

## طراحی بهینه ریزشبکه‌های جزیره‌ای با در نظر گرفتن حداقل سرمایه‌گذاری

الیاس مقصودی تبریزی، دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد برق، [elyas.maghsouditabrizi@gmail.com](mailto:elyas.maghsouditabrizi@gmail.com)

### چکیده

برق رسانی به مناطق صعب العبور و فاقد شبکه برق سراسری، به دلیل نیاز به هزینه‌های زیاد سرمایه‌گذاری شامل هزینه احداث خطوط انتقال، حق عبور از روی اراضی، دکل‌های برق و مصالح ساختمانی، مقرون به صرفه و در برخی موارد عملی نمی‌باشد. در طی سال‌های اخیر جهت برق رسانی به نقاط دورافتاده و دوردست، استفاده‌ی کارآمد از منابعی که در محل مصرف تولید برق می‌نمایند، وارد مرحله جدیدی از سیر تکاملی خود شده است. از همین رو بحث ریزشبکه‌ها از مهمترین مباحث دهه اخیر بوده و تحقیقات بسیار وسیعی در این خصوص انجام گرفته است. با این حال ابزارها و نرم افزارهایی که جهت طراحی ریزشبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند قابلیت کافی را جهت طراحی بهینه آنها ندارند. بنابراین در این پژوهش بر روی طراحی و ظرفیت‌یابی بهینه اجزا تشکیل دهنده ریزشبکه‌های جزیره‌ای که از منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های ذخیره ساز انرژی (باتری) و دیزل ژنراتور تشکیل شده‌اند، به منظور برق رسانی به مناطق دوردست، تمرکز شد. با توجه به وجود توانام باطری و دیزل در ریزشبکه، یک روش جدید جهت مدیریت انرژی اتخاذ گردید. به علاوه تاثیرات توان راکتیو نیز بر شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. در این پژوهش از روش شبیه‌سازی با تابع تک هدفه برای یافتن بهترین پاسخ استفاده شد. جهت پیدا کردن بهینه‌ترین پاسخ، از شبیه‌سازی‌های زمانی و بهینه‌سازی مبتنی بر شمارش استفاده شده که دستیابی به یک بهینه کلی را تضمین می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: ریزشبکه‌های جزیره‌ای، ظرفیت‌یابی بهینه، منابع تجدیدپذیر، هزینه دوره بهره‌برداری، قابلیت اطمینان منابع تغذیه

### ۱- مقدمه

برق رسانی به مناطق صعب العبور و فاقد شبکه برق سراسری، به دلیل نیاز به هزینه‌های زیاد سرمایه‌گذاری شامل هزینه احداث خطوط انتقال، حق عبور از روی اراضی، دکل‌های برق و مصالح ساختمانی، مقرون به صرفه و در برخی موارد عملی نمی‌باشد [۱،۲] از طرف دیگر تنها استفاده از دیزل ژنراتور (DG)<sup>۲</sup> بدلیل هزینه‌های بالای سوخت، بسیار پرهزینه و مقرون به صرفه نمی‌باشد [۳]. راه حل مناسب‌تر و مقرون به صرفه‌تر استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر (RERS)<sup>۳</sup> که تقریباً همه جا در دسترس هستند، جهت برق رسانی به شبکه‌های مستقل می‌باشد [۴،۵] به این شبکه‌های توزیع و تولید برق مستقل از شبکه که از منابع تولید پراکنده (DER)<sup>۴</sup> جهت تأمین توان مورد نیاز خود استفاده می‌نمایند، ریز شبکه‌های جزیره‌ای (IMG)<sup>۴</sup> یا مستقل از شبکه گفته می‌شود.

<sup>۱</sup> دانشگاه صنعتی امیرکبیر

<sup>۲</sup> Distributed Generation

<sup>۳</sup> Renewable Energy Resources

<sup>۴</sup> Distributed Energy Resources

یک روش مدیریت انرژی متمرکز را با در نظر گرفتن توانهای اکتیو و راکتیو جهت ریزشبهکه جزیره‌ای ارائه نموده است. در حال حاضر بدلیل اضافه شدن منابع تجدیدپذیر به شبکه‌هایی که تاکنون فقط از دیزل استفاده می‌کرده‌اند، جهت تأمین توان راکتیو مورد نیاز ژنراتورهای القایی از یک دیزل فقط مخصوص جهت تأمین توان راکتیو استفاده می‌شود. [۲،۶،۷] بنابراین در ریزشبهکه‌های جزیره‌ای با سطح نفوذ کم می‌توان از دیزل جهت تولید توان راکتیو استفاده نمود. در صورتی که اندازه اجزا در ریزشبهکه‌ی با سطح نفوذ بالا برای تأمین توان راکتیو کافی نباشد، نوسانات ولتاژ بزرگ در ریزشبهکه قریب الوقوع خواهد بود.

در مطالعات متعددی [۶،۸،۹] به مفهوم استراتژی مدیریت توان، مزایای اقتصادی آن، صرفه جویی انرژی و بهینه‌سازی پارامترهای سیستم‌های مدیریت توان پرداخته شده است. در مرجع [۹]، در یک سیستم متشکل از PV-WT-DGS و باتری چندین استراتژی‌های مدیریت توان پیشنهاد گشته و اثر آن‌ها بر LCC مورد بررسی قرار گرفته است. چهار استراتژی مدیریت توان اصلی مطرح شده در مرجع [۹] عبارتند از: ۱- استراتژی پخش بار ۲- استراتژی دیسپاچینگ مبتنی بر میزان شارژ باتری ۳- استراتژی دیسپاچینگ با توان حداکثر ۴- استراتژی دیسپاچینگ مبتنی بر دشارژ اندک که بطور کلی و بدون در نظر گرفتن قیود ظرفیت اجزا بررسی شده‌اند. مرجع [۱۰] با استفاده از یک روش مبتنی بر زمان خاموش و روشن شدن دیزل ژنراتور برای ریزشبهکه شامل PV-DGS-BATTERY، استراتژی مدیریت توان را بهینه سازی نموده است. میزان شارژ (SOC) باتری بانک با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) در مرجع [۱۱] توسط آنالیز و ترکیب تعدادی از استراتژی‌های پخش بار بهینه سازی شده است [۹].

رفرنس [۱۲]. بیان کرده است که عملکرد یک ریز شبکه مستقل بطور قابل توجهی وابسته به نوع کنترل نظارتی آن می‌باشد و متعاقباً روشی را برای سیستم شامل PV-WIND-BATTERY ارائه داده است. مرجع [۱۳] یک روش مدیریت توان را برای سیستم PV-WIND-DGS را بدون در نظر گرفتن ظرفیت بهینه اجزا بررسی کرده است. رفرنس [۱۴] براساس ترکیب اجزا، یک روش بهینه سازی را جهت سایزینگ ظرفیت اجزا ریزشبهکه‌ها با سطح بالای نفوذ منابع تجدیدپذیر و متشکل از PV-WIND-BATTERY را برای سه مد عملکردی ارائه داده است: ۱- منابع تجدیدپذیر و باطری ۲- منابع تجدید پذیر و دیزل ۳- منابع تجدید پذیر، دیزل و باتری. یک سیستم مدیریت انرژی متمرکز (EMS) جهت توزیع بهینه انرژی در رفرنس [۶] معرفی شده است که در آن اثر توان راکتیو در طراحی EMS در نظر گرفته شده است. بهینه سازی حالت‌های عملکردی استراتژی‌های مدیریت توان ریزشبهکه مستقل مبتنی بر مشخصات عمر باتری در رفرنس [۱۵] مطرح شده است. با استفاده از پیش‌بینی و بار قابل کنترل رفرنس [۱۶] یک استراتژی مدیریت بار را برای سیستم WIND-DIESEL-BATTERY مطرح کرده بطوری که استفاده از DGS را به حداقل رسانده است. رفرنس [۱۷] از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بهره برداری و کنترل سیستم فتوولتائیک، دیزل و باتری، با میزان تابش و دیماندر بار مشخص، استفاده نموده است. رفرنس [۱۸] یک مدل پخش انرژی و پخش بار دینامیک را برای یک سیستم DGS-WIND مستقل ارائه کرده تا عملکرد ماهانه و روزانه سیستم را تحت رژیم‌های بار و باد مختلف بررسی نماید. استراتژی‌های مدیریت توان گوناگونی در رفرنس [۱۹] برای یک ریزشبهکه مستقل دارای سیستم ذخیره ساز انرژی هیدروژنی مطرح شده است. جهت تبادل توان میان منابع و برای مدیریت انرژی سیستم‌های متصل به شبکه، روش‌های کنترل دینامیک "متابعت از منبع" و "متابعت از شبکه" مطرح شده‌اند [۲۰]. با استفاده از ترکیب DGSها و یا باتری‌ها با منابع تجدیدپذیر انرژی رفرنس [۲۱] یک روش شبیه سازی متوالی را برای ارزیابی چهار مد عملکردی یک سیستم قدرت مستقل ارائه داده است.

اکثر مطالعات اثر توان راکتیو را در استراتژی‌های خود لحاظ نکرده‌اند. از همه مهتر هیچ یک از مطالعات بالا بطور ساختاری سیستم‌های مدیریت توان را به‌ویژه در زمینه در نظر گرفتن هر محدودیتی در اجزا مدل نکرده‌اند. با بکارگیری روش‌های مبتنی بر شمارش و یا مبتنی بر تکرار و حداقل نمودن هزینه با حفظ قابلیت اطمینان در یک مقدار قابل قبول، تحقیقات زیادی [۲۲-۲۵].

<sup>5</sup> Islanded Microgrids

<sup>6</sup> State of charge

<sup>7</sup> Genetic algorithm

<sup>8</sup> Energy management system

روش‌های بهینه سازی تک هدفه را برای ساختارهای متعددی در ریزشبکه‌ها مطرح نموده‌اند. در میان مطالعات اشاره شده، اکثرشان ظرفیت ریزشبکه‌های بسیار کوچک را که در آنها میزان متوسط بار روزانه کمتر از 75Kw است را بهینه سازی نموده‌اند. برخی دیگر ظرفیت بهینه ریزشبکه‌های کوچک که متوسط بار روزانه آنها بین 100kw تا 700kw می‌باشد را تعیین کرده‌اند و سایرین ظرفیت بهینه ریزشبکه‌هایی که بین 800kw تا 2000kw هستند تعیین نموده‌اند. مرجع [۲۲] یک الگوریتم مبتنی بر شمارش ساده را برای تعیین بهینه ظرفیت تولید و ذخیره برای یک سیستم شامل باتری، توربین بادی و سلول خورشیدی را مطرح نموده است. با استفاده از حلقه تکرار مرجع [۲۶] یک روش کلی را برای بررسی فنی - اقتصادی یک سیستم قدرت مبتنی بر منابع تجدید پذیر مستقل ارائه داده است. در میان روشهای تصادفی و اکتشافی، الگوریتم ژنتیک (GA) [۳۰-۲۷]، روش جستجوی تابو<sup>۱۰</sup> [۳۱] جهت تعیین ظرفیت بهینه ریزشبکه جزیره‌ای بکار رفته‌اند. مرجع [۳۲] از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی ظرفیت و عملکرد یک سیستم هیبریدی شامل سلول خورشیدی استفاده کرده است در حالی که مرجع [۳۲] از الگوریتم ژنتیک جهت بررسی ظرفیت بهینه و بررسی اقتصادی یک سیستم متشکل از سلول خورشیدی، باتری، توربین بادی و میکروتوربین استفاده نموده است. در مرحله‌ی طراحی ریزشبکه‌ها، جهت انتخاب تولیدات پراکنده مسائل فنی و اقتصادی باید توامان در نظر گرفته شوند که این امر کاری دشوار می‌باشد. برای مثال طراحی نامناسب در برخی از پروژه‌ها باعث عدم کارایی آنها، کاهش عمر تجهیزات و در برخی از موارد از رده خارج شدن آنها شده است. جهت استفاده حداکثری از پتانسیل و فواید ریزشبکه‌ها باید مطالعات امکان سنجی در خصوص منابع تجدید پذیر، سطح نفوذ انرژی‌ها تجدیدپذیر، قابلیت اطمینان و هزینه ریزشبکه بدقت مورد بررسی قرار گیرد. میزان هزینه، سطح نفوذ منابع تجدیدپذیر و قابلیت اطمینان ریز شبکه جزیره‌ای به نوع سیستم کنترل یا عبارتی دیگر استراتژی مدیریت توان (PMS<sup>۱۱</sup>) ریزشبکه بستگی دارد. بهینه‌سازی یک ریزشبکه بدلیل پیچیدگی‌های عملکرد، طبیعت تصادفی منابع انرژی تجدید پذیر، تنوع بار، اجزاء غیرخطی و تعداد زیاد قیود طراحی و متغیرهای تصادفی کار مشکلی می‌باشد. هدف این تحقیق است که یک روش مدیریت توان را برای ریزشبکه پیشنهاد نموده و ظرفیت بهینه ریزشبکه را پیدا نماید بگونه‌ای که ترکیب تولیدات پراکنده با توجه به فاکتورهای اقتصادی، قابلیت اطمینان و مسائل زیست محیطی و در نظرگیری قیود فیزیکی و عملیاتی بهینه‌ترین حالت را فراهم نماید.

## ۲- تابع هدف

مهمترین معیار لازم جهت تعیین ظرفیت بهینه ریزشبکه، آنالیز اقتصادی می‌باشد. معیار اقتصادی بایستی با دقت زیاد و در نظر گرفتن اینکه تابع هدف بصورت سینگل می‌باشد، بیان گردد. مجموع ارزش خالص فعلی LCC به عنوان تابع هدف در این مطالعه در نظر گرفته شده است. مراحل تعیین LCC بطور مبسوط در بخش‌های زیر مطرح شده است.

### ۲-۱- مدل اقتصادی

این مدل اقتصادی هزینه‌های سرمایه‌گذاری، جایگزینی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری، سوخت و برگشت سرمایه را برای سیستم در نظر می‌گیرد. در این آنالیز همه وجوه در گردش تبدیل به ارزش خالص فعلی می‌شوند. فاکتور NPV [۳۳] بصورت زیر محاسبه شده است:

$$NPV(r_1, N_{lp}) = \frac{(1+r_1)^{N_{lp}} - 1}{r_1(1+r_1)^{N_{lp}}} \quad (1)$$

<sup>9</sup> Genetic Algorithm

<sup>10</sup> Tabu search

<sup>11</sup> Power Management Strategy

$$r_1 = \frac{1+r_2}{1+r_3} - 1 \quad (2)$$

$r_1, r_2, r_3$  بترتیب نرخ بهره‌ی وام بانکی، نرخ بهره و نرخ تورم هستند. نرخ بهره وام بانکی از نرخ بهره و نرخ تورم و پارامتر  $N_{lp}$  که طول عمر پروژه است محاسبه می‌شود. فرض می‌شود که دیزل ژنراتور، توربین بادی و پنل‌های فتوولتائیک همگی طول عمری برابر عمر پروژه دارند. با در نظر گرفتن طول عمر پروژه  $N_{lp}$ ، هزینه اجزا مختلف بصورت زیر بیان می‌شود:

هزینه سرمایه‌گذاری،  $C_w$ ، هزینه تعمیرات و نگهداری،  $C_{wom}$ ، برگشت سرمایه،  $C_{ws}$  و کل هزینه‌ها،  $C_{wtk}$ ، توربین بادی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{om}^w = \beta_{om}^w P_{rat}^w \bullet NPV(r_1, N_{lp}) \quad (3)$$

$$C_s^w = \beta_s^w P_{rat}^w \left( \frac{1+r_3}{1+r_2} \right)^{N_{lp}} \quad (4)$$

$$C_{tk}^w = \underbrace{\beta_c^w P_{rat}^w}_{C_c^w} + C_{om}^w - C_s^w \quad (5)$$

$\beta_{ws}, \beta_{wom}, \beta_{wc}$  به ترتیب هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه تعمیر و نگهداری و برگشت سرمایه برای  $1kw$  توربین بادی هستند. بطور مشابه هزینه‌های مرتبط با سلول خورشیدی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{tk}^{pv} = \underbrace{\beta_c^{pv} P_{rat}^{pv}}_{C_c^{pv}} + \underbrace{\beta_{om}^{pv} P_{rat}^{pv} \bullet NPV(r_1, N_{lp})}_{C_{om}^{pv}} - \underbrace{\beta_s^{pv} P_{rat}^{pv} \left( \frac{1+r_3}{1+r_2} \right)^{N_{lp}}}_{C_s^{pv}} \quad (6)$$

$\beta_{pvs}, \beta_{pvom}, \beta_{pvvc}$  به ترتیب هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری، برگشت سرمایه برای  $1kw$  پنل فتوولتائیک هستند.  $C_{pvtk}, C_{pvsal}, C_{pvom}, C_{pvvc}$  به ترتیب هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری، برگشت سرمایه و هزینه کل هستند. هزینه‌های مرتبط با سیستم خورشیدی شامل هزینه‌های کانورتر و هزینه آرایه‌های فتوولتائیک است.

هزینه سرمایه‌گذاری و جایگزینی،  $C_{conc}$ ، هزینه تعمیر و نگهداری،  $C_{conom}$ ، برگشت سرمایه،  $C_{cons}$  و کل هزینه‌ها،  $C_{contk}$ ، باتری بانک بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$C_c^{con} = \beta_c^{con} S_{rat}^{con} + \beta_r^{con} S_{rat}^{con} \sum_{i=2}^{N_{pc}} \left( \frac{1+r_3}{1+r_2} \right)^{(i-1)N_{con}} \quad (7)$$

$$C_{om}^{con} = \beta_{om}^{con} S_{rat}^{con} \bullet NPV(r_1, N_{lp}) \quad (8)$$

$$C_s^{con} = \beta_s^{con} S_{rat}^{con} \sum_{i=1}^{(N_{pc}-1)} \left( \frac{1+r_3}{1+r_2} \right)^{(i-1)N_{con}} \quad (9)$$

هزینه سرمایه‌گذاری،  $C_{cdic}$ ، هزینه تعمیر و نگهداری،  $C_{diom}$ ، برگشت سرمایه،  $C_{dis}$  و کل هزینه‌های دیزل ژنراتور  $C_{di-tk}$  بصورت زیر هستند:

$$C_{om}^{di} = \left\{ \beta_{om}^{di} S_{rat}^{di} + \sum_{h=1}^{r_h} \beta_{fi}^{di} P^{di} \right\} \cdot NPV(r_1, N_{lp}) \quad (10)$$

$$C_s^{di} = \beta_s^{di} S_{rat}^{di} \left( \frac{1+r_3}{1+r_2} \right)^{N_{lp}} \quad (11)$$

$$C_{tk}^{di} = \underbrace{\beta_c^{di} S_{rat}^{di}}_{C_c^{di}} + C_{0m}^{di} - C_s^{di} \quad (12)$$

$\beta_{dis}$ ,  $\beta_{diom}$ ,  $\beta_{dic}$  به ترتیب اشاره به هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه تعمیر و نگهداری و برگشت سرمایه برای 1kva دیزل ژنراتور دارند. طول عمر باتری بانک و شارژ کنترلر عموماً کمتر از طول عمر پروژه است. هزینه‌های مرتبط با باتری بانک بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$C_{tk}^b = \underbrace{\beta_c^b E_{rat}^b + \beta_r^b E_{rat}^b \sum_{i=2}^{N_{pb}} \left( \frac{1+r_3}{1+r_2} \right)^{(i-1)N_b}}_{C_c^b} + \underbrace{\beta_{om}^b E_{rat}^b \cdot NPV(r_1, N_{lp})}_{C_{om}^b} \quad (13)$$

$\beta_{bom}$  و  $\beta_{bc}$  به ترتیب هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری برای 1kwh باتری بانک هستند.  $N_{pb}$  تعداد دفعات لازم جهت خرید باتری و  $N_b$  طول عمر باتری را مشخص می‌کند.

یک شارژ کنترلر مستقل عمل شارژ و دشارژ باتری‌ها را کنترل می‌کند. بنابراین هزینه‌های مرتبط با شارژ کنترلر بصورت زیر خواهد بود:

$$C_{tk}^{chr} = \underbrace{\beta_c^{chr} P_{rat}^{chr} \sum_{i=1}^{N_{pcc}} \left( \frac{1+r_3}{1+r_2} \right)^{(i-1)N_{chr}}}_{C_{cap}^{chr}} + \underbrace{\beta_{om}^{chr} P_{rat}^{chr} \cdot NPV(r_1, N_{lp})}_{C_{om}^{chr}} \quad (14)$$

$\beta_{chrc}$  هزینه سرمایه‌گذاری برای 1kw شارژ کنترلر می‌باشد.  $N_{pcc}$  و  $N_{chr}$  به ترتیب اشاره به طول عمر و تعداد دفعات خرید شارژ کنترلر دارند. میزان LCC برابر مجموع کل هزینه‌های اشاره شده می‌باشد:

$$LCC = (C_{tk}^w + C_{tk}^{pv} + C_{tk}^{di} + C_{tk}^{con} + C_{tk}^b) \quad (15)$$

## ۲-۲- فرمول سازی مسئله

متغیرهای تصمیم‌گیر روش ظرفیت‌یابی بهینه با تابع تک‌هدفه ارائه شده عبارتند از توان نامی سیستم فتوولتائیک،  $P_{pvrat}$ ، توان نامی توربین بادی،  $P_{wrat}$ ، توان نامی دیزل ژنراتور،  $S_{dirat}$ ، توان نامی کانورتر باتری،  $S_{con-rat}$ ، ظرفیت انرژی نامی باتری بانک،  $E_{brat}$ . بنابراین بردار متغیرهای تصمیم‌ساز می‌شود:

$$X = [P_{rat}^w \ P_{rat}^{pv} \ S_{rat}^{di} \ E_{rat}^b \ S_{rat}^{con}]^T \quad (16)$$

بنابراین مسئله بهینه‌سازی با تابع تک‌هدفه بصورت زیر بیان می‌گردد:

$$\underset{X}{\text{minimize}} \ LCC$$

subject to  $LPSP \leq LPSP^{des}$

$$\sum_{i=1}^{8760} (P_i^w + P_i^{pv} + P_i^{di} + P_i^b - P_i^l - P_i^{dl}) = 0 \text{ and} \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^{8760} (Q_i^{pv} + Q_i^{di} + Q_i^{con} - Q_i^l) = 0$$

$$S_{min}^{di} \leq S^{di} \leq S_{rat}^{di}$$

$$E_{min}^b \leq E_b \leq E_{max}^b$$

$$P_{rat}^w \geq 0, P_{rat}^{pv} \geq 0, S_{rat}^{di} \geq 0, E_{rat}^b \geq 0, S_{rat}^{con} \geq 0, P_{rat}^b \geq 0$$

$\gamma, LCC$  به ترتیب نمایانگر تابع هدف، بردار متغیرهای تصمیم‌گیری و ناحیه محتمل است. قیود فوق‌الذکر در الگوریتم سیستم مدیریت توان در نظر گرفته شده‌اند.

### ۲-۳- الگوریتم بهینه‌سازی

برای تعیین ظرفیت بهینه ریزش‌بکه، از یک روش بهینه‌سازی با تابع تک‌هدفه مبتنی بر شمارش استفاده می‌نماییم. فلوچارت روش بهینه‌سازی در شکل (۱) نشان داده شده است و گام‌های الگوریتم بصورت زیر است:

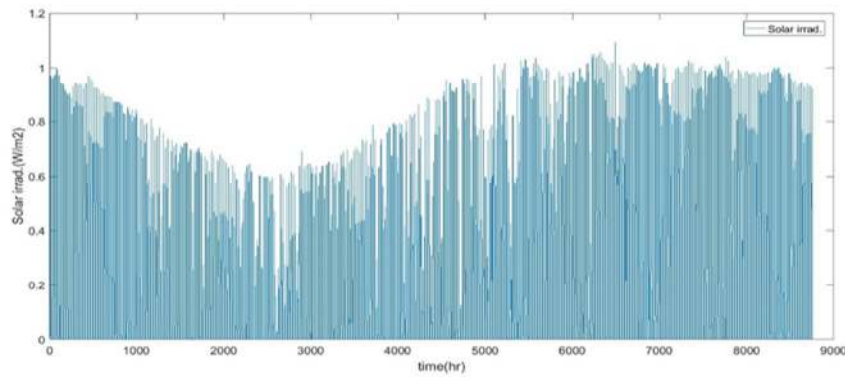
- ۱- تعیین مقادیر اولیه، مقادیر نهایی، و گام‌های تغییر ظرفیت اجزا برای متغیرهای تصمیم‌گیر
- ۲- استفاده از سرعت باد و تابش خورشید ساعتی
- ۳- استفاده از مدل‌های ریاضی سیستم فتوولتائیک، توربین بادی و بار اصلی به گونه‌ای که توان توربین بادی و توان سلول خورشیدی برای هر ساعت مشخص و قابل مقایسه با بار باشند
- ۴- استفاده از توان‌های تولید شده ساعتی و بار در استراتژی مدیریت توان بگونه‌ای که منابع انرژی باقیمانده و رزرو یعنی باتری، دیزل و بار دمپ بتوانند تعادل توان را برقرار نمایند.
- ۵- به روز رسانی مقدار LPSP چنانچه در استپ قبلی کسری در توان داریم
- ۶- رفتن به مرحله چهارم و اجرا برای ۸۷۶۰ ساعت جهت محاسبه LPSP سالانه
- ۷- برگشت به مرحله اول اگر میزان LPSP با مقدار مورد نظر مطابقت ندارد و کنار گذاشتن ساختار مرتبته.
- ۸- حفظ ساختار یعنی بردار متغیرهای تصمیم‌سازی و LPSP مربوطه، LCC و  $\gamma re$  زمانیکه میزان LPSP با مقدار مورد نظر مطابقت دارد.
- ۹- برگشت به مرحله اول برای مجموعه بعدی بردار متغیرهای تصمیم‌گیر.
- ۱۰- مقایسه تمام LCC ها با یکدیگر
- ۱۱- تعیین بردار متغیرهای تصمیم‌گیر با کمترین میزان LCC و ذخیره‌سازی مقادیر  $\gamma re$ , LPSP, LCC مرتبته.



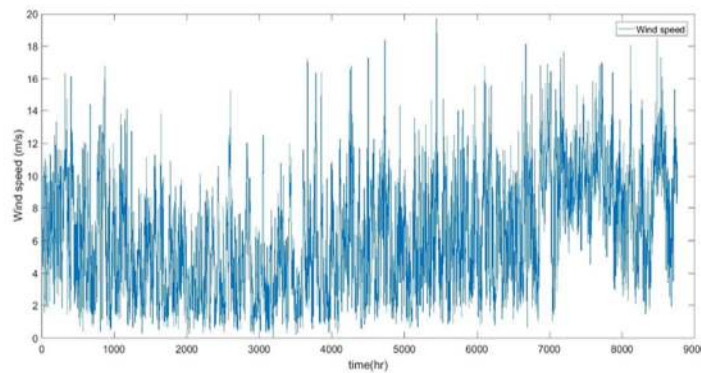
شکل ۱- فلوچارت الگوریتم تابع تک هدفه مبتنی بر شمارش

## ۳- یافته‌ها

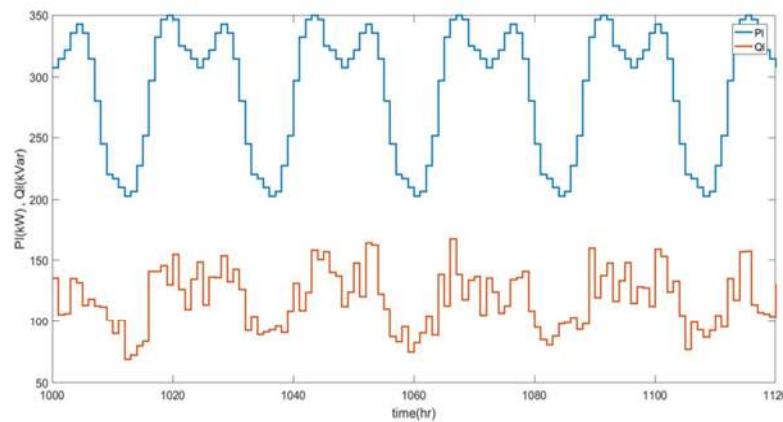
شبیه سازی جهت یافتن ظرفیت بهینه در محیط نرم افزار متلب صورت گرفته است. سیستم تحت مطالعه توسط اطلاعات متوسط ساعتی سالانه شبیه سازی شده است. از اطلاعات جدول سیستم تست واقعی IEEE (IEEE-RTS year around real-load) استفاده شده است. میزان ضریب توان پایه ۰,۹۲ و با استفاده از تابع Random با تلورانس  $\pm 5\%$  استفاده شده است.



شکل ۲- تابش خورشید بر حسب وات بر مترمربع



شکل ۳- سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه



شکل ۴- بار اکتیو و راکتیو

جدول ۱- مقادیر نامی فضای جستجو برای تجهیزات

تجهیز	واحد	حداقل	ظرفیت گام	حداکثر
$P_{rat}^w$ (توربین بادی)	kW	۰	۱۵۰	۹۰۰
$P_{rat}^{pv}$ (پنل فتوولتائیک)	kW	۰	۱۵۰	۴۵۰



۳۰۰۰	۶۰۰	۰	kWh	سیستم ذخیره ساز انرژی باتری ( $E_{rat}^b$ )
۶۴۰	۸۰	۳۲۰	kVA	دیزل ژنراتور ( $S_{rat}^{di}$ )
۶۴۰	۱۶۰	۰	kVA	کانورتر ( $S_{rst}^{con}$ )

ردیف اول جدول (۲) بهترین پاسخ را از لحاظ کمترین هزینه نشان می‌دهد. سایر مقادیری که دارای LCCهای بیشتری هستند به ترتیب مرتب شده‌اند. همان طور که ملاحظه می‌شود روش مدیریت توان C بهترین پاسخ را ارائه نموده است. در بهترین پاسخ میزان  $\gamma_{re}$  برابر 54.16% می‌باشد. همان طور که ملاحظه می‌شود مقدار  $\gamma_{re}$  از 46.604% تا 58.757% متغیر است. همان طور که ملاحظه می‌گردد اگرچه بهترین روش مدیریت توان روش C می‌باشد اما ردیف‌های سوم تا ششم بهترین پیکربندی برای روش نوع A هستند. با اینکه برای مثال در ردیف پنجم مجموع ظرفیت منابع تجدیدپذیر کمتر از ردیف چهارم است و در ابتدا بنظر می‌رسد که باید هزینه تمام شده آن نیز کمتر شود، اما به دلیل تعداد ساعات بیشتر کار دیزل ژنراتور در ردیف پنجم هزینه تمام شده آن بالاتر می‌رود.

جدول ۲- ظرفیت بهینه برای اجزا ریزشبکه

PMS	$\gamma_{re}$ (%)	LCC (\$)	LPSP	$S_{rat}^{con}$ (kVA)	$E_{rat}^b$ (kWh)	$S_{rat}^{di}$ (kVA)	$P_{rat}^{pv}$ (kW)	$P_{rat}^w$ (kW)
C	۵۴/۱۶	۹۳۶۱۴۱۴/۴۲۴۱	۰	۳۲۰	۱۸۰۰	۳۲۰	۷۵۰	۹۰۰
B	۵۴/۱۵۳	۹۳۶۳۱۲۳/۲۹۹	۰	۳۲۰	۱۸۰۰	۳۲۰	۷۵۰	۹۰۰
A	۵۴/۹۵۲	۹۴۵۷۱۸۲/۹۶۷	۰	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۰۰
A	۵۸/۷۵۷	۹۵۱۰۵۱۵/۳۲۳۳	۰	۳۲۰	۶۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۰۰
A	۵۵/۹۷	۹۵۲۶۸۲۶/۶۹۹۹	۰	۳۲۰	۶۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۶۰۰
A	۵۲/۵۰۵	۹۶۵۹۹۵۸/۳۹۸۶	۰	۳۲۰	۶۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۴۵۰
C	۴۶/۶۰۹	۹۷۲۳۲۷۴/۲۳۸۶	۰	۳۲۰	۱۸۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۰۰
B	۴۶/۶۰۴	۹۷۲۴۳۴۸/۰۴۷۳	۰	۳۲۰	۱۸۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۰۰
C	۵۵/۰۷	۹۷۷۱۹۲۱/۵۱۹۶	۰	۱۶۰	۶۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۶۰۰

B	۵۲/۲۴۶	۹۷۹۵۱۱۳/۷۸۰۱	۰	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۰۰
A	۵۰/۴۴۴	۹۸۵۸۸۷۹/۵۳۴۳	۰	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۷۵۰
A	۵۳/۱۵۳	۹۸۶۱۱۵۸/۹۲۳۳	۰	۳۲۰	۶۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۷۵۰
B	۴۸/۵۱۹	۹۸۶۶۲۶۷/۱۴۶۶	۰	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۴۵۰

در حالت قبل برای روش B و C فرض شد تا زمانی که باتری‌ها به حداکثر مقدار نامی خود نرسیده و دیزل روشن باشد، دیزل همچنان می‌تواند به کار خود ادامه دهد. حال فرض می‌شود در صورتی که باتری‌ها به ۸۰٪ مقدار نامی خود رسیدند، دیزل در صورت روشن بودن بایستی خاموش گردد. مقادیر ظرفیت‌های بهینه با حالت قبل متفاوت می‌باشد و اولین ردیف در مقایسه با حالت قبل هزینه کمتری را در بر دارد.

جدول ۳- ظرفیت بهینه برای اجزا ریز شبکه با فرض اینکه دیزل در ۸۰٪ نامی خاموش شود

PMS	$\gamma_{re}$ (%)	LCC (\$)	LPSP	$S_{rat}^{con}$ (kVA)	$E_{rat}^b$ (kWh)	$S_{rat}^{di}$ (kVA)	$P_{rat}^{pv}$ (kW)	$P_{rat}^w$ (kW)
B-C	۵۲/۷۵۶	۹۰۷۱۶۹۵/۹۸۲	۰	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۰۰
B-C	۴۸/۵۹۹	۹۱۱۳۴۲۲/۳۴۸۲	۰	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۴۵۰
B-C	۴۷/۶۰۲	۹۱۳۶۳۶۴/۲۴۱۷	۰	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۶۰۰
B	۳۲/۱۵	۹۲۰۳۰۴۱/۸۳۳۸	۰	۳۲۰	۱۸۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۴۵۰
C	۳۲/۱۷۴	۹۲۰۶۳۹۸/۳۷۰۵	۰	۳۲۰	۱۸۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۴۵۰
B	۴۳/۱۷۷	۹۲۳۴۲۶۶/۲۵۷۷	۰	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۴۵۰
B	۵۳/۳۶۶	۹۴۶۹۹۴۸/۶۱۱۱	۰	۳۲۰	۶۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۴۵۰

جدول (۴) مقادیر بهینه ظرفیت اجزا را که با در نظر گرفتن فقط قسمت حقیقی بار و بدون در نظر گرفتن بخش موهومی و راکتیو بار بدست آمده را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود اولین ردیف این جدول (۴) با جدول (۳) متفاوت می‌باشد. همان طور که انتظار می‌رود دلیل در نظر نگرفتن بار راکتیو نیاز به کانورتر به حداقل خود رسیده است چرا که در حالت با توان راکتیو، جهت جبران کسری توان راکتیو از ظرفیت کانورتر استفاده می‌گردد.

جدول ۴- ظرفیت بهینه برای اجزا ریز شبکه بدون در نظر گیری بار راکتیو

$PMS$	$\gamma_{re}$ (%)	$LCC$ (\$)	$LPSP$	$S_{rat}^{con}$ (kVA)	$E_{rat}^b$ (kWh)	$S_{rat}^{di}$ (kVA)	$P_{rat}^{pv}$ (kW)	$P_{rat}^w$ (kW)
C	۵۲/۹۳۳	۸۴۹۶۲۵۹/۷۸۱۶	۰	۱۶۰	۶۰۰	۳۲۰	۴۵۰	۶۰۰
B	۴۱/۳۶۵	۸۷۶۴۲۸۳/۱۲۰۹	۰	۱۶۰	۶۰۰	۳۲۰	۳۰۰	۴۵۰

#### ۴- نتیجه گیری

شبیه سازی بلندمدت یک ریز شبکه نیاز به بررسی عملکرد آن ریز شبکه دارد. بعلاوه شبیه سازی ریز شبکه گام اول در مطالعه بهینه سازی می باشد. بنابراین تعداد ۳ روش مدیریت توان با در نظر گرفتن توان اکتیو و راکتیو ارائه شده است. روش های ارائه شده بهینه سازی شده تا پس از مقایسه بهترین روش که کمترین هزینه را با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان دارد، مشخص گردد. جهت تعیین بهترین پاسخ که کمترین هزینه را برای ریز شبکه در بر داشته باشد، یافتن پاسخ بهینه سراسری لازم می باشد. بنابراین با در نظر گرفتن تابع هزینه به عنوان تابع هدف روش تابع تک هدف مبتنی بر شمارش ارائه شده است. این روش بطور همزمان بهترین سیستم مدیریت توان و بهترین ظرفیت را پیدا می نماید. در این بخش ۱- اثر در نظر گرفتن توان راکتیو بر ظرفیت اجزا و اثر آن بر قابلیت اطمینان ریز شبکه ۲- تعیین روابط ریاضی با در نظر گرفتن تمام جزئیات برای محاسبه هزینه ها ۳- اطمینان از یافتن بهترین پاسخ سراسری ۴- امکان دسترسی به اطلاعات که می تواند برای آنالیزهای بیشتر جهت قابلیت اطمینان و سطح نفوذ منابع تجدید پذیر استفاده گردد ۵- در نظر گرفتن متغیرهای تصمیم گیر بیشتر ارائه شده است.

#### مراجع

- [1] Freris, L. L.; Infield, D. G.; "Renewable energy in power systems", *John Wiley & Sons*, 2008.
- [2] Arriaga, M.; Canizares, C. A.; Kazerani, M.; "Renewable Energy Alternatives for Remote Communities in Northern Ontario, Canada," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 3, pp. 661-670, Jul. 2013.
- [3] Duić, N.; Da Graça Carvalho, M.; "Increasing renewable energy sources in island energy supply: case study Porto Santo," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 8, no. 4, pp. 383-399, 2004.
- [4] Khan, M. J.; Iqbal, M. T.; "Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland," *Renew. Energy*, vol. 30, no. 6, pp. 835-854, 2005.
- [5] Elhadidy, M. A.; Shaahid, S. M.; "Parametric study of hybrid (wind + solar + diesel) power generating systems," *Renew. Energy*, vol. 21, no. 2, pp. 129-139, 2000.
- [6] Olivares, D. E.; Canizares, C. A.; Kazerani, M.; "A Centralized Energy Management System for Isolated Microgrids," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1864-1875, Jul. 2014.
- [7] Fay, G.; Fay, G.; Schwörer, T.; Keith, K.; "Alaska Isolated Wind-Diesel Systems: Performance and Economic Analysis Prepared for Alaska Energy Authority and Denali Commission Prepared by," 2010.
- [8] Billinton, R.; Evaluation of Different Operating Strategies in Small Stand-Alone Power Systems," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 20, no. 3, pp. 654-660, Sep. 2005.
- [9] Dennis Barley, C.; Byron Winn, C.; "Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems," *Sol. Energy*, vol. 58, no. 4-6, pp. 165-179, Oct. 1996.
- [10] Ashari, M.; Nayar, C. V.; "An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system," *Sol. Energy*, vol. 66, no. 1, pp. 1-9, 1999.
- [11] Dufo-López, R.; Bernal-Agustín, J. L.; "Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms," *Sol. Energy*, vol. 79, no. 1, pp. 33-46, 2005.
- [12] Valenciaga, F.; Puleston, P. F.; "Supervisor Control for a Stand-Alone Hybrid Generation System Using Wind and Photovoltaic Energy," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 20, no. 2, pp. 398-405, Jun. 2005.

- [13] Wang, C.; Nehrir, M. H.; "Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Energy System," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 3, pp. 957-967, Sep. 2008.
- [14] Vrettos, E. I.; Papathanassiou, S. A.; "Operating Policy and Optimal Sizing of a High Penetration RES-BESS System for Small Isolated Grids," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 26, no. 3, pp. 744-756, Sep. 2011.
- [15] Zhao, B.; Zhang, X.; Chen, J.; Wang, C.; Guo, L.; "Operation Optimization of Standalone Microgrids Considering Lifetime Characteristics of Battery Energy Storage System," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 4, pp. 934-943, Oct. 2013.
- [16] Lujano-Rojas, J. M.; Monteiro, C.; Dufo-López, R.; Bernal-Agustín, J. L.; "Optimum load management strategy for wind/diesel/battery hybrid power systems," *Renew. Energy*, vol. 44, pp. 288-295, 2012.
- [17] Ohsawa, Y.; Emura, S.; Arai, K.; "Optimal operation of photovoltaic/diesel power generation system by neural network," in *[1993] Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems*, pp. 99-103.
- [18] Ipsakis, D.; Voutetakis, S.; Seferlis, P.; Stergiopoulos, F.; Elmasides, C.; "Power management strategies for a stand-alone power system using renewable energy sources and hydrogen storage," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 16, pp. 7081-7095, 2009.
- [19] Katiraei, F.; Abbey, C.; "Diesel Plant Sizing and Performance Analysis of a Remote Wind-Diesel Microgrid," in *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1-8, 2007.
- [20] Zhou, T.; Francois, B.; "Energy Management and Power Control of a Hybrid Active Wind Generator for Distributed Power Generation and Grid Integration," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 95-104, Jan. 2011.
- [21] Wang, J.; Yang, F.; "Optimal capacity allocation of standalone wind/solar/battery hybrid power system based on improved particle swarm optimisation algorithm," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 7, no. 5, pp. 443-448, Sep. 2013.
- [22] Kellogg, W. D.; Nehrir, M. H.; Venkataramanan, G.; Gerez, V.; "Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic, and hybrid wind/PV systems," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 13, no. 1, pp. 70-75, Mar. 1998.
- [23] Iverson, Z.; Achuthan, A.; Marzocca, P.; Aidun, D.; "Optimal design of hybrid renewable energy systems (HRES) using hydrogen storage technology for data center applications," *Renew. Energy*, vol. 52, pp. 79-87, 2013.
- [24] Prasad, A. R.; Natarajan, E.; "Optimization of integrated photovoltaic-wind power generation systems with battery storage," *Energy*, vol. 31, no. 12, pp. 1943-1954, 2006.
- [25] Kaabeche, A.; Ibtouen, R.; "Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery generation in a stand-alone power system," *Sol. Energy*, vol. 103, pp. 171-182, 2014.
- [26] Protogeropoulos, C.; Brinkworth, B. J.; Marshall, R. H.; "Sizing And Techno-Economical Optimization For Hybrid Solar Photovoltaic/Wind Power Systems With Battery Storage," *Int. J. Energy Res.*, vol. 21, no. 6, pp. 465-479, May 1997.
- [27] Feroldi, D.; Zumoffen, D.; "Sizing methodology for hybrid systems based on multiple renewable power sources integrated to the energy management strategy," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 16, pp. 8609-8620, 2014.
- [28] Koutroulis, E.; Kolokotsa, D.; Potirakis, A.; Kalaitzakis, K.; "Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms," *Sol. Energy*, vol. 80, no. 9, pp. 1072-1088, 2006.
- [29] Yang, H.; Wei, Z.; Chengzhi, L.; "Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar-wind power generation system," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 2, pp. 163-169, 2009.
- [30] Senjyu, T.; Hayashi, D.; Yona, A.; Urasaki, N.; Funabashi, T.; "Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 11, pp. 1917-1933, Sep. 2007.
- [31] Katsigiannis, Y. A.; Georgilakis, P. S.; Karapidakis, E. S.; "Hybrid Simulated Annealing-Tabu Search Method for Optimal Sizing of Autonomous Power Systems With Renewables," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 3, no. 3, pp. 330-338, Jul. 2012.
- [32] Seeling-Hochmuth, G. C.; "A combined optimisation concert for the design and operation strategy of hybrid-PV energy systems," *Sol. Energy*, vol. 61, no. 2, pp. 77-87, Aug. 1997.
- [33] Gilbert, M. M. *Renewable and efficient electric power systems*, 2004.