برنامه‌ریزی ترکیبی به منظور حل‌کردن مسئله بازآرایی ریزشبکه جهت حداقل کردن تلفات توان و ذخیره‌سازی مجدد خدمات در مرجع [۶] پیشنهاد شده است. با درنظرگرفتن نیازمندی‌های بهره‌برداری، حداکثرساختن بار و اولویت تأمین تقاضا پس از خطا، برخی روش‌هایی که مبتنی بر الگوریتم ژنتیک[8] و نظریه گراف هستند و به منظور بازآرایی در ریزشبکه استفاده شده‌اند، در مرجع [۷] ارائه شده‌اند. با صرفنظر از تلفات توان و ظرفیت خط، یک روش جهت بازیابی هرچه بیشتر بارها با حداقل بهره‌برداری کلیدزنی در مرجع [۸]

[1] Distribution network reconfiguration
[2] Microgrid
[3] Particle swarm optimization
[4] Monte carlo simulation
[5] Economic dispatch
[6] Object function
[7] Distributed generation
[8] Genetic algorithm



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]

ارائه شده است. بااین حال، طبیعت تصادفی منابع انرژی تجدیدپذیر و تقاضای بار در ریزشبکه‌ها در این مقاله صرفنظر شده است.

مشارکت‌واحدهای ریزشبکه و پخش‌بار اقتصادی در مرجع [۱۴-۹] بحث شده است. یک مدل تصادفی برای درنظرگرفتن عدم‌قطعیت انرژی‌باد در مرجع [۹] ارزیابی شده است. سناریوهای مختلفی توسط شبیه‌ساز مونت‌کارلو تولید شده و جهت حل مسئله مشارکت‌واحدها[1] اعمال می‌شود. یک روش احتمالاتی شامل روش تخمین نقطه برای مدیریت عدم‌قطعیت و الگوریتم بهینه‌سازی خود-تطبیقی[2] برای مدیریت بهینه انرژی ریزشبکه در مرجع [۱۰] ارائه شده است. روش جدید پیشنهاد شده، منجر به ایجاد راه حل برای بهینه‌سازی سراسری می‌شود. یک الگوریتم جدید مبتنی بر الگوریتم PSO بهبود یافته تطبیقی به منظور بهینه‌سازی مدیریت چند-هدفه[3] ریزشبکه در مرجع [۱۱] پیشنهاد شده است. سه الگوریتم بهینه‌سازی برای بهره‌برداری ریزشبکه در مرجع [۱۲] توسعه داده شده است. یک بهینه‌سازی چند-هدفه با استفاده از ضرایب وزنی جهت سازماندهی نسبت هزینه‌های تولیدی و محیطی به مسئله اقتصادی و محیطی ریزشبکه، در مرجع [۱۳] اعمال شده است. یک روش احتمالاتی جدید با استفاده از تابع توزیع احتمال متغیرها و مکانیزم چرخ رولت[4] در مرجع [۱۴] پیشنهاد شده است. برخی سناریوها با استفاده از روش احتمالاتی پیشنهاد شده تولید می‌شوند. آنگاه، سناریوهای مشابه به آن حذف می‌شوند. یک الگوریتم بهینهسازی ازدحام زنبور عسل خود-تطبیقی[5] در مرجع [۱۵] پیشنهاد شده است. مدلسازی‌های عدم‌قطعیت[6] مختلف مرور شده و روش برآورد نقطه m+12 برای مدلسازی عدم‌قطعیت تقاضاهای بار، قیمت بازار، توربین‌بادی[7] و سیستم‌های فوتوولتائیک[8] استفاده شده است. تعهدواحد تعهدواحد در یک ریزشبکه شامل چندین شبکه موازی نیروگاه سلول سوختی[9] موازی در مرجع‌های [۱۷-۱۶] ارزیابی شده است.

هدف، بهینه‌سازی اندازه تجهیزات ذخیره‌سازی و مشارکت‌واحدها است و لذا توان خروجی با مراحل ۱۵ دقیقه‌ای در طول روز برنامه‌ریزی شده است. یک الگوریتم دو مرحله‌ای به منظور حل پیچیدگی مسئله بیان شده توسط طبیعت احتمالاتی بار گرمایی/الکتریکی، فوتوولتائیک و توان خروجی توربین‌بادی و قیمت بازار برنامه‌ریزی می‌شود.

برخی از جنبه‌های جدید بازآرایی شبکه‌های توزیع در مراجع [۲۰و۱۸] بیان شده است. مشخصه داده تغییر پذیر با زمان در مراجع [۲۰و۱۸] درنظر گرفته شده است. یک روش جهت تعیین طرح بازآرایی سالیانه با درنظرگرفتن هزینه کلیدزنی و متغیرهای وابسته به زمان مانند مشخصه‌های بار، در مرجع [۱۸] پیشنهاد شده است. بهترین پیکربندی برای هر ساعت در مرجع [۱۹] تعیین شده است که قصد در جهت حداقل کردن تلفات توان و هزینه‌های کلیدزنی دارد. با درنظرگرفتن بارهای متغیر با زمان، یک روش احتمالاتی برای بازآرایی بهینه جهت کاهش کل هزینه اجرا، شامل تلفات توان و هزینه کلیدزنی در مرجع [۲۰] ارائه شده است. روش پیشنهاد شده می‌تواند یک تعادل بهینه بین تعداد کلیدزنی و تلفات توان ایجاد کند.

بازآرایی با انواع مختلفی از داده نامعلوم در مراجع [۲۲و۲۱] ارائه شده است. انواع مختلف عدم‌قطعیت در مرجع [۲۲] به منظور ارزیابی توزیع تصادفی بازآرایی فیدر در حضور نیروگاهی های سلولی سوختی، مدلسازی شده است. تحلیل بازه‌ای در مرجع [۲۲] جهت مقابله با عدم دقت و عدم‌قطعیت در وروردی قابل‌اطمینان، پارامترهای الکتریکی و داده بار جهت بیان یک روش بازآرایی جهت‌دار قابل اطمینان جهت بهبود عملکرد شبکه‌توزیع استفاده شده است. یک روش جهت تبدیل یک شبکه توزیع به یک ریزشبکه خودکار در مرجع [۲۳] ارائه شده است. این روش تعداد، سایت، و اندازه DG ها و مشخصه‌های ساختاری در شبکه توزیع را تعیین می‌کند. تحلیل‌های چند-سناریویی با مفهوم نظریه تصمیم گیری به [۲۴] جهت تعیین پیکربندی توزیع در روز اعمال شده است. پیکربندی‌های تعیین شده سپس به منظور فرموله‌کردن یک پاسخ‌تقاضا به دست‌آمده در کاهش‌تقاضا جهت کاهش بیشتر در تلفات شبکه‌توزیع استفاده شده است. بازآرایی شبکه‌های توزیع‌بهینه جهت کاهش کل هزینه اجرا، شامل تلفات‌توان و هزینه کلیدزنی در مرجع [۲۰] ارائه شده است. روش پیشنهاد شده می‌تواند یک تعادل بهینه بین تعداد کلیدزنی و تلفات توان ایجاد کند. همچنین مسئله بازآرایی و مشارکت‌واحدها در مرجع [۲۵] با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت توربین‌بادی و بارمصرفی بررسی شده است.

## ۲- مدلسازی ریاضی

در این مقاله دو حالت مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است که در حالت اول، توان خروجی سه میکروتوربین( $P_{mt}$)، شارژ و دشارژ باتری( $P_{bat}$)، توان مبادلاتی با شبکه‌بالادست( $P_{grid}$) و تغییر ساختار( n.topology) به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری برای هرساعت درنظر گرفته شده‌اند. بنابراین ۶ متغیر تصمیم‌گیری برای هر ساعت و ۱۴۴ متغیر برای روز بعد موجود است که باید مورد محاسبه قرار گیرند. ولی در حالت دوم با افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی ریزشبکه و اضافه کردن یک باتری جدید، سیستم بررسی شده و علاوه بر متغییرهای تصمیم‌گیری حالت اول یک باتری نیز به متغییرها اضافه خواهد شد، بنابراین ۷ متغیرتصمیم‌گیری برای هر ساعت و ۱۶۸ متغیر برای روز بعد موجود است که باید مورد محاسبه قرار گیرند.

توان‌های بادی جزء توان‌های تجدیدپذیر و پاک محسوب می‌شوند زیرا در ازای تولید توان کمترین آلودگی زیست محیطی را بوجود می‌آورند. استفاده از این مولدها در ریزشبکه ها و شبکه‌های سراسری بصورت روزافزون در حال گسترش است. در این تحقیق یک توربین‌بادی بوسیله یک ژنراتور دوسو تغذیه به باس سوم ریزشبکه متصل است.

[1] Unit commitment
[2] Self-adaptive
[3] Multi-objective optimization
[4] Roulette wheel
[5] Bee swarm optimization algorithm
[6] Uncertainly model
[7] Wind turbine
[8] photovoltaic
[9] Proton exchange membrane



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]

سرعت باد بوسیله اطلاعات ۱۲ سال گذشته برای هر ساعت به صورت ورودی درنظر گرفته شده است. پارامترهای ویبول به صورت زیر درنظر گرفته می‌شوند:

$$r=\left(\frac{\sigma}{\mathrm{w}_{\mathrm{mean}}}\right)^{-1.086} \qquad (۱)$$

$$c=\frac{w_{mean}}{Gamma(1+1/r)} \qquad (۲)$$

r و c پارامترهای ویبول بوده و $\sigma$ و $\mathrm{W}_{\mathrm{mean}}$ انحراف‌معیارهای استاندارد و میانگین مقادیر سرعت باد در هر ساعت می‌باشند. تابع‌چگالی ویبول برای هر ساعت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f\ (w)=\frac{r}{c}(\frac{w}{c})^{r-1}\exp\left[-(\frac{w}{c})^{r}\right] \qquad (۳)$$

یک عدد به صورت تصادفی بین ۰ و ۱ برای هر ساعت تولید می‌شود. این عدد در گراف تابع توزیع‌حجمی ویبول و سرعت باد مربوط به صورت سرعت باد درنظر گرفته شده است. سرعت‌های باد ۲۴ ساعته توسط این روش به صورت مجزا تولید می‌شوند، و توان خروجی توربین‌بادی برای هر سناریو مبتنی بر سرعت باد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$p_{wind}(w)=\begin{cases}0 & 0\le w\le w_1\\ \left(\alpha_1+\alpha_2 w+\alpha_3 w^2\right)p_{rated} & w_1\le w\le w_r\\ p_{rated} & w_r\le w\le w_{cut\text{-}out}\\ 0 & w\ge w_{cut\text{-}out}\end{cases} \qquad (۴)$$

که در آن، $w$ سرعت باد، $w_r$ سرعت نامی باد و $w_{cut\text{-}out}$ سرعت قطع باد می باشند. عدم‌قطعیت توسط شبیه‌ساز مونت‌کارلو مدل می‌شود. برخی از روش‌ها برای ورودی‌های نامعلوم مانند سرعت باد یا تقاضا بار تولید می‌شوند. سیستم تحت این سناریوها به صورت ورودی های قطعی تحلیل می‌شود. در نتیجه، حالت های مختلفی وجود دارد که توسط استفاده از سناریوهای مختلف مطالعه می‌شوند. مقدار مورد انتظار (f) برای تجمع سناریوها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$f=\sum_{i=1}^{Ns}p_s.f_s \qquad (۵)$$

$p_s$ احتمال وقوع هر سناریو بوده و $f_s$ مقدار متغیرها در هر سناریو می‌باشد. که در رابطه (۶) فرموله شده است، ضریب واریانس نامیده می‌شود.

$$cv_x=\frac{\sigma}{\mu_x.N_s^{1/2}} \qquad (۶)$$

عدم‌قطعیت بار در رابطه (۷) با یک تابع توزیع نرمال مدل می‌شود[۴]

$$diff\ \left(p_k(t)\right)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-(p_k(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \qquad (۷)$$

**- تابع هدف**

سود ریزشبکه در این تحقیق به عنوان تابع هدف درنظر گرفته شده است و این تابع هدف طبق رابطه (۸) بیشینه شده که در آن اختلاف بین هزینه و درآمد در ۲۴ ساعت محاسبه شده است :

$$Max:OF=\sum_{1}^{24}(revenue(t)-\cos t(t)) \qquad (۸)$$

در رابطه (۸) درآمد شامل مجموع مبلغ انرژی فروخته شده به بارهای ریزشبکه(Rload) و مبلغ انرژی فروخته شده به شبکه سراسری می‌باشد(Rnetwork)

$$revenue=R_{load}+R_{network} \qquad (۹)$$

**-تابع هزینه**

هزینه کل شامل هزینه‌های میکروتوربین‌ها (Cmt)، توربین‌بادی (Cwind)، باتری‌ها (Cbat) و هزینه انرژی خریده شده از شبکه سراسری (Cnetwork)، هزینه‌ی توان تلف شده (Closs) و هزینه کلیدزنی (Cswitching) می‌باشد. هزینه کل طبق رابطه (۱۰) فرموله شده است:

$$\cos t=\sum_{j=1}^{N_{mt}}C_{mt}(j)+C_{wind}+\sum_{j=1}^{N_{bat}}C_{bat}(j)+C_{network}+C_{loss}+C_{switching} \qquad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰) $C_{fuel\ r}$ هزینه سوخت میکروتوربین، $C_{o\&m}$ هزینه نگهداری و بهره‌برداری میکروتوربین، $C_{st,mt}$ هزینه آغاز به کار میکروتوربین، $C_{capital,mt}$ سرمایه اولیه میکروتوربین و $C_{em,mt}$ هزینه انتشار میکروتوربین می‌باشند.

هزینه توربین‌بادی به صورت رابطه (۱۰) فرموله می‌شود که در آن $C_{\text{capital-wind}}$ سرمایه اولیه توربین‌بادی و $\mathrm{Com}_{\mathrm{wind}}$ هزینه بهره‌برداری و نگه‌داری توربین‌بادی می‌باشند:

$$C_{wind}(t)=C_{capital\text{-}wind}+Com_{wind}/8760 \qquad (۱۱)$$

ریزشبکه‌ها نیاز به ذخیره‌کننده‌هایی برای کنترل و مدیریت تولید خود دارند. باتری یکی از مهمترین اجزای ریزشبکه‌ها محسوب می‌شود. حضور



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]

باتری در یک ریزشبکه باعث مدیریت هرچه بهتر تغییرات تولید خواهد شد.

هزینه باتری طبق رابطه (۱۱) فرموله شده است:

$$C_{bat} = C_{wc,bat} \times |P_{bat}| \times t + C_{o\&m,bat} / 8760 \qquad (۱۱)$$

که در این رابطه $C_{wc,bat}$ هزینه بسته‌بندی باتری، $P_{bat}$ توان مبادله شده باتری(شارژ و دشارژ)، $t$ زمان بر حسب ساعت،بین ۱ تا ۲۴ و $C_{o\&m,bat}$ هزینه بهره‌برداری و نگه‌داری باتری می‌باشند.

این هزینه براساس توان خریداری شده از شبکه سراسری محاسبه می‌شود و اگر توان خریداری شده نداشته باشیم این هزینه صفر است.

هزینه شبکه در رابطه (۱۲) فرموله شده است که در آن $\rho_{buy\text{-}network}$ نرخ انرژی خریداری شده از شبکه در ساعت t، $p_{buy\text{-}network}$ توان خریداری شده از شبکه و $t$ زمان برحسب ساعت، بین ۱ تا ۲۴ می باشند:

$$C_{network} = \rho_{buy\text{-}network} . p_{buy\text{-}network} . t \qquad (۱۲)$$

بعد از تحلیل پخش بار به روش پسرو-پیشرو، هزینه تلفات با توجه به تلفات تمام خطوط در هرساعت در رابطه (۱۳-الف) فرموله شده است که در آن $N_{line}$ شماره خط، $\rho_{loss}$ قیمت انرژی در ساعت t، $r_k$ قسمت حقیقی امپدانس شاخه k اُم، $I_k$ جریان شاخه k اُم و $t$ زمان برحسب ساعت، بین ۱ تا ۲۴ می‌باشد:

$$C_{loss}(t) = \sum_{k=1}^{N_{line}} (3.\rho_{loss}(t).r_k .I_k^2(t,k).t) \qquad (۱۳\text{-الف})$$

هزینه کلیدزنی[1] در رابطه (۱۳-ب) براساس نتایج بازآرایی که شامل هزینه وصل کردن و تغییر ساختار بوسیله باز و بسته کردن کلیدها می‌باشد فرموله شده است که در آن $\rho_{switching}$ نرخ هر کلیدزنی، $N_{switching}$ تعداد کلیدزنی و $C_{capital\text{-}switching}$ سرمایه اولیه کلیدزنی می‌باشد:

$$C_{switching} = \rho_{switching} . N_{switching} + C_{capital\text{-}switching} / 8760 \qquad (۱۳\text{-ب})$$

**- قیود سیستم**

ریزشبکه بوسیله یک باس به شبکه بالادستی متصل می‌باشد و با توجه به سود تصمیم می‌گیرد که چه موقع با شبکه بالادست تبادل توان انجام دهد. در ریزشبکه پایداری ولتاژ، تعادل توان، و دیگر محدودیت‌ها باید در محدوده مجازی باشند. ممکن است تقاضای بار بیشتر از تولیدات ریزشبکه در بعضی ساعات (بخصوص ساعات اوج بار) باشد به همین دلیل ریزشبکه باید توان را با شبکه بالادستی مبادله کرده و در ساعات ذکر شده توان خریداری شده و در ساعاتی با درنظرگرفتن سود ریزشبکه توان فروخته شود. قیود سیستم به صورت زیر است:

قید ولتاژ شین ها بیان می‌کند که ولتاژ هر شین باید در یک محدوده قابل قبول باشد، در این رابطه $V_K$ ولتاژ شین k اُم، $V^{\min}$ حداقل ولتاژ مجاز هر شین و $V^{\max}$ حداکثر ولتاژ مجاز هر شین می‌باشد:

$$V^{\min} \langle V_K \langle V^{\max} \qquad (۱۴)$$

طبق قید جریان خطوط، جریان هر خط باید کمتر از حداکثر جریان مجاز آن خط باشد که در این رابطه $I_K$ جریان خط K اُم و $I_K^{\max}$ حداکثر جریان مجاز خط k اُم می‌باشد:

$$I_K \langle I_K^{\max} \qquad (۱۵)$$

طبق قید توازن توان تمامی بارها باید تامین شده و محدودیت‌های توازن توان باید رعایت شوند:

$$\sum_{k=1}^{N_{mt}} P_{mt}(t) + P_{wind} \pm \sum_{k=1}^{N_{bat}} P_{bat}(t) \pm P_{grid}(t) - \sum_{i=1}^{N_{load}} P_{load,i}(t) - P_{loss}(t) = 0 \qquad (۱۶)$$

طبق قید تبادل توان با شبکه بالادست، ریزشبکه باید کمتر ازحداکثر مقدار مجاز با شبکه تبادل توان کند:

$$|P_{grid}| \langle P_{grid}^{\max} \qquad (۱۷)$$

رابطه(۱۸) بیان کننده این است که توان تولیدی یک میکروتوربین باید بین محدوده تولید مجاز آن واحد باشد:

$$P^{\min} \le P_{mt} \le P^{\max} \qquad (۱۸)$$

روابط (۱۹) و (۲۰) بیان کننده محدودیت‌های روشن و خاموش بودن میکروتوربین‌ها می‌باشند:

$$(T_{j-1}^{on} - MUT)(u_j^{t-1} - u_j^t) \ge 0 \qquad (۱۹)$$

$$(T_{j-1}^{off} - MDT)(u_j^t - u_j^{t-1}) \ge 0 \qquad (۲۰)$$

که در این روابط $MUT$ حداقل زمان روشن بودن میکروتوربین، $MDT$ حداقل زمان خاموش بودن میکروتوربین، $T_{j-1}^{off}$ زمان خاموش بودن میکروتوربین، $T_{j-1}^{on}$ زمان روشن بودن میکروتوربین و

[1] switching



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]

$u_j^t$ وضعیت روشن یا خاموش بودن میکروتوربین j اُم در بازه زمانی t می‌باشد.

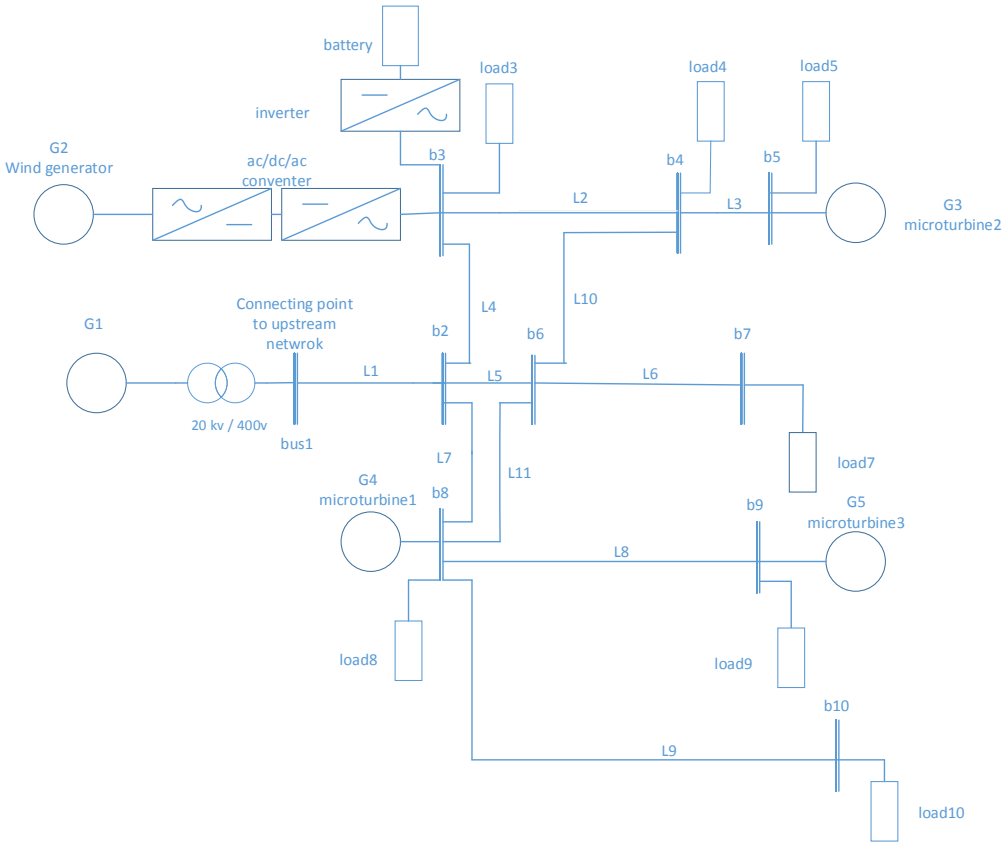
رابطه (۲۱) بیان کننده این موضوع است که توان شارژ و دشارژ باتری باید بین محدوده مجاز تعریف شده باتری باشد:

$$P_{\text{bat-min}} \le P_{\text{bat}} \le P_{\text{bat-max}} \qquad (۲۱)$$

## ۳-روش حل

در این حالت قصد براین است که سود ریزشبکه در مشارکت‌واحدها به تنهایی و بازآرایی و مشارکت‌واحدها به صورت همزمان باهم مقایسه شود. در الگوریتم پیشنهادی که فلوچارت آن در شکل(۳-۱) فصل سوم نمایش داده شد، ابتدا توان توربین‌بادی و بار در هرساعت به صورت احتمالاتی محاسبه می‌شوند. بنابراین سناریوی کنونی شامل یک ماتریس $1\times24$ برای توان تولیدی توربین‌بادی و یک ماتریس $10\times24$ برای بار مصرفی برای هر ساعت می‌باشد. بارهای مصرفی هر ۱۰ باس در هر ساعت برای مصرف روز بعد محاسبه می‌شوند. مقدار محاسبه شده توان تولیدی توربین‌بادی و بار روزانه در جدول‌های (۴-۱) و(۴-۲) نمایش داده شده است. در قدم بعدی الگوریتم مقدار متغیرهای تصمیم‌گیری را با توجه به قیود آن‌ها که در فصل سه شرح داده شد را تولید می‌کند. بعد از تحلیل پخش‌بار پسرو-پیشرو توان تلف‌شده خطوط محاسبه می‌شود و اگر از هرکدام از قیود سیستم تخطی شود، تابع هدف جریمه خواهد شد.

ضمنا مقدار Sbase وVbase به ترتیب ۱۰۰KVA و ۴۰۰V درنظر گرفته شده‌اند. در جدول (۴-۳) ساختارهای ریزشبکه مشاهده می‌شوند که به هر ساختار یک کد اختصاص داده شده است. ساختارهای ریزشبکه شامل ۱۱ حالت می‌باشند و هر ساختار ریزشبکه نمایش دهنده این موضوع است که کدام خطوط مورد بهره‌برداری قرار گیرند و کدام خطوط قطع شوند.. بعد از پایان تکرارهای الگوریتم ازدحام ذرات مقادیر بهینه اختصاص یافته به واحدها، مقدار شارژ و دشارژ باتری، توان مبادلاتی با شبکه بالادست و بهترین ساختار ریزشبکه در سناریوی کنونی محاسبه می‌شوند. بعد از تولید سناریوهای کافی، مقدار سود ریزشبکه، مقدار بهینه تولیدات میکروتوربین‌ها و مقدار شارژ و دشارژ باتری و ساختار ریزشبکه برای هرساعت بوسیله تجمیع سناریوها محاسبه می‌گردد. در نتیجه مقدار میانگین متغییرهای پیوسته محاسبه شده و بیشترین ساختار تکرار شده سناریوها برای هر ساعت مشخص شده و برای روز بعد ریزشبکه پیشنهاد خواهد شد. همچنین مقدار میانگین سود ریزشبکه برای سناریوها محاسبه می‌شود. ریزشبکه مورد مطالعه شامل سه میکروتوربین، توربین‌بادی و در حالت اول یک باتری و حالت دوم دو باتری می‌باشد، این ریزشبکه در باس یکم به شبکه بالادست متصل بوده که در شکل(۱) حالت اول و در شکل(۲) حالت دوم این ریزشبکه مشاهده می‌گردد.

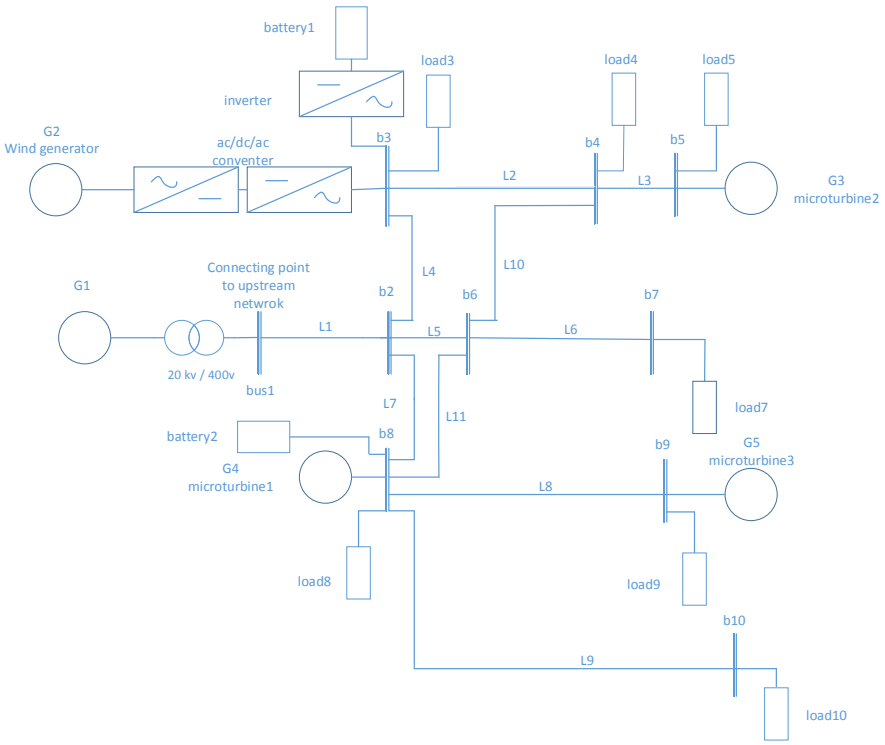



**شکل ۱: حالت اول ریزشبکه مورد مطالعه**



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]




**شکل ۲: حالت دوم ریزشبکه مورد مطالعه**

**جدول (۱): مقادیرمیانگین تولید توربین‌بادی**

| ساعت | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| توان بادی(kw) | ۳۰.۱۸ | ۳۹.۷۸ | ۴۰.۱۲ | ۲۷.۱۳ | ۳۷.۷۵ | ۲۵.۸۷ | ۲۶.۲۹ | ۱۹.۱۹ |
| ساعت | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ |
| توان بادی(kw) | ۳۹.۲۷ | ۷۰.۷۲ | ۶۷.۵۷ | ۵۷.۰۸ | ۵۹.۵۷ | ۵۹.۰۳ | ۸۷.۲۳ | ۱۰۰ |
| ساعت | ۱۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۱ | ۲۲ | ۲۳ | ۲۴ |
| توان بادی(kw) | ۱۰۰ | ۸۹.۳۲ | ۵۶.۹۴ | ۴۸.۴۶ | ۴۲.۷۴ | ۷۴.۵۹ | ۴۶.۸۷ | ۳۶.۱۸ |

جدول (۲): مقادیرمیانگین بار مصرفی

| ساعت | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بار(kw) | ۱۱۵.۱۲ | ۱۰۴.۰۵ | ۹۳.۶۱ | ۸۶.۷۷ | ۶۷.۹۵ | ۶۶.۳۲ | ۱۰۳.۰۱ | ۱۳۰.۷۸ |
| ساعت | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ |
| بار(kw) | ۱۸۳.۲۱ | ۱۸۰.۶۹ | ۱۷۶.۹۱ | ۱۹۸.۱۱ | ۲۰۱.۴۴ | ۱۸۶.۹۱ | ۱۸۳.۰۸ | ۱۷۶.۳۳ |
| ساعت | ۱۷ | ۱۸ | ۱۹ | ۲۰ | ۲۱ | ۲۲ | ۲۳ | ۲۴ |
| بار(kw) | ۱۷۶.۱۴ | ۲۳۴.۳۹ | ۲۹۷.۹۵ | ۳۲۹.۱۵ | ۳۳۶.۳۷ | ۳۲۴.۴۳ | ۲۵۴.۴۱ | ۲۲۷.۷۸ |

جدول (۳): ساختار شبکه

| کد | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | خط ۴ | خط ۴ | خط ۴ | خط ۵ | خط ۵ | خط ۲ | خط ۲ | خط ۲ | خط ۵ | خط ۷ | خط ۱۰ |
| | خط ۵ | خط ۷ | خط ۱۱ | خط ۷ | خط ۱۱ | خط ۵ | خط ۷ | خط ۱۱ | خط ۱۰ | خط ۱۰ | خط ۱۱ |



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]

## ۴-نتایج

### حالت ۱): تحلیل و بهینه‌سازی سود ریزشبکه مورد مطالعه همراه با مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان در حضور یک باتری

بعد از اجرای الگوریتم ازدحام ذرات و تجمیع سناریوها نتایج بدست آمده مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان با توجه به مقادیر میانگین توربین‌بادی و بار مصرفی شامل مقادیر میانگین تولیدات میکروتوربین‌ها، شارژ و دشارژ باتری، میزان تبادل توان با شبکه بالادست و ساختار بهینه برای هر ساعت می‌باشند که در جدول (۴) قابل مشاهده می‌باشند.

طبق بررسی‌های به عمل آمده از نتایج جدول (۴) مشاهده می‌شود که میکروتوربین‌ها در ساعات اولیه تولیدات کمتری از توان نامی خود دارند و مشاهده می‌شود که باتری به دلیل پایین بودن قیمت انرژی در این ساعات شروع به شارژ شدن کرده است. طبق شکل(۳) مشاهده می‌شود که در ساعات ۱۵ تا ۲۲ به دلیل بالا بودن قیمت انرژی باتری شروع به دشارژ شدن می‌کند که در شکل (۴) وضعیت شارژ و دشارژ باتری مشخص شده است. از ساعات ۱۸تا۲۱ میکروتوربین‌ها به دلیل بالا بودن مصرف در این ساعات با توانی نزدیک به توان نامی خود مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. طبق شکل(۴-۵) مشاهده می‌شود که در اکثر ساعات توان به شبکه بالادست فروخته می‌شود اما در ساعات ۱۹تا۲۲ به دلیل بالا بودن بار مصرفی ریزشبکه از شبکه بالادست توان خریداری کرده است. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین ساختارهای استفاده شده در ریزشبکه ساختارهای ۱ و ۱۱ می‌باشند. مقدار سود ریزشبکه در زمان مشارکت‌واحدها به تنهایی با زمانی که مشارکت‌واحدها و بازآرایی به طور همزمان انجام شده است مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که در جدول (۵) مشاهده می‌شود سود ریزشبکه در حالت همزمان مشارکت‌واحدها و بازآرایی ۴۰۲۹ سنت بیشتر می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود نتایج پایان نامه نسبت به حالت مشابه در مرجع [۲۵] بهبود چشمگیری یافته است. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین ساختارهای استفاده شده در ریزشبکه ساختارهای ۱ و ۱۱ می‌باشند.

مقدار سود ریزشبکه در زمان مشارکت‌واحدها به تنهایی با زمانی که مشارکت‌واحدها و بازآرایی به طور همزمان انجام شده است مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که در جدول (۵) مشاهده می‌شود سود ریزشبکه در حالت همزمان مشارکت‌واحدها و بازآرایی ۴۰۲۹ سنت بیشتر می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود نتایج پایان نامه نسبت به حالت مشابه در مرجع [۲۵] بهبود چشمگیری یافته است.

**جدول (۴): نتایج بهینه شبیه‌سازی مشارکت‌واحدها و بازآرایی برای مقادیر میانگین توربین‌بادی و بار در حالت اول**

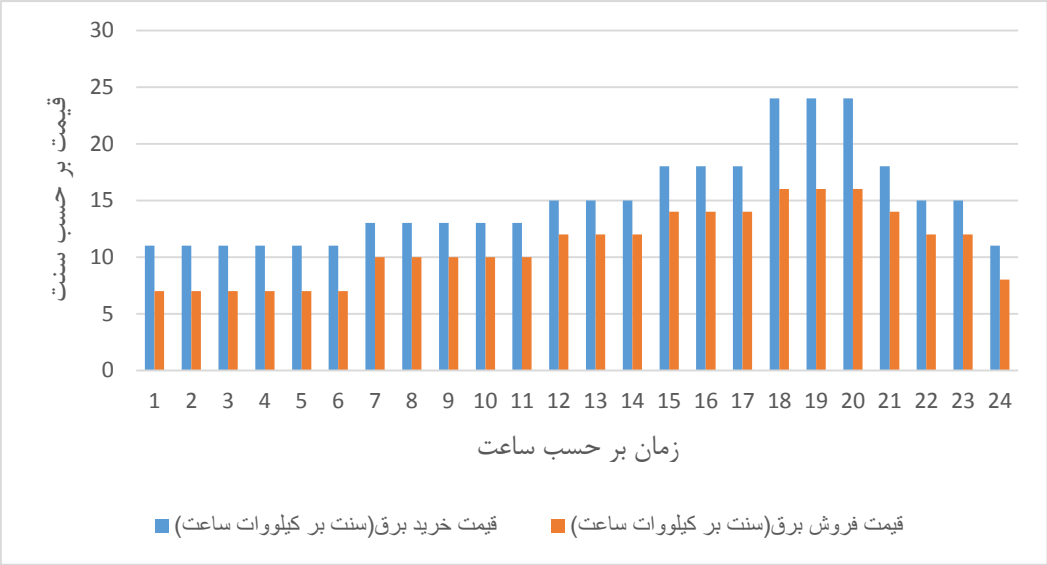
| ساختار | Pgrid (MW) | Pbat (MW) | PMT3 (MW) | PMT2 (MW) | PMT1 (MW) | ساعت |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | -۵۴.۱۲ | -۸.۹۷ | ۶۸.۶۵ | ۴۱.۴۴ | ۳۸.۱۱ | ۱ |
| ۱ | -۵۰.۷۷ | -۹.۰۱ | ۵۷.۷۱ | ۳۴.۷۷ | ۳۵.۲۱ | ۲ |
| ۱۱ | -۴۷.۸۹ | -۴.۲۱ | ۴۹.۱۳ | ۲۹.۶۰ | ۲۷.۶۴ | ۳ |
| ۱۱ | -۵۳.۹۶ | -۲.۷۷ | ۵۹.۰۱ | ۲۹.۲۳ | ۲۷.۰۹ | ۴ |
| ۱۱ | -۵۱.۰۲ | -۴.۸۳ | ۴۴.۹۱ | ۲۲.۰۹ | ۲۲.۸۷ | ۵ |
| ۱۱ | -۴۶.۶۴ | -۱.۸۱ | ۳۸.۴۱ | ۲۷.۷۷ | ۲۳.۰۹ | ۶ |
| ۱۱ | -۶۵.۳۷ | -۰.۶۲ | ۶۸.۶۰ | ۳۹.۵۲ | ۳۷.۹۶ | ۷ |
| ۱ | -۶۳.۷۹ | -۴.۰۳ | ۸۰.۱۱ | ۴۹.۰۷ | ۵۰.۱۲ | ۸ |
| ۱۱ | -۳۹.۱۱ | -۳.۹۱ | ۸۳.۴۹ | ۵۳.۱۲ | ۴۸.۳۵ | ۹ |
| ۱۱ | -۵۶.۴۴ | -۲.۵۹ | ۸۱.۰۱ | ۴۳.۹۱ | ۴۵.۰۷ | ۱۰ |
| ۱۱ | -۵۸.۸۷ | -۳.۹۱ | ۸۷.۳۱ | ۳۹.۲۳ | ۴۸.۰۸ | ۱۱ |
| ۱۱ | -۴۵.۷۷ | -۲.۹۶ | ۹۵.۰۶ | ۵۱.۹۸ | ۴۵.۱۳ | ۱۲ |
| ۱۱ | -۳۹.۳۳ | -۴.۴۱ | ۹۳.۷۱ | ۵۱.۲۶ | ۴۳.۶۶ | ۱۳ |
| ۱۱ | -۴۷.۹۹ | -۳.۴۱ | ۸۵.۷۷ | ۴۶.۷۶ | ۴۷.۹۰ | ۱۴ |
| ۱ | -۷۹.۸۳ | ۵.۲۱ | ۸۷.۱۹ | ۳۷.۱۹ | ۴۹.۰۳ | ۱۵ |
| ۱۱ | -۹۷.۱۵ | ۴.۰۶ | ۷۵.۵۱ | ۴۴.۸۴ | ۴۹.۱۱ | ۱۶ |
| ۱۱ | -۱۰۹.۶۷ | ۳.۹۷ | ۸۰.۰۵ | ۴۵.۵۱ | ۵۶.۶۶ | ۱۷ |
| ۱۱ | -۷۵.۸۸ | ۸.۰۶ | ۹۵.۲۱ | ۴۸.۶۳ | ۵۸.۶۳ | ۱۸ |
| ۱۱ | ۶.۹۶ | ۱۱.۱۷ | ۱۱۶.۱۲ | ۵۳.۱۲ | ۵۶.۰۱ | ۱۹ |
| ۱ | ۱۹.۷۲ | ۲۰.۴۹ | ۱۱۹.۹۱ | ۵۹.۸۸ | ۵۹.۹۴ | ۲۰ |
| ۱۱ | ۳۴.۴۱ | ۱۹.۹۱ | ۱۱۹.۷۷ | ۵۹.۹۵ | ۵۹.۹۸ | ۲۱ |



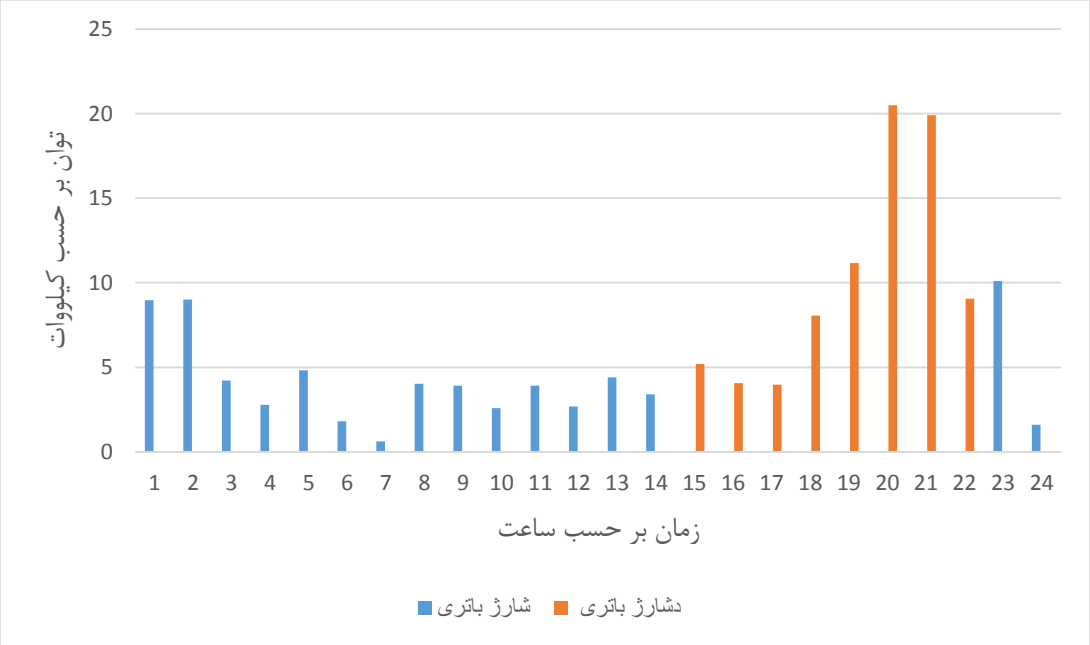
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۱ | ۱۶.۴۳ | ۹.۰۶ | ۱۱۲.۵۴ | ۵۷.۹۱ | ۵۶.۱۴ | ۲۲ |
| ۱۱ | -۱.۷۴ | -۱۰.۱۱ | ۱۱۲.۱۲ | ۵۵.۰۳ | ۵۴.۹۱ | ۲۳ |
| ۱۱ | -۱۱.۸۶ | -۱.۶ | ۱۰۵.۴۱ | ۴۸.۷۷ | ۵۱.۰۱ | ۲۴ |



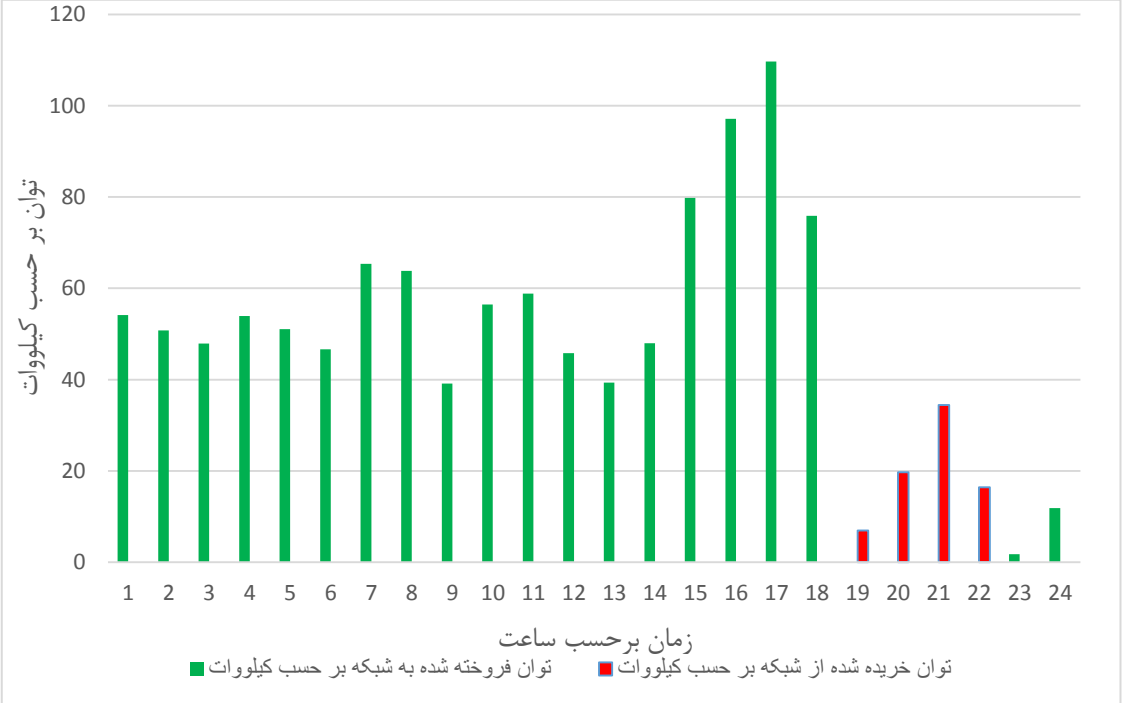

**شکل (۳): قیمت خرید و فروش برق با شبکه بالادست [25]**




**شکل (۴): مقدار شارژ و دشارژ باتری در حالت اول**

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]




**شکل (۵): توان مبادله شده با شبکه بالادست در حالت اول**

**جدول(۵): مقایسه سود ریزشبکه در حالت مشارکت‌واحدها به تنهایی و مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان در حالت اول**

| وضعیت بهره‌برداری در حالت اول | میانگین سود ریزشبکه(برحسب سنت) |
|---|---|
| مشارکت‌واحدها | ۵۴۲۱۵ |
| مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان | ۵۸۲۴۴ |
| مشارکت‌واحدها در مرجع [۲۵] | ۴۹۸۹۱ |
| مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان در مرجع [۲۵] | ۵۳۰۶۸ |

**حالت ۲): تحلیل و بهینه سازی سود ریزشبکه مورد مطالعه همراه با مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان در حضور دو باتری**

در این قسمت با افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی ریزشبکه مورد مطالعه، سود آن را نسبت به حالت اول مقایسه کرده و بررسی می‌شود که این افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی چه تاثیراتی روی سود ریزشبکه و تولیدات میکروتوربین‌ها و تبادل توان با شبکه بالادست دارد. ریزشبکه نمونه در این حالت علاوه بر عناصر موجود در حالت قبل، یک باتری اضافه در باس ۸ خود دارا می‌باشد که ساختار این ریزشبکه در شکل (۲) نمایش داده شده است. مقادیر عدم‌قطعیت شامل مقدار میانگین تولید توربین‌بادی برای هرساعت طبق جدول(۱) و مقدار بارمصرفی در هر ساعت در جدول (۲) محاسبه و نمایش داده شدند. بعد از تحلیل پخش‌بار در این حالت و محاسبه تلفات، بعد از تولید سناریوهای کافی، مقدار سود ریزشبکه، مقدار بهینه تولیدات میکروتوربین‌ها ومقدار شارژ و دشارژ باتری‌ها و ساختار ریزشبکه برای هر ساعت بوسیله تجمیع سناریوها طبق توضیحات ذکر شده در حالت یک محاسبه می‌گردد. مقادیر میانگین تولیدات میکروتوربین‌ها، شارژ و دشارژ باتری‌ها، میزان تبادل توان با شبکه بالادست و ساختار بهینه برای هر ساعت می‌باشند که در جدول (۶) قابل مشاهده می‌باشند، همچنین در شکل های (۶) و (۷) توان مبادلاتی با شبکه بالادست و مقدار شارژ و دشارژ دو باتری مشخص شده‌اند. با بررسی جدول (۷) مشابه حالت اول، در حالت دوم نیز سود ریزشبکه در بازآرایی و مشارکت‌واحدها به طور همزمان بیشتر از سود ریزشبکه در مشارکت‌واحدها به تنهایی می‌باشد. و طبق این جدول سود در بازآرایی و مشارکت‌واحدها به طور همزمان ۴۴۲۰ سنت بیشتر از حالت مشارکت‌واحدها به تنهایی می‌باشد.

حالت اول و دوم نیز در جدول(۸) و شکل(۸) مقایسه شده اند. براساس نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که باتری جدید همانند باتری قبل در ساعات اول شروع با شارژ کرده است و همچنین عمده‌ی توان ذخیره شده در باتری دوم از میکروتوربین یک تغذیه می‌شود و همین امر باعث افزایش تولید این میکروتوربین نسبت به حالت قبل شده است. بین ساعات ۱۵ تا ۲۲ به دلیل افزایش قیمت انرژی هر دو باتری شروع به



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]

دشارژ شدن می‌کنند و این امر باعث فروش بیشتر انرژی به شبکه نسبت به حالت اول می‌شود. در ساعات اوج بار (۱۹ تا ۲۲) تاثیر باتری دوم به وضوح دیده می‌شود و حضور این باتری باعث کاهش مقدار توان خریداری شده از شبکه بالادست در این ساعات شده است که این امر باعث افزایش سود چشمگیری در ریزشبکه خواهد شد. در نهایت سود ریزشبکه در حضور باتری دوم در محاسبه شده و در جدول(۷) قابل مشاهده می‌باشد.

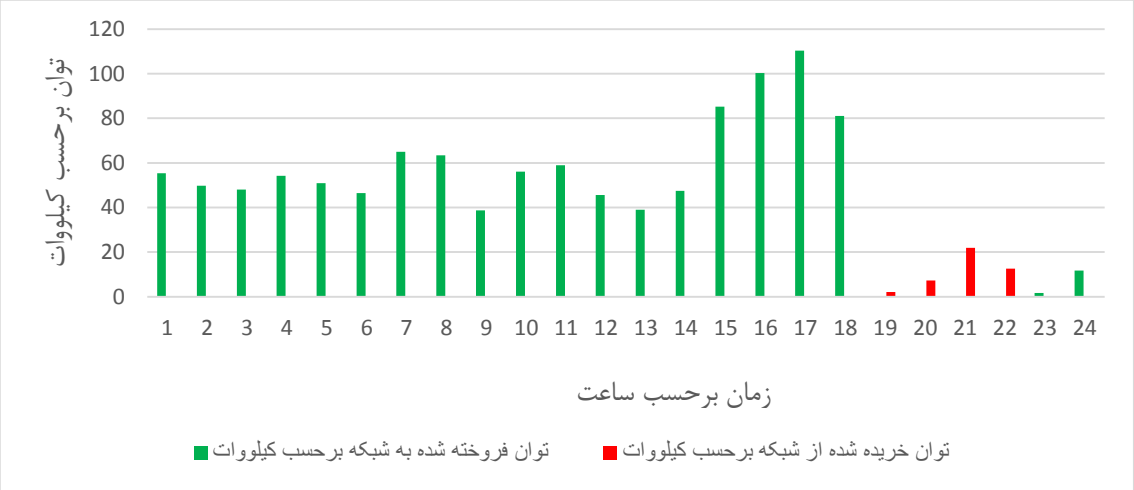
طبق این بررسی‌ها مشاهده میشود سود ریزشبکه در زمان مشارکت‌واحدها به تنهایی، در حالت دوم ۸۴۹ سنت بیشتر از حالت اول است و در زمان مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان سود ریزشبکه در حالت دوم ۱۲۴۰ سنت بیشتر از حالت اول است. با بررسی سود ریزشبکه در این حالات مشخص می‌شود که اضافه کردن ظرفیت ذخیره‌سازی در ریزشبکه نمونه باعث افزایش سود چشمگیری در ریزشبکه شده است.

**جدول (۶): نتایج بهینه شبیه‌سازی مشارکت‌واحدها و بازآرایی برای مقادیر میانگین توربین‌بادی و بار در حالت دوم**

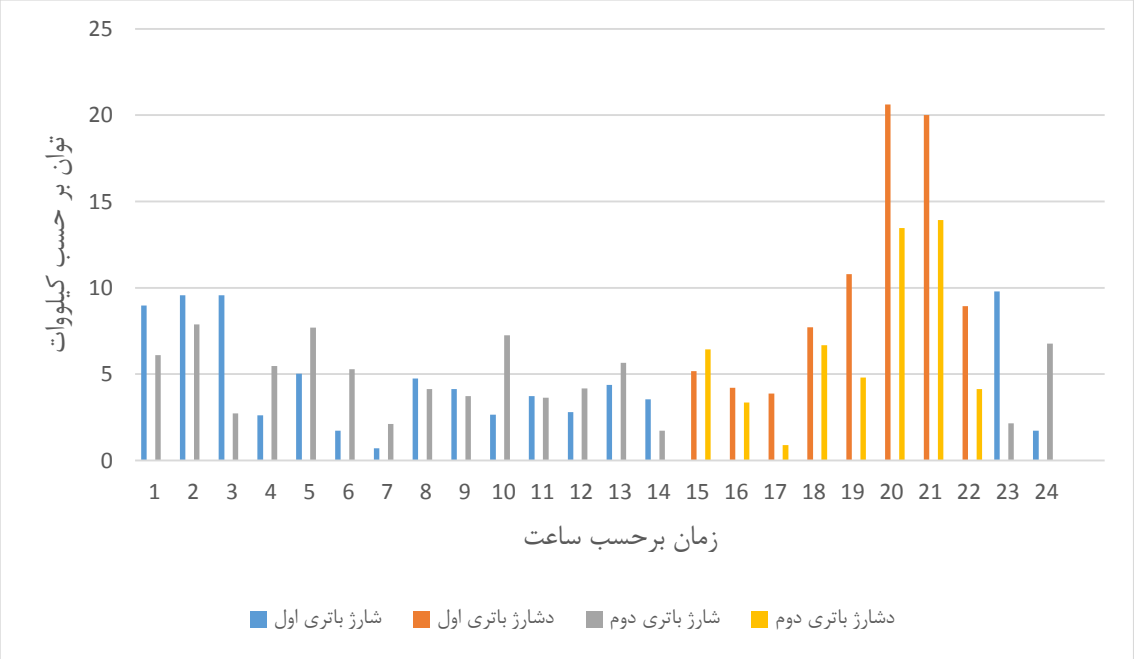
| ساختار | Pgrid (MW) | Pbat2 (MW) | Pbat1 (MW) | PMT3 (MW) | PMT2 (MW) | PMT1 (MW) | ساعت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | -۵۵.۳۲ | -۶.۱۱ | -۸.۹۷ | ۶۹.۱۳ | ۴۷.۸۷ | ۴۴.۲۳ | ۱ |
| ۱۱ | -۴۹.۸۳ | -۷.۸۸ | -۹.۵۷ | ۵۷.۲۶ | ۳۴.۵۶ | ۴۲.۰۳ | ۲ |
| ۱۱ | -۴۸.۰۲ | -۲.۷۳ | -۴.۰۸ | ۵۰.۵۱ | ۲۸.۰۷ | ۳۰.۱۱ | ۳ |
| ۱۱ | -۵۴.۲۵ | -۵.۴۷ | -۲.۶۱ | ۵۹.۳۷ | ۲۹.۶۶ | ۳۲.۷۷ | ۴ |
| ۱۱ | -۵۰.۸۶ | -۷.۷۰ | -۵.۰۲ | ۴۵.۳۳ | ۲۱.۸۹ | ۳۰.۰۹ | ۵ |
| ۱۱ | -۴۶.۴۸ | -۵.۲۹ | -۱.۷۲ | ۳۹.۱۲ | ۲۷.۸۶ | ۲۸.۷۹ | ۶ |
| ۱۱ | -۶۴.۹۶ | -۲.۱۱ | -۰.۷۱ | ۶۸.۵۲ | ۳۹.۷۷ | ۳۹.۵۱ | ۷ |
| ۱ | -۶۳.۳۷ | -۴.۱۴ | -۴.۷۴ | ۷۹.۶۷ | ۴۹.۸۹ | ۵۵.۰۸ | ۸ |
| ۱۱ | -۳۸.۷۱ | -۳.۷۳ | -۴.۱۴ | ۸۴.۱۷ | ۵۲.۹۶ | ۵۲.۷۸ | ۹ |
| ۱۱ | -۵۶.۰۹ | -۷.۲۶ | -۲.۶۶ | ۷۹.۹۸ | ۴۳.۷۵ | ۵۱.۸۳ | ۱۰ |
| ۸ | -۵۸.۹۲ | -۳.۶۴ | -۳.۷۳ | ۸۶.۹۰ | ۴۰.۱۸ | ۵۲.۶۱ | ۱۱ |
| ۱۱ | -۴۵.۶۲ | -۴.۱۷ | -۲.۸۰ | ۹۴.۶۹ | ۵۲.۳۲ | ۴۹.۷۱ | ۱۲ |
| ۱۱ | -۳۸.۹۶ | -۵.۶۶ | -۴.۳۷ | ۹۳.۵۵ | ۵۱.۳۴ | ۴۸.۹۳ | ۱۳ |
| ۱۱ | -۴۷.۴۹ | -۱.۷۲ | -۳.۵۵ | ۸۶.۱۶ | ۴۶.۸۰ | ۴۹.۶۴ | ۱۴ |
| ۱ | -۸۵.۱۹ | ۶.۴۳ | ۵.۱۷ | ۸۷.۳۴ | ۳۶.۹۸ | ۴۹.۴۴ | ۱۵ |
| ۱۱ | -۱۰۰.۲۴ | ۳.۳۵ | ۴.۲۱ | ۷۵.۸۸ | ۴۴.۷۲ | ۴۹.۳۶ | ۱۶ |
| ۱۱ | -۱۱۰.۳۱ | ۰.۹۵ | ۳.۸۸ | ۷۹.۹۶ | ۴۵.۸۳ | ۵۶.۷۹ | ۱۷ |
| ۸ | -۸۱.۰۳ | ۶.۶۸ | ۷.۷۱ | ۹۶.۳۶ | ۴۹.۰۳ | ۵۸.۹۲ | ۱۸ |
| ۱۱ | ۲.۱ | ۴.۸۱ | ۱۰.۸۰ | ۱۱۶.۴۴ | ۵۳.۲۶ | ۵۵.۸۹ | ۱۹ |
| ۱۱ | ۷.۳ | ۱۳.۴۶ | ۲۰.۶۱ | ۱۱۹.۳۵ | ۵۹.۸۸ | ۵۹.۹۷ | ۲۰ |
| ۱ | ۲۱.۸۷ | ۱۳.۹۲ | ۲۰.۰۱ | ۱۱۹.۸۳ | ۵۹.۹۰ | ۵۹.۹۴ | ۲۱ |
| ۱۱ | ۱۲.۶۳ | ۴.۱۴ | ۸.۹۳ | ۱۱۳.۳۱ | ۵۸.۱۷ | ۵۶.۳۳ | ۲۲ |
| ۱۱ | -۱.۶۶ | -۲.۱۶ | -۹.۱۹ | ۱۱۱.۹۸ | ۵۵.۲۹ | ۵۷.۱۱ | ۲۳ |
| ۱ | -۱۱.۷۹ | -۶.۷۷ | -۱.۷۲ | ۱۰۵.۳۶ | ۴۹.۰۸ | ۵۱.۲۲ | ۲۴ |

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]




شکل (۶): توان مبادله شده با شبکه بالادست در حالت دوم




**شکل (۷): مقدار شارژ و دشارژ دو باتری در حالت دوم**

**جدول (۷): مقایسه سود ریزشبکه در حالت مشارکت‌واحدها به تنهایی و مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان در حالت دوم**

| وضعیت بهره‌برداری در حالت دوم | میانگین سود ریزشبکه(برحسب سنت) |
|---|---|
| مشارکت‌واحدها | ۵۵۰۶۴ |
| مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان | ۵۹۴۸۴ |

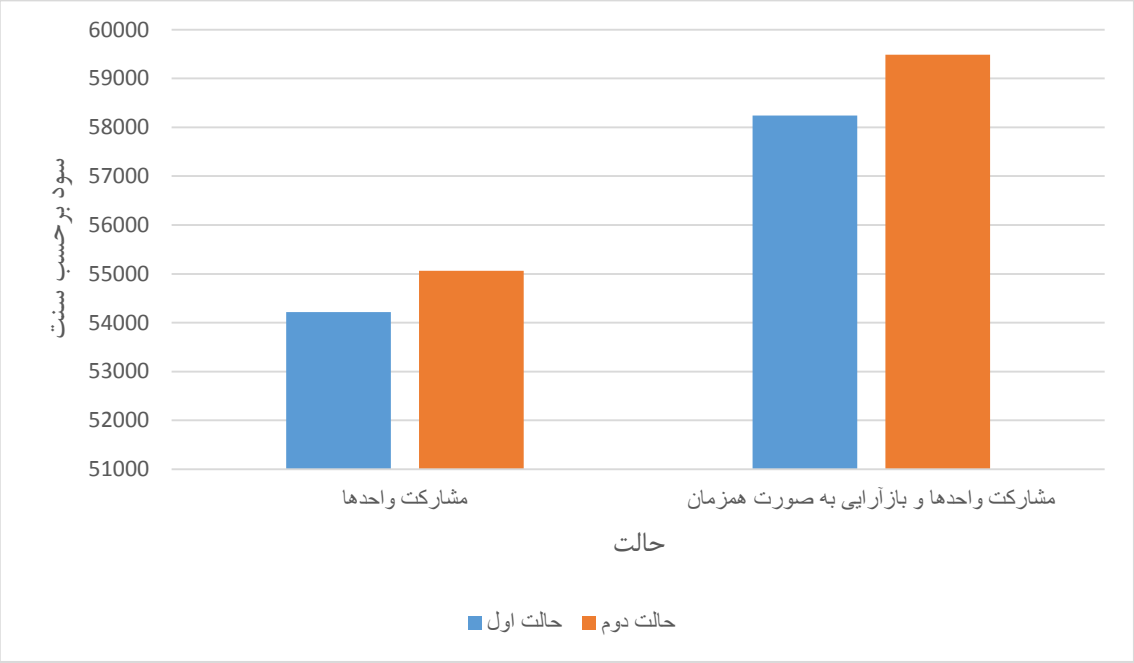
**جدول (۸): مقایسه سود ریزشبکه در حالت اول و دوم**

| مقایسه وضعیت بهره‌برداری ریزشبکه در دو حالت | میانگین سود ریزشبکه در حالت اول (برحسب سنت) | میانگین سود ریزشبکه در حالت دوم (برحسب سنت) |
|---|---|---|
| مشارکت‌واحدها | ۵۴۲۱۵ | ۵۵۰۶۴ |
| مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان | ۵۸۲۴۴ | ۵۹۴۸۴ |



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]




**شکل (۸): مقایسه سود ریزشبکه در حالت اول و دوم**

## ۵-نتیجه‌گیری

در این مقاله مساله بازآرایی و مشارکت‌واحدها به در یک ریزشبکه با درنظرگرفتن عدم‌قطعیت توربین‌بادی و بار مصرفی به طور کامل حل شد و در این راستا دو حالت درنظر گرفته شد. در حالت اول روی ریزشبکه با یک باتری و در حضور توربین‌بادی و میکروتوربین‌ها مشارکت‌واحدها به تنهایی انجام شد و سود این وضعیت با مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان مقایسه شد و مشاهده شد که سود ریزشبکه در وضعیت مشارکت‌واحدها و بازآرایی به صورت همزمان بیشتر است. در حالت دوم با اضافه کردن یک باتری به ریزشبکه، سود ریزشبکه بعد از افزایش طرفیت ذخیره‌سازی در آن مورد بررسی قرار گرفت و با حل مساله مشخص شد که با اضافه کردن ظرفیت ذخیره‌سازی ریزشبکه مورد مطالعه، سود این ریزشبکه نسبت به حالت اول افزایش چشمگیری داشته است.

## مراجع

[1] J, Torres, JL, Guardado, F, Rivas-Dávalos, S, Maximov, E, Melgoza. A genetic algorithm based on the edge window decoder technique to optimize power distribution systems reconfiguration. Electr Power Energy Syst 2013;45:28–34.
[2] E, Ghiani, S, Mocci, F, Pilo. Optimal reconfiguration of distribution networks according to the microgrid paradigm. In: IEEE future power syst conf; 2005. p.1–6.
[3] S, Tan, J, Xu, Sk, Panda. Optimization of distribution network incorporating microgrid using vaccine-AIS. In: IEEE indust electronics society conf (IECON);2012. p. 1381–6.
[4] S, Tan, J, Xu, Sk, Panda. Optimization of distribution network incorporating distributed generators: an integrated approach. IEEE Trans Power Sys 2013:1–12.
[5] Y, Qiao, Z Lu, S, Mei. Microgrid reconfiguration in catastrophic failure of large power systems. In: IEEE sustainable power gen supply conf (SUPERGEN'09);2009. p. 1–8.
[6] TC, Ou, WM, Lin, CH, Huang, FS, Cheng. A hybrid programming for distribution reconfiguration of DC microgrid. In: IEEE sustainable alter energy conf (SAE);2009. p. 1–7.
[7] F, Shariatzadeh, R, Zamora, AK, Srivastava. Real time implementation of microgrid reconfiguration. In: IEEE North American power symposium conf (NAPS); 2011. p. 1–6.
[8] X, Wang,X, Li. Fault recovery of micro-grid based on network reconfiguration. In: IEEE power and energy engineering conf (APPEEC); 2012. p. 1–4.
[9] H, Siahkali, M, Vakilian. Stochastic unit commitment of wind farms integrated in power system. Electr Power Syst Res 2010;80:1006–17.
[10] T, Niknam, F, Golestaneh, A, Malekpour. Probabilistic energy and operation management of a microgrid containing wind/photovoltaic/fuel cell generation and energy storage devices based on point estimate method and self-adaptive gravitational search algorithm. Energy 2012;43:427–37.
[11] AA, Moghaddam,A, Seifi,T, Niknam, MRA, Pahlavani. Multi-objective operation management of a renewable MG (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]

cell/battery hybrid power source. Energy 2011;36:6490–507.
[12] MD, Govardhan, R, Roy. Artificial bee colony based optimal management of microgrid. In: IEEE environment and electrical engineering conf (EEEIC); 2012. p. 334–9.
[13] H, Ren, A, Xiang,W, Teng,R, Cen. Economic optimization with environmental cost for a microgrid. In: IEEE power and energy society general meeting conf;2012. p. 1–6.
[14] S, Mohammadi, S, Soleymani, B, Mozafari. Scenario-based stochastic operation management of microgrid including wind, photovoltaic, micro-turbine, fuel cell and energy storage devices. Electr Power Energy Syst 2014;54:525–35.
[15] S, Mohammadi, B, Mozafari, S, Soleymani. A stochastic programming approach for optimal microgrid economic operation under uncertainty using 2m + 1 point estimate method. J Renew Sust Energy 2013;5:033112.
[16] S, Mohammadi, A, Mohammadi. Stochastic scenario-based model and investigating size of battery energy storage and thermal energy storage for micro-grid. Electr Power Energy Syst 2014;61:531–46.
[17] S, Mohammadi, B, Mozafari, S, Soleymani, T, Niknam. Stochastic scenario-based model and investigating size of energy storages for PEM-fuel cell unit commitment of micro-grid considering profitable strategies. IET Gener Transm Distrib 2014;8(7):1228–43.
[18] MH, Shariatkhah, MR, Haghifam, J, Salehi, A, Moser. Duration based reconfiguration of electric distribution networks using dynamic programming and harmony search algorithm. Electr Power Energy Syst2012;41:1–10.
[19] EA, Feinberg, J, Hu, K, Huang. A rolling horizon approach to distribution feeder reconfiguration with switching costs. In: IEEE smart grid communications conf (SmartGridComm); 2011. p. 339–44.
[20] AE, Milani, MR, Haghifam. A new probabilistic approach for distribution network reconfiguration: applicability to real networks. Math Comput Model 2013;57(1):169–79.
[21] T, Niknam, AK, Fard, A, Baziar. Multi-objective stochastic distribution feeder reconfiguration problem considering hydrogen and thermal energy production by fuel cell power plants. Energy 2012;42:563–73.
[22] P, Zhang, W, Li, S, Wang. Reliability-oriented distribution network reconfiguration considering uncertainties of data by interval analysis. Electr Power Energy Syst 2012;34:138–44.
[23] M, Venkata Kirthiga S, Arul Daniel, S, Gurunathan. A methodology for transforming an existing distribution network into a sustainable autonomous micro-grid. IEEE Trans Sust Energy 2013:31–41.
[24] I, Coroamaˇ, G, Chicco, M, Gavrilas, A, Russo. Distribution system optimization with intra-day network reconfiguration and demand reduction procurement. Electr Power Syst Res 2013;98:29–38.
[25] R, Jabbari-Sabet, S. M, Moghaddas-Tafreshi., S. S, Mirhoseini. “Microgrid operation and management using probabilistic reconfiguration and unit commitment,” Electr Power Energy Syst 2016: vol. 75, pp. 328–36.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.3.9 ]