

طراحی بهینه سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی مستقل از شبکه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

امیر حسین شهیری نیا^۱ سید مسعود مقدس تفرشی^۱ امین حاجی زاده گسج^۱ علیرضا مقدم جو^۲
۱- دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استاد دانشکده برق دانشگاه ویسکانسین آمریکا، آمریکا

Abstract : The annals of history are replete challenges over which feelings have been widely ambivalent. Beyond any shadow of doubt clean and reasonable power production based on environmental problems and lack of fossil fuel sources is one of them. This essay takes an in-depth look at the result of an output simulation of a multi sources hybrid power system includes Wind, PV and Diesel generators to show the effectiveness of the proposed method. In this structure a battery bank used to save the excessive power generation by Wind and PV generators and the Diesel generator plays the role of supporter to enhance the network reliability. All of the shown results have been calculated by Genetic Algorithm-based developed software so called HPSD which abbreviates for Hybrid Power System Designer.

Key words: Distributed Generation, Stand-alone system, Genetic Algorithm, Hybrid energy system

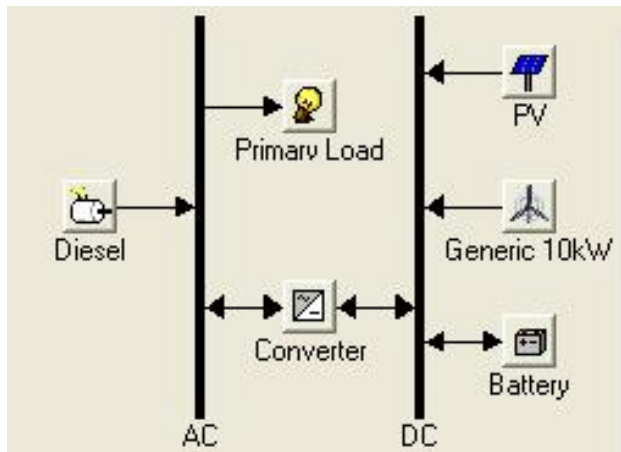
چکیده :

واژه های کلیدی:



۱- مقدمه

ساختارهای سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی بیان می گردد. سپس در بخش سوم، روابط اقتصادی و تابع هزینه مربوط به این



شکل (۱): ساختار کلی سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی

ساختار تشریح خواهد شد. در بخش چهارم، حل مسئله بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک توضیح داده خواهد شد. در نهایت نتایج شبیه سازی و نتیجه گیری ارائه می شود.

۲- زیر ساختارهای یک سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی

هر سیستم قدرت ترکیبی شامل، واحد منابع تجدیدپذیر، واحد پشتیبان، واحد ذخیره انرژی و واحد مرکزی می باشد. شکل (۱) ساختار کلی سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی را نمایش می دهد. اینک به بررسی مشخصات کلی هر یک از زیر سیستمها می پردازیم:

۲-۱- توربین بادی

توربینهای بادی در طول سالهای اخیر پیشرفت قابل ملاحظه ای داشته اند و بازده آنها حتی تا ۵۰٪ نیز افزایش یافته است (چندین سال قبل بازده توربینهای بادی بیشتر از ۱۵٪ نبوده است)؛ میزان تولید بسته به سرعت باد متغیر با زمان، توانی AC و منقطع تولید می کنند. شکل (۲) منحنی مشخصه تولید توربین بادی

افزایش هزینه و چالشهای اقتصادی ناشی از استفاده بی رویه سوختهای فسیلی باعث رویکرد بیشتر جهانیان به منابع انرژی تجدیدپذیر گردیده است. استفاده از منابع تولید انرژی خورشیدی و بادی به عنوان راهکاری مناسب جهت تامین انرژی الکتریکی در سیستم های قدرت رو به افزایش می باشد [۱،۲،۳].

امروزه در سراسر دنیا در حدود ۳۰۰۰۰ توربین بادی و بیش از ۱۰۰۰۰۰ سیستم خورشیدی منفصل از شبکه^۱ نصب گردیده است [۴]. سیستمهای قدرت ترکیبی شامل منابع تجدیدپذیر عموماً به سه دسته کلی تقسیم می شوند:

- سیستمهای قدرت مستقل^۲

شبکه قدرت محلی که به دلیل موقعیت جغرافیایی و دور بودن از شبکه عمومی، به دلیل غیر اقتصادی بودن کشیدن خط انتقال؛ یک سیستم کاملاً مستقل از شبکه می باشد.

اینگونه سیستمها عموماً شامل یک یا چند منبع انرژی تجدیدپذیر (بادی، خورشید، بیوماس و ...) می باشند که معروفترین و کارآمدترین آنها فتو ولتایی مستقل^۳ می باشد، سیستم قدرتی شامل یک یا چند منبع تولید انرژی خورشیدی می باشد.

- سیستمهای قدرت متصل به شبکه^۴

در این نوع سیستمهای قدرت از شبکه عمومی به عنوان پشتیبان استفاده می گردد. استفاده از این سیستمها برای مناطقی که پتانسیل تولید انرژی توسط یکی از منابع تجدیدپذیر را داشته باشد بسیار مناسب است.

- سیستمهای قدرت ترکیبی چند منبعی^۵

سیستمهای تولید انرژی الکتریکی با ترکیب چند منبع انرژی تجدیدپذیر راه حل مناسبی برای صرفه جویی در مصرف سوختهای فسیلی می باشد. منابع تجدیدپذیر منابعی طبیعی با کمترین آلاینده می باشند که بازگشت آنها نیز نهایتاً به خود طبیعت است.

در این مقاله طراحی بهینه سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی چند منبعی با الگوریتم ژنتیک ارائه می گردد. در بخش بعدی زیر

1. off-grid PV system
2. Stand-Alone
3. PV Stand-Alone
4. Connected-Grid
5. Multi Sources Hybrid Power System

باتریها زمان شارژ مجدد و عمر مفید آنها می باشد. در کل باتریهای مرسوم، به تنهایی قابلیت اطمینان بالایی ندارند و حداقل هر سال دو بار نیاز به بازدید و هر چهار تا دوازده سال نیاز به تعویض دارند[۶].

۲-۴- دیزل ژنراتور

سیستم قدرت ترکیبی عموماً دارای یک واحد پشتیبان برای پوشش بار در شرایط حساس و اضطراری^۸ می باشد. سیستمهای قدرت ترکیبی عمدتاً برای واحد پشتیبان از دیزل ژنراتور استفاده می کنند[۹].

از مزایای ژنراتور می توان به طراحی و عملکرد بسیار ساده آن اشاره کرد. در ضمن در صورت در دسترس بودن سوخت استفاده از دیزل بسیار اقتصادی بوده و نیز از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است. دیزل ژنراتورها دارای معایب زیر می باشند:

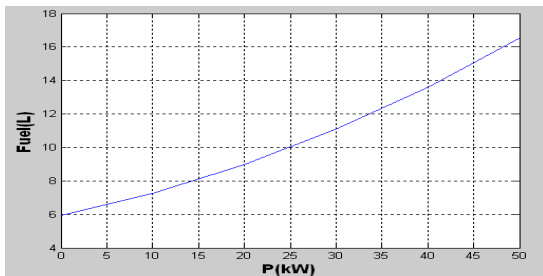
قابلیت انعطاف پذیری پایین و کمی برای جوابگویی به تغییرات تقاضا دارند.

بازده کل سیستم کم است.

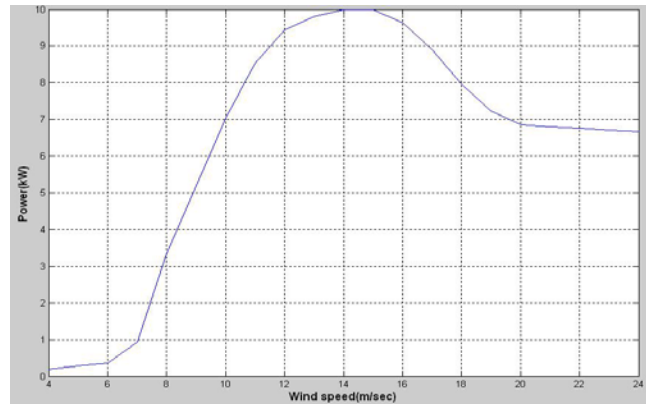
عملکرد آنها باعث تولید آلودگی زیاد می شود.

هزینه و سرمایه اصلی سوخت در برخی از نقاط توجه اقتصادی ندارد[۱۰].

در سیستمهای قدرت ترکیبی ایزوله و یا دور از شبکه، بهترین واحد پشتیبان دیزل ژنراتور می باشد. در اینگونه سیستمها دیزل صرفاً برای جبرانسازی بکار می رود. توان تولیدی دیزل ژنراتور به مقدار سوخت مصرفی بستگی دارد. شکل(۳) منحنی توان بر حسب مقدار سوخت مصرفی در یک دیزل ژنراتور [500kW] را نشان می دهد[۲].



شکل(۳) منحنی مصرف سوخت بر حسب توان در دیزل ژنراتور 500kW



شکل(۲): منحنی مشخصه توربین بادی 10kW
(توان بر حسب سرعت باد)

بر حسب سرعت باد مربوط به روتور [10kW] را نشان می دهد[۵].

۲-۲- آرایه های خورشیدی

روند استفاده از انرژی خورشیدی در طی سالهای اخیر رو به رشد و کاملاً تکاملی بوده است بگونه ای که امروزه تکنولوژیهای استفاده از انرژی خورشیدی بسیار پیشرفته و دارای بازدههای قابل قبول می باشد [۶،۷،۸].

توان سیستمهای خورشیدی به میزان تابش خورشید بستگی دارد. رابطه توان بر حسب تابش خورشید به صورت رابطه (۱) می باشد.

$$P = Ax^2 + Bx + C \quad (1)$$

که

x : تابش خورشید (وات بر متر مربع)

P : توان تولیدی (وات)

A, B, C و ضرایب ثابت می باشد [۲،۴].

۲-۳- باتری

یکی از عناصر کلاسیک و مرسوم ذخیره سازی انرژی باتریها هستند، که استفاده از آنها با شروع بکارگیری منابع تجدیدپذیر انرژی بیشتر شد.

عملکرد باتریها برای راه اندازی و یا مواقع اضطراری می باشد و توان تولیدی آنها DC با رنج ولتاژ پایین ۶ است که اخیراً بر روی رنج ولتاژ متوسط ۷ تحقیقاتی در حال انجام است. مشکل مرتبط با

6. Low Voltage

7. Medium Voltage

8. Emergency

۳- آنالیز اقتصادی و مدلسازی تابع هدف ۹

در این بخش به بررسی روابط اقتصادی و هزینه های حاکم بر منابع توان سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی می پردازیم. هزینه های موجود برای هر یک از منابع به چهار دسته زیر تقسیم می شود:

۱. هزینه سرمایه گذاری ۱۰

۲. هزینه جایگزینی ۱۱

۳. هزینه تعمیرات و نگهداری ۱۲

۴. هزینه سوخت ۱۳

برای طراحی بهینه سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی باید کل هزینه های سالیانه محاسبه گردد. هزینه های سالیانه بصورت مجموع هزینه سرمایه گذاری سالیانه، هزینه جایگزینی سالیانه، هزینه تعمیرات و نگهداری سالیانه و هزینه سوخت سالیانه (فقط برای دیزل ژنراتور) برای هر یک از منابع تعریف می شود. برای محاسبه هزینه ها با در دست داشتن طول عمر پروژه $(R_{proj}[yr])$ ، روابط زیر تعریف می گردد:

نرخ بهره (i)

$$i = \frac{(i' - f)}{(1 + f)} \quad (2)$$

که در آن i' ، نرخ بهره نامی، f ، نرخ تورم سالیانه می باشد.

فاکتور برگشت سرمایه با توجه به طول عمر پروژه $(CRF(i, R_{proj}))$

$$CRF(i, R_{proj}) = \frac{i(1+i)^{R_{proj}}}{(1+i)^{R_{proj}} - 1} \quad (3)$$

که R_{proj} ، طول عمر پروژه می باشد.

مدت زمان جایگزینی هزینه (R_{rep})

$$R_{rep} = R_{comp} \cdot INT\left(\frac{R_{proj}}{R_{comp}}\right) \quad (5)$$

که R_{comp} ، طول عمر هر یک از منابع می باشد.

باقیمانده طول عمر هر یک از منابع (R_{rem})

$$R_{rem} = R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep}) \quad (6)$$

فاکتور برگشت سرمایه ۱۶ با توجه به مدت زمان جایگزینی $(CRF(i, R_{rep}))$

$$CRF(i, R_{rep}) = \frac{i(1+i)^{R_{rep}}}{(1+i)^{R_{rep}} - 1} \quad (7)$$

فاکتور مرتبط با طول عمر (f_{rep})

$$f_{rep} = \begin{cases} \frac{CRF(i, R_{proj})}{CRF(i, R_{rep})}; R_{rep} > 0 \\ 0; R_{rep} < 0 \end{cases} \quad (8)$$

فاکتور استهلاک سرمایه با توجه به طول عمر منابع $(SFF(i, R_{comp}))$

$$SFF(i, R_{comp}) = \frac{i}{(1+i)^{R_{comp}} - 1} \quad (9)$$

اینک به بررسی هزینه های موجود می پردازیم:

هزینه سرمایه گذاری سالیانه (C_{acap})

$$C_{acap} = C_{cap} \cdot CRF(i, R_{proj}) \quad (10)$$

که در آن C_{cap} ، هزینه سرمایه گذاری اولیه مربوط هریک از منابع می باشد.

16. Capital recovery factor

9. Objective function

10. Capital cost

11. Replacement cost

12. Operation and maintenance cost

13. Fuel cost

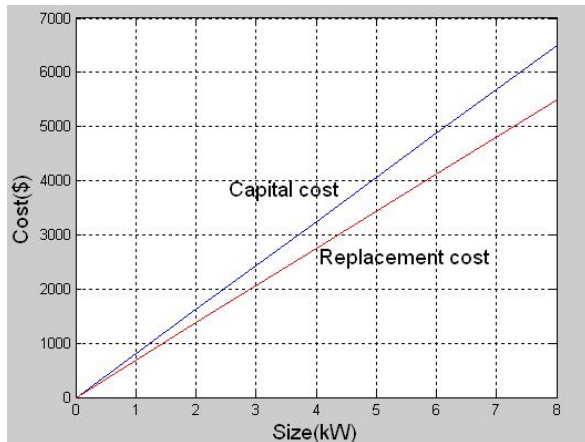
14. Interest rate

15. Capital recovery factor

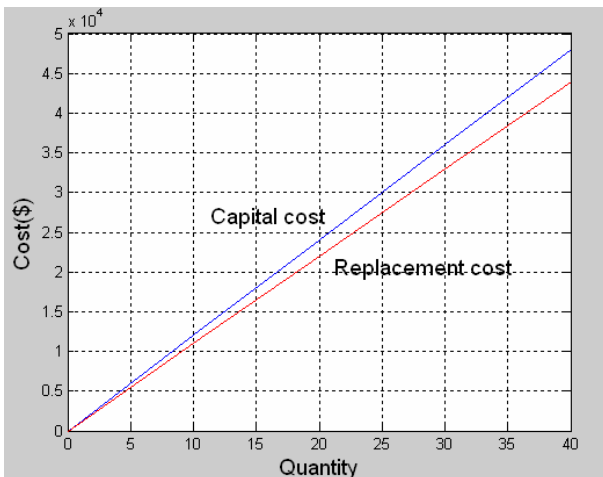
هزینه جایگزینی سالیانه (Carep)

$$C_{arep} = C_{rep} \left\{ f_{rep} \cdot SFF(i, R_{comp}) - \left(\frac{R_{rem}}{R_{comp}} \right) \cdot SFF(i, R_{proj}) \right\} \quad (11)$$

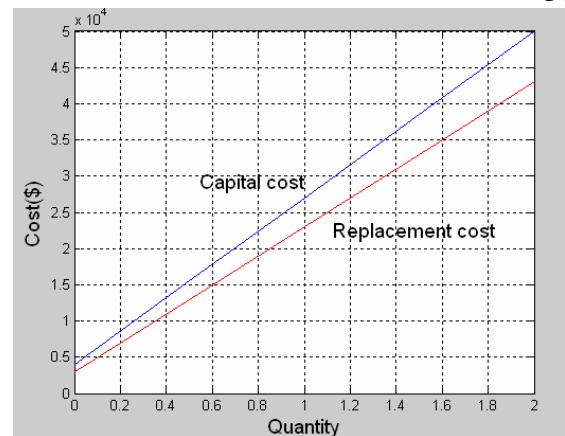
که در آن C_{rep} هزینه جایگزینی هر یک از منابع می باشد [۲، ۱۱، ۱۲]. در این مقاله از منحنیهای هزینه که در شکل‌های (۴)، (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده، برای محاسبه C_{rep} و C_{cap} مربوط به هریک از منابع بادی، آرایه های خورشیدی، دیزل ژنراتور و بانک باتری استفاده شده است [۲]. منحنی های هزینه برای منابع بادی و بانک باتری، بر حسب تعداد ماژولها می باشد در حالیکه برای دیزل ژنراتور و آرایه های خورشیدی بر حسب توان لحاظ شده است.



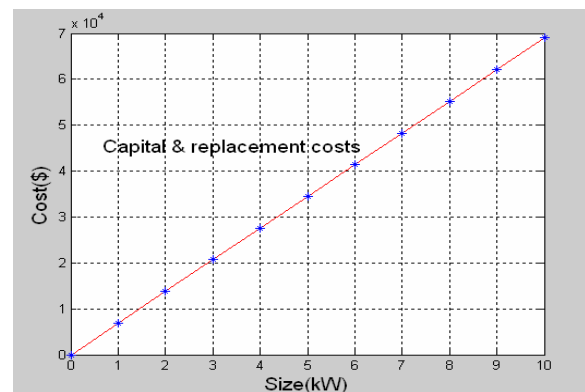
شکل (۶): منحنی هزینه برحسب توان دیزل ژنراتور



شکل (۷): منحنی هزینه برحسب تعداد ماژول بانک باتری



شکل (۴): منحنی هزینه برحسب تعداد ماژول بادی

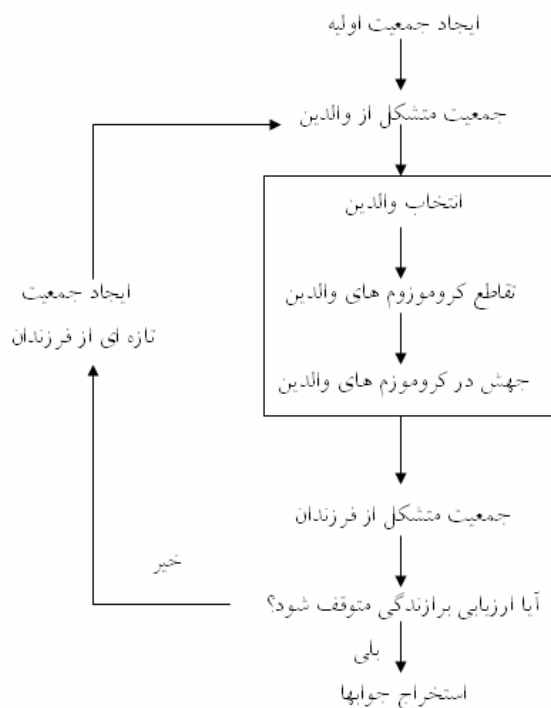


شکل (۵): منحنی هزینه برحسب توان آرایه خورشیدی

منحنی های هزینه هر یک از مولدها بصورت روابطی خطی، برای جلوگیری از پیچیدگی مسئله بهینه سازی، در نظر گرفته شده است. پس از تعریف هزینه های موجود، اینک به بررسی تابع هدف سیستم که در واقع کمینه سازی کلیه هزینه های موجود می باشد، می پردازیم. تابع هدف بصورت رابطه (۱۲) می باشد.

$$Cost = \sum_{i=1}^4 (C_{arep_i} + C_{acap_i} + C_{ao\&m_i} + C_{afuel_{dg}}) \quad (12)$$

که $C_{ao\&m}$ ، هزینه تعمیرات و نگهداری سالیانه بوده و مقدار آن ثابت می باشد. همچنین $C_{afuel_{dg}}$ هزینه سوخت مصرفی سالیانه دیزل ژنراتور بوده که براساس منحنی شکل (۳) می توان مقدار سوخت مصرفی را برحسب توان مورد نیاز محاسبه کرد و سپس هزینه سوخت مصرفی با توجه به قیمت واحد سوخت



شکل (۸): روند کلی حل مساله بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک

همانور که در شکل (۸) نشان داده شده است، عملگرهای الگوریتم ژنتیک، انتخاب، تقاطع و جهش می باشد. در روش ارائه شده، هر کروموزوم بصورت شکل (۹) انتخاب می شود. در این کروموزوم تعداد ماژولهای توربین بادی، باتری و آرایه های خورشیدی به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده است.

Nwind	NPV	Nbatt
-------	-----	-------

شکل (۹): کروموزوم روش ارائه شده

با توجه به اینکه روش کد گذاری ارائه شده دودویی بوده، هر یک از مقادیر N_{wind} ، NPV و N_{batt} با توجه به ماکزیمم توان درخواستی به رشته هایی از بیت های صفر و یک تبدیل می شوند. سپس براساس توان نامی هر یک از ماژولها، مقادیر توان منابع بادی، بانک باتری و آرایه های خورشیدی بدست می آید. توان دیزل ژنراتور نیز براساس رابطه (۱۹) محاسبه می شود.

$$P_{dg} = P_{req} - (P_{wind} + P_{pv} + P_{batt}) \quad (19)$$

در این مقاله عملگر انتخاب براساس روش چرخ رولت^{۱۷} و براساس میزان برآزش هر کروموزوم انجام می گردد. برازندگی^{۱۸}

بدست می آید. برای حل مساله بهینه سازی فوق، محدودیتهای ذیل لحاظ شده است:

$$P_{req} = P_{dg} + P_{wind} + P_{pv} + P_{batt} \quad (13)$$

$$P_{base} \leq P_{batt} \leq P_{req} \quad (14)$$

$$V_{CI} \leq V_{wind} \leq V_{CO} \quad (15)$$

$$0 \leq P_{pv} \leq P_{req} \quad (16)$$

$$0 \leq P_{dg} \leq P_{req} \quad (17)$$

$$0 \leq P_{wind} \leq P_{req} \quad (18)$$

در روابط (۱۳) تا (۱۸)، P_{req} ، ماکزیمم توان سالیانه که مبنای طراحی سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی جهت بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم می باشد. زیرا در این حالت بایستی تمامی منابع مولد انرژی بتوانند ماکزیمم توان سالیانه را تولید نمایند.

P_{base} ، توان پایه که بانک باتری باید توانایی تولید آنرا داشته باشد، که بر حسب نیاز متغیر می باشد.

V_{CI} ، سرعت قطع پایین توربین بادی، که زیر این سرعت نمی تواند تولید نماید.

V_{CO} ، سرعت قطع بالای توربین بادی که اگر سرعت باد بیش از این سرعت باشد، باعث آسیب دیدن توربین بادی می گردد و بنابراین باید تولید توربین بادی متوقف گردد.

باید توجه نمود که سرعت قطع بالا و پایین روتور بادی توسط کارخانه سازنده در اختیار قرار می گیرد.

۴- حل مساله بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

بسیاری از مسائل بهینه سازی در دنیای مهندسی، علی الخصوص سیستم های صنعتی از طبیعت پیچیده ای برخوردار هستند و حل آنها از روشهای معمولی امری دشوار و در پاره ای موارد لاینحل می باشد. اخیراً به الگوریتم ژنتیک به دلیل قابلیت بالای آن به عنوان یک روش بهینه سازی در حل مسائل پیچیده توجه شایانی شده است [۱۳، ۱۴]. از الگوریتم ژنتیک در مواردیکه بهینه مطلق مد نظر نباشد و نزدیک شدن به مجموعه نقاط بهینه کافی باشد، استفاده می گردد [۱۵]. شکل (۸) روند کلی حل یک مساله بهینه سازی با روش الگوریتم ژنتیک را نشان می دهد.

هر کروموزوم معکوس مقدار تابع هدف آن می باشد، که بصورت رابطه (۲۰) محاسبه می گردد.

$$Fitness_i = \frac{1}{Cost_i} \quad (20)$$

از عملگر تقاطع دونقطه ای^{۱۹} با احتمال جهش ۲۰ برابر با ۰/۲ برای هر کروموزوم استفاده شده است. استفاده از عملگر تقاطع دو نقطه ای جهت جلوگیری از انتخاب جوابهای محلی بهینه^{۲۱} می باشد.

قیدهای کلی در نظر گرفته شده برای سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی، محدودیتهای زیر نیز لحاظ گردیده است.

۱. دیزل ژنراتور روزانه بیش از ۹ ساعت تولید نداشته باشد.
۲. بانک باتری توانایی ذخیره سازی و تحویل انرژی به مدت ۱۲ ساعت در روز را دارد.
۳. تولید آرایه های خورشیدی از ساعت ۸ صبح تا ۶ بعد از ظهر امکان پذیر است.

جدول (۲): نتایج شبیه سازی با نرخ قیمت واحد سوخت 0.2[\$/Lit]

Nba tt	Np v	Nwi nd	ظرفیت بهینه دیزل ژنراتور [kW]	ظرفیت نهایی دیزل ژنراتور [kW]	هزینه [\$]
544	0	0	450	500	152180
544	0	1	410	500	158780
544	25 6	0	194	500	194380
544	0	32	130	500	204880

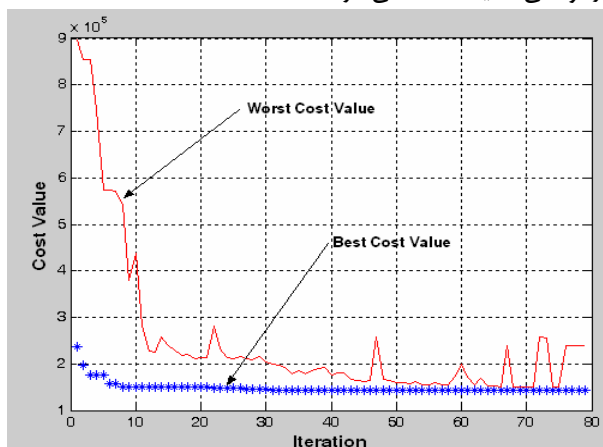
۵- نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی ارائه می گردد. اطلاعات لازم برای شبیه سازی از پایگاه اینترنتی مرکز تحقیقات بین المللی انرژی های نو^{۲۲} استخراج گردیده است [۱۶]. جدول (۱) اطلاعات لازم برای شبیه سازی را نشان می دهد.

جدول (۱): مشخصات منابع تولید توان

نوع منبع	مشخصات	طول عمر
Wind Turbine	10[kW],DC VCI =3[m/s],VCO= 15[m/s]	15[yr]
Photo Voltaic array	1[kW],DC	25[yr]
Diesel Generator	500[kW],AC	15000[hrs]
Battery	1165[Ah],6V,DC	12[yr]

شکل (۹) هزینه بهینه شده بر حسب تعداد تکرار با نرخ واحد سوخت 0.2[\$/Lit] را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، هزینه مبنای محاسبه شده، 1.4395×10^5 [\$] است، که براساس ظرفیت بهینه دیزل ژنراتور می باشد. حال برای حفظ قابلیت اطمینان شبکه، ظرفیت دیزل ژنراتور براساس توان بیشینه درخواستی سالیانه لحاظ می گردد.



شکل (۹): هزینه بهینه شده بر حسب تعداد تکرار با نرخ واحد سوخت 0.2[\$/Lit]

برای شبیه سازی، پیک مصرف توان سالیانه به عنوان معیار برای طراحی و جهت بالابردن قابلیت اطمینان در نظر گرفته شده است. در اینجا، توان در خواستی 500 [kW] و توان پایه 50 [kW] در نظر گرفته شده است. در جدول (۲) نتایج شبیه سازی با نرخ قیمت واحد سوخت 0.2[\$/Lit] نشان داده شده است. علاوه بر

18. Fitness
19. Two cut-point crossover
20. Mutation probability
21. Local optimum
22. National Renewable Energy Laboratory (NREL)

افزایش قیمت واحد سوخت، هزینه افزایش یافته است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید برای طراحی بهینه سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی چند منبعی مستقل از شبکه ارائه شده است. کلیه روابط اقتصادی حاکم بر سیستم بیان گردیده و بر مبنای آن تابع هزینه با هدف کاهش مصرف سوخت و تقلیل هزینه ها، بهینه گردیده است.

نتایج شبیه سازی ارائه شده گویای این واقعیت می باشد که الگوریتم بهینه سازی پیشنهاد شده توانسته است به میزان قابل توجهی موجب کاهش هزینه ها گردد.

مراجع

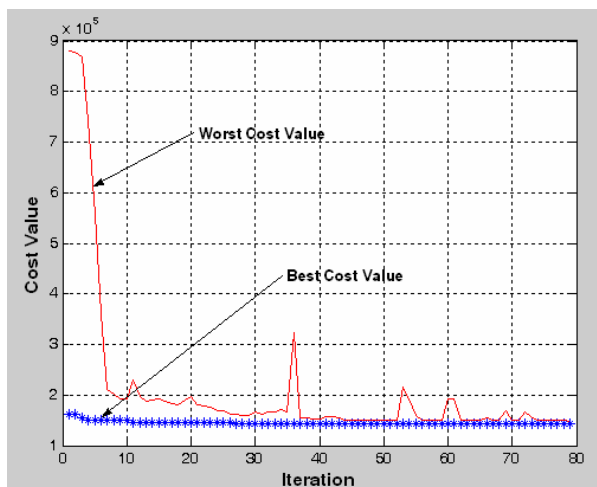
- [2]Munkund R. Patel, Ph.D., P.E , " Wind and Solar Power Systems" 1999
- [3]Wolfgang Schmitt,"Modeling and Simulation of Photovoltaic hybrid energy systems optimisation of sizing and control" 2002 IEEE
- [4]J.Bhagwan Reddy, D.N.Reddy, "Probabilistic Performance Assessment of a Roof Top Wind, Solar Photovoltaic Hybrid Energy System" 2004 IEEE
- [5] Bergey Windpower, www.bergey.com
- [6]Ahmad Zahedi, SMIEEE, WREN, "Performance Prediction of Photovoltaic Hybrid Power Systems" 2001 IEEE
- [7]Eric W. Smiley, John D. Jones , "Optimizing Photovoltaic Array Size in a Hybrid Power System" 2000 IEEE
- [8]Ai Bin, Yang Hongxing, Shen Hui, Liao Xianbo, "Computer Aided Design for PV/WIND Hybrid system", 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, May 11-18, 2003 Osaka, Japan
- [9]K.E. Yeager, J.R. Willis, "Modeling of Emergency Diesel Generators in an 800 Megawatt Nuclear Power Plant" IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 8, No. 3, September 1993
- [10]Stanley R. Shilling, "Electrical Transient Stability and Underfrequency Load Shedding Analysis for a Large Pump Station" IEEE

اختلاف هزینه سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی براساس ظرفیت بهینه دیزل ژنراتور و ظرفیت نهایی دیزل ژنراتور در جدول (۲) منعکس گردیده است. جدول (۳) نتایج شبیه سازی با نرخ قیمت واحد سوخت $0.5[\$/Lit]$ نشان داده شده است.

جدول (۳): نتایج شبیه سازی با نرخ قیمت واحد سوخت $0.5[\$/Lit]$

Nba tt	Np v	Nwi nd	ظرفیت بهینه دیزل ژنراتور [kW]	ظرفیت نهایی دیزل ژنراتور [kW]	هزینه [\$]
544	1	0	449	500	15250 8
544	0	4	410	500	15894 9
544	17	4	393	500	16175 6
544	1	21	239	500	18715 5

با مقایسه نتایج شبیه سازی شده جداول (۱) و (۲)، در می یابیم که با افزایش قیمت واحد سوخت، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر افزایش یافته است. شکل (۱۰) هزینه بهینه شده بر حسب تعداد تکرار با قیمت واحد سوخت $0.5[\$/Lit]$ را نشان می دهد. هزینه مبنا محاسبه شده، $1.4408 \times 10^5[\$]$ می باشد که با



شکل (۱۰): هزینه بهینه شده بر حسب تعداد تکرار با نرخ واحد سوخت $0.5[\$/Lit]$

Transactions on INDUSTRY APPLICATIONS,
Vol. 33, No.1 , Jan 1197

[11]D. Thirault, Y.Besanger, N. Hadjsaid,
"Ecoelectrify A tool to design electric
distribution systems for rural areas in developing
countries" 2003 IEEE

[12]Chun Che FUNG, Waraporn
rattanongphisat, Chem nayar, "A simulation
study on the economic aspect of hybrid energy
systems for remote islands in Thailand" 2002
IEEE

[13]Goldberg, "GA in search, optimization and
machine learning" 1989

[14]Michalewicy, " GA and Data Structure,
evaluation Programs" 1996

[15]Gen, "GA and Engineering Design" 2000

[16]National Renewable Energy Laboratory,
www.nrel.com

