

سایزینگ بهینه سیستم هیبرید بادی و خورشیدی متصل به شبکه بدون ذخیره ساز انرژی با استفاده از روش جستجوی

گسسته هارمونی

سارا سیاوشی¹، اسدالله کاظمی²

1- کارشناس ارشد - قدرت موسسه آموزش عالی کاوش - محمودآباد Siavoshi_sara@yahoo.com

2- استادیار موسسه آموزش عالی کاوش - محمودآباد asadollahk@yahoo.cim

چکیده - در این مقاله، سایزینگ بهینه یک سیستم هیبریدی باد-خورشید متصل به شبکه در قالب سه سناریو توسط الگوریتم جستجوی گسسته هارمونی (DHS) مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از بهینه سازی، کاهش تلفات و همچنین بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه ها است. در این راستا، با در نظر گرفتن یک تابع هدف با ضرایب وزنی هر دو، تابع هدف بطور همزمان حداقل شده اند. برای درستی روش پیشنهادی، نتایج الگوریتم DHS را با الگوریتم PSO مقایسه شد. نتایج نشان می دهد که روش DHS در حداقل کردن توابع هدف بهتر از الگوریتم PSO عمل می کند.

واژگان کلیدی - تولیدات پراکنده، سیستم هیبرید، تلفات انرژی، قابلیت اطمینان، روش جستجوی گسسته هارمونی (DHS)

1- مقدمه

طی سالیان اخیر تکنولوژی های انرژی های تجدیدپذیر نظیر باد و خورشید از رشد چشمگیری برخوردار بوده اند و از آن ها می توان به عنوان تولیدات پراکنده در نزدیکی مراکز مصرف به منظور حذف خطوط انتقال ولتاژ بالا استفاده نمود [3-4]. تولید پراکنده در واقع یک منبع تولید انرژی الکتریکی است که قابلیت اتصال مستقیم به سمت مصرف کننده یا شبکه توزیع را دارد. گروهی از سیستم های تولید برق که از منابع مختلف انرژی تغذیه می شوند و به صورت ترکیبی و مکمل با یکدیگر کار می کنند، به عنوان سیستم های هیبرید شناخته می شوند [5]. از آنجا که این سیستم ها از دو یا چند منبع مختلف انرژی تغذیه می شوند، در مقایسه با سیستم هایی که یک منبع برای تولید برق دارند از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار هستند. خورشید و

امروزه، تأمین انرژی مورد نیاز بشر و نگرانی در مورد تداوم تأمین آن، از اهمیت خاصی برخوردار است. با توسعه صنعتی جهان و تقاضای روزافزون انرژی از یک سو و محدود بودن و لزوم حفظ منابع سوخت های فسیلی برای نسل های آتی و جلوگیری از خسارات زیست محیطی ناشی از سوختن آنها از دیگر سوی، راهی جز روی آوردن به استفاده از انرژی های تجدیدپذیر نظیر خورشید و باد را باقی نگذاشته است [1-2]. در حال حاضر، استفاده از این منابع انرژی در جایگزینی با انرژی های فسیلی با توجه به ویژگی های زیست محیطی و اقتصادی آنها یکی از دغدغه های سیاستگذاران بخش انرژی است. در

به منابع اولیه انرژی های تجدید پذیر اشاره کرد.[11] یکی از مهمترین اهداف استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر، کاهش هزینه ها می باشد. استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر جهت تامین برق مصرفی بارهای پراکنده و دور از شبکه در مناطق دور افتاده، راهکار مناسبی برای کاهش هزینه های اقتصادی ناشی از گسترش و انتقال خطوط شبکه، کاهش آلودگی های زیست محیطی و افزایش بهره‌وری انرژی می باشد[12-13]. از جمله مزایای منابع انرژی تجدید پذیر می توان به موارد زیر اشاره کرد:

منابع انرژی تجدید پذیر عمر طولانی و چرخه‌های طبیعی دارند برخلاف انرژی های تجدید ناپذیر (سوخت های فسیلی) که رو به پایان هستند. منابع انرژی تجدید پذیر نظیر انرژی تابش خورشید و باد، به دلیل رایگان بودن و فراوانی و امکانات مناسب جغرافیایی دارای قابلیت های بالایی در تولید برق می- باشند[14]. بوسیله منابع انرژی تجدید پذیر به راحتی می توان در هر نقطه و محل متناسب با شرایط جغرافیایی اقدام به تولید نمود. مهمترین منابع تولید پراکنده بر پایه انرژی های تجدید پذیر آرایه های خورشیدی² و توربین های بادی³ می باشند. آرایه های خورشیدی و توربین های بادی در سالهای اخیر گسترش تجاری روز افزونی یافته اند. آرایه های خورشیدی و توربین های بادی به ترتیب انرژی تابشی خورشید و سرعت وزش باد را به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و میزان انرژی تولیدی آن با توجه به شرایط آب و هوایی، از جمله میزان تابش خورشید و سرعت وزش باد، تغییر می کند به نحوی که انرژی تولیدی این منابع غیر قابل پیش بینی است.[15] استفاده از فن آوری تولیدات پراکنده برای تولید برق، یکی از راههایی است که اکنون برای پوشش چالش های پیش رو به ویژه دغدغه های زیست محیطی پیشنهاد می شود. محدودیت سوخت های فسیلی و آلودگی هوا از مشوق های اصلی گسترش این فناوری است[16]. تولید برق در نزدیکی محل مصرف، علاوه بر کاهش تلفات در سیستم، می تواند انعطاف بیشتری برای ارائه خدمات گوناگون به مصرف- کنندگان پدید آورد. از طرف دیگر تولید پراکنده انرژی، قابلیت اطمینان بیشتر و کاهش ضررهای ناشی از قطع ناگهانی برق را

باد یکی از عمومی ترین این منابع انرژی می باشند. هیبرید سیستم های فتوولتائیک و توربین بادی می تواند به طور وسیع و مناسبی نیازهای شبکه را تأمین نماید. اما باید این سیستم ها را از لحاظ تولید برق مقاوم تر و انعطاف پذیرتر نمود[6]. یک راه حل برای این نیاز طراحی بهینه سیستم های انرژی ترکیبی خورشیدی و بادی می باشد، خصوصا زمانی که متصل به شبکه و بدون ذخیره ساز انرژی است. در این حالت شبکه به عنوان یک منبع کمکی، زمانی که سیستم هیبرید نتواند انرژی مورد نیاز را تامین کند وارد عمل می شود[7-8]. به این ترتیب زمانی که باد یا خورشید نتوانند انرژی مورد نیاز بار را تحویل دهند، دیزل ژنراتورها راه حل مناسبی برای تامین انرژی می باشند. از جمله مهمترین مسائل در طراحی اینگونه سیستم ها تامین مطمئن بار در ریزش شبکه ها در شرایط جوی مختلف می باشد، که به عنوان قید اصلی مسئله در نظر گرفته می شود. هدف ما در این تحقیق انتخاب نوع و تعداد تجهیزات مورد نیاز جهت تامین بار با کمترین هزینه ممکن می باشد. با توجه به ماهیت مدل سیستم هیبرید خورشیدی بادی پارامترهای متغیر مسئله شامل نوع و تعداد سلول های خورشیدی و نوع و تعداد نیروگاه های بادی می باشد. سایر پارامترهای تحقیق نظیر داده های بادسنجی، داده های تابش خورشید، میزان بار درخواستی و سایر اطلاعات به صورت داده های ورودی به مسئله اعمال می گردند[9-10]. در سال های اخیر استفاده از الگوریتم های هوشمند به طور چشمگیری در مسائل بهینه سازی گسترش یافته است.

پیش بینی ها نشان می دهد علیرغم اینکه انرژی های تجدید پذیر دارای محاسن فراوانی نسبت به منابع فسیلی می باشند، طی دو دهه آینده رشد استفاده از انرژی های فسیلی نسبت به انرژی های تجدید پذیر بیشتر خواهد بود. قیمت تمام شده کمتر تولید انرژی الکتریسیته با استفاده از سوخت های فسیلی به نسبت انرژی های تجدید پذیر مهمترین دلیل برای توجیه این مطلب می باشد و همینطور می توان به قابلیت اطمینان¹ بالاتر انرژی های تجدید ناپذیر، با فرض در دسترس بودن سوخت نیروگاه های فسیلی در مقابل غیر قابل پیش بینی بودن زمان و مقدار دسترسی

³ - Wind Turbine

¹ - Reliability

² - Solar Array

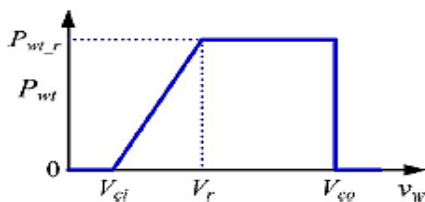
به دنبال خواهد داشت. به منظور افزایش توانایی فنی و اقتصادی سیستم‌های DG و همچنین پاسخ به نیاز قابلیت اطمینان⁴ بالا و کیفیت توان مناسب بار، مفهومی تحت عنوان ریزشبهه یا میکروگرید⁵ مطرح شده است. [17-18] یکی از دیدگاه‌هایی که برای افزایش مؤثر مشارکت این منابع پیشنهاد می‌شود، جمع‌آوری این منابع با اهداف رویت‌پذیری، ارتباط مناسب میان این منابع و شبکه برق و همچنین کنترل هر چه کارتر این منابع است. یکی از روش‌های جمع‌آوری منابع تولید پراکنده، مفهومی نوین به نام ریزشبهه است. ریزشبهه‌ها، شبکه‌های توزیع فعال ولتاژ پایین و یا ولتاژ متوسطی هستند که از مجموعه‌ای متشکل از بارها، منابع تولید پراکنده و ادوات کنترلی تشکیل شده‌اند. به دلیل استقلال در بهره‌برداری، این شبکه‌ها می‌توانند از شبکه اصلی جدا شده و به صورت جزیره‌ای بهره‌برداری شوند. در واقع هدف عمده شکل‌گیری این شبکه‌ها مسائل فنی مرتبط با افزایش قابلیت اطمینان و کیفیت برق تحویلی به مصرف‌کنندگان است [19]. از این رو ریزشبهه از دید شبکه‌های بالادست یک عنصر با ویژگی دو گانه است که گاهی بار و گاهی منبع تولید تلقی می‌شود. استقلال در بهره‌برداری از ویژگی‌های اصلی ریزشبهه‌ها است. وظایفی را متوجه بهره‌بردار ریزشبهه می‌کند. بهره‌بردار ریزشبهه موظف به حفظ امنیت این شبکه‌ها و تأمین خدمات جانبی مورد نیاز برای بهره‌برداری ایمن از آن‌ها است. از طرف دیگر باید مشوق‌های لازم از دیدگاه اقتصادی برای منابع تولید انرژی ایجاد گردد که چنین شبکه‌هایی با نفوذ بالای منابع تولید پراکنده، قابلیت تشکیل داشته باشند. [20] باید توجه داشت که شرکت منابع تولید پراکنده به صورت انفرادی در بازارهای برق و خدمات جانبی مرتبط، محدودیت‌هایی به لحاظ اقتصادی و فنی ایجاد می‌کند که با جمع‌آوری آن‌ها در ریزشبهه، این محدودیت‌ها تا حدودی مرتفع می‌شود. با این دیدگاه بهره‌بردارهای ریزشبهه موظف به اجرای مجموعه وظایفی هستند که ضمن تضمین امنیت سیستم، رضایت را برای اعضای شبکه خود به همراه آورند. به این منظور باید برنامه‌ریزی با هدف رضایت منابع و بارهای کل سیستم تحت کنترل خود را با در نظر گرفتن تمامی قیود فنی و اقتصادی و همچنین ارتباط بالقوه

با بازارهای بالادست را به اجرا بگذارند. در سیستم‌های انرژی جدید مبتنی بر این تحقیقات، به دلیل نزدیک‌تر شدن منابع انرژی به مصرف‌کننده، تلفات توان کاهش قابل توجه‌ای یافته است. در زمینه سیستم‌های ترکیبی شامل منابع تجدیدپذیر انرژی، مطالعات بسیاری انجام شده است. طراحی بهینه سیستم‌های ترکیبی عبارتی تعیین ظرفیت بهینه تجهیزات سیستم، با منابع انرژی و استراتژی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. طراحی این سیستم‌ها بیشتر از دید اقتصادی، کاهش هزینه‌های تولید انرژی و افزایش قابلیت تأمین بار انجام شده است. استفاده از الگوریتم‌های هوشمند بهینه‌سازی نیز هدف تعدادی از مطالعات بوده و روز به روز از الگوریتم‌های جدیدتری با قدرت محاسباتی بالا برای بهینه‌سازی سیستم ترکیبی استفاده می‌شود. در این مقاله روش پیشنهادی برای کاهش هزینه‌ها و ثابت نگه داشتن قابلیت اطمینان سیستم توسط الگوریتم جستجوی گسسته هارمونی بررسی شده است [21]. از طرفی مفاهیم قابلیت اطمینان در رابطه با حالت‌های عملکردی تجهیزات سیستم ترکیبی شامل منابع تولید کننده انرژی، در بهینه‌سازی این نوع سیستم‌ها کمتر لحاظ شده است. به عبارتی مطالعات چندانی در رابطه با اثر میزان دردسترس بودن یا دسترس پذیری منابع تولید کننده انرژی در بهینه‌سازی سیستم‌های ترکیبی خورشیدی و بادی انجام نشده است. در این مقاله سناریوهای مختلفی که محققان و دانشمندان دیگر بررسی کرده‌اند با اطلاعات ورودی ما مورد تحقیق و شبیه‌سازی قرار گرفته، یکی از محققان این فن، گروه یانیه از چیلی، که تحقیقاتی درباره‌ی تعداد و قابلیت اطمینان سیستم هیبریدی بادی و خورشید در سال 2013 انجام داده‌اند، اندازه‌گیری بهینه یک سیستم هیبریدی متصل به شبکه بوده که با فروش انرژی مازاد تولید شده به شبکه توانسته‌اند هزینه‌های کلی سیستم را پایین آورند، روش یانیه توسط هومر شبیه‌سازی شده و به نتایج مطلوب رسیده است [1]. در سال 2013 در دانشگاه اصفهان توسط الگوریتم ژنتیک (GA) بهینه‌سازی سیستم هیبریدی نیز مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاکی از آن بوده که سیستم فتووالتامیک با توجه به پتانسیل تابشی منطقه مورد نظر از نتایج مطلوبی برخوردار بوده [22]. الگوریتم

⁴ Reliability⁵ Micro grid

$$P_{wt-Each}^t = \begin{cases} 0 & v_w < V_{ci} \text{ or } v_w > V_{co} \\ P_{wt-r} \frac{v_w - V_{ci}}{v_r - V_{ci}} & V_{ci} < v_w < V_r \\ P_{wt-r} & V_r < v_w < V_{co} \end{cases} \quad (3)$$

در رابطه (3)، $P_{wt-Each}^t$ توان تولید شده توسط هر توربین بادی بر حسب کیلوولت، v_w سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه، V_r سرعت نامی باد بر حسب متر بر ثانیه، V_{ci} و V_{co} به ترتیب سرعت‌های قطع پایین و قطع بالا توربین بادی بر حسب متر بر ثانیه می‌باشند. اگر P_{wt-r} به عنوان توان خروجی نامی توربین بادی بر حسب کیلوولت و N_{wt} به عنوان تعداد توربین‌های بادی در نظر گرفته شوند. می‌توان مدل توان خروجی یک توربین بادی را به صورت شکل (1) نشان داد:



شکل (1): توان توربین بادی

توان تولیدی توسط کل توربین‌های بادی توسط چند توربین بادی در یک مزرعه را به صورت رابطه (4) محاسبه می‌شود:

$$P_{wt}^t = N_{wt} \times P_{wt-Each}^t \quad (4)$$

$$Pr = \frac{1}{2} \rho_a C_p \eta_g \eta_r A_w V_r^3 \quad (5)$$

در رابطه (5) سنجش قدرت (توان) ژنراتورهای بادی ذکر شده است که در آن C_p ضریب همبستگی توان، ρ_a چگالی هوا، η_g راندمان ژنراتور، η_r راندمان توربین، A_w مساحت سطح مقطع، V_r سرعت نامی می‌باشند. در نتیجه انرژی تولید شده طبق رابطه (6) بدست می‌آید:

$$E_w(t) = p_w(t), \text{enkwh} \quad (6)$$

بهینه‌سازی اجتماع ذرات یکی دیگر از الگوریتم‌هایی بوده است که از سال 1995 توسط کندهی و ابره‌ه‌ارت توسعه یافته است در تحقیقات بدست آمده توسط این الگوریتم نتایج مطلوبی در استفاده هیبریدی سیستم بدست آمده است. از الگوریتم‌های دیگری که مورد بررسی قرار گرفته، الگوریتم جستجوی گسسته هارمونی (DHS) برای بهینه‌سازی ذرات بوده که به مراتب نتایج مطلوبتری برای بهینه‌سازی سیستم هیبریدی متشکل از پنل خورشیدی و توربین بادی و شبکه‌ارایه کرده است.

2- مدل‌سازی مسئله

سیستم مورد مطالعه در این مقاله، سیستم هیبرید خورشیدی - بادی می‌باشد که به شبکه سراسری برق متصل است و با آن تبادل انرژی دارد. بدین منظور بایستی مدلی مناسب برای توان خروجی پانل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی در نظر گرفته شود. توان پانل‌های خورشیدی تابعی از میزان تابش، سطح مقطع و راندمان پانل می‌باشد. در نتیجه توان و انرژی آن را می‌توان به ترتیب توسط روابط (1) و (2) محاسبه کرد:

$$P_{pv}(t) = R(t) \eta_{pv} A_{pv} \quad (1)$$

$$E_{PV(t)} = P_{pv}(t) \times t \quad (2)$$

که در رابطه‌های (1) و (2) به ترتیب توان تولیدی پانل خورشیدی $P_{pv}(t)$ بر حسب KW، مقدار تابش $R(t)$ در هر زمان (KW/M^2) و η_{pv} راندمان پانل خورشیدی و A مساحت کلی سطح مقطع پانل (مترمربع) می‌باشد و انرژی تولید شده ساعتی (E) بر حسب kwh برابر توان تولیدی پانل می‌باشد.

توان توربین‌های بادی نیز وابسته به سرعت باد در آن منطقه می‌باشد. برای توربین‌های بادی سه سرعت قطع پایین، سرعت نامی و سرعت قطع بالا در نظر گرفته می‌شود. اگر سرعت باد کمتر از سرعت قطع پایین و یا بیشتر از سرعت قطع بالای توربین مورد نظر باشد توان خروجی آن صفر خواهد شد و در غیر این صورت توان آن توسط رابطه (3) محاسبه می‌شود:

3-1- هزینه پانل فتوولتائیک

برای پانل خورشیدی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه تعمیر و نگهداری در نظر گرفته شده است که به ترتیب توسط روابط (3) و (4) محاسبه می‌شوند و هزینه‌ای از بابت تعویض برای آن در نظر گرفته نشده است. زیرا طول عمر سیستم هیبرید مورد مطالعه برابر با طول عمر ماژول خورشیدی و برابر با 25 سال فرض شده است.

$$I_{PV} = \alpha_{PV} A_{PV} = C_1 A_{PV} \quad (9)$$

که در رابطه فوق؛ A مساحت سطح مقطع پانل (مترمربع) و α هزینه سرمایه‌گذاری اولیه پانل ($\$/m^2/year$)، طول عمر پانل خورشیدی برابر طول عمر دستگاه ($N = L_{PV}$) می‌باشد، بنابراین هزینه تعویض برابر صفر است ($R_{PV} = 0$).

با عملکرد سالیانه سیستم هزینه کلی تعمیر و نگهداری در هر سال برابر، $OM_{PV} = \alpha_{OMPV} A_{PV}$ که α_{OMPV} هزینه اولیه تعمیر و نگهداری ($\$/m^2$) و A مساحت سطح مقطع (M^2) می‌باشد. بنابراین مجموع هزینه‌های تعمیر و نگهداری عضوها با هزینه کلی زیر بیان می‌شود:

$$OM_{PV} = \alpha_{OMPV} A_{PV} \sum_{k=1}^N \left(\frac{1 + \varepsilon_{PV}}{1 + r} \right)^k = C_2 A_{PV} \quad (10)$$

در رابطه (4)، ε_{PV} نرخ خرابی پانل و r نرخ انگیزه می‌باشد، اما درآمد حاصل از فروش مجدد پانل‌های خورشیدی توسط رابطه (5) محاسبه می‌شود.

$$S_{PV} (\$/m^2) = S_{PV} A_{PV} \left(\frac{1 + \delta}{1 + r} \right)^N = C_3 A_{PV} \quad (11)$$

که در رابطه فوق S_{PV} درآمد حاصل از فروش خود پانل و δ نرخ تورم تا سال N ام و r نرخ انگیزه می‌باشد ($N=25$)

3-2- هزینه توربین بادی

برای توربین‌های بادی نیز هزینه‌ها و درآمد محاسبه شده است که در ادامه به بررسی روابط مربوط به آن پرداخته شده است. مقدار هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تعویض توربین‌های بادی توسط رابطه (6) محاسبه می‌شود:

3- تابع هدف و محدودیت‌ها

به منظور بهینه‌سازی واحدهای تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، لازم است که تابع هدف مناسبی انتخاب شود تا سیستم بتواند مناسبترین تعداد پانل‌های خورشیدی و سیستم‌های بادی را با توجه به قابلیت اطمینان مناسب به ما ارایه دهد در نتیجه در اینجا هدف اقتصادی کم کردن هزینه کلی سیستم است. هزینه کلی سیستم (کمترین هزینه که تابع هدف ماست) بستگی دارد به مجموع هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه شبکه از تمام هزینه‌های عملکردی و اصلی که وجود دارد، که شامل تعویض هر عضو بعلاوه انرژی که از شبکه خریداری و انرژی مازادی که به شبکه فروخته می‌شود. بنابراین تابع هدف اینگونه توضیح داده می‌شود:

$$\min C_T = \sum_{i \in PV, W} (I_i + R_i + OM_i - S_i) + P_b C_a - P_s I_a \quad (7)$$

در رابطه (7)، I_i ، هزینه سرمایه‌گذاری، R_i ، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه اجزا و OM_i ، هزینه تعمیر و نگهداری اجزا و S_i ، هزینه فروش مجدد اجزا و $P_b C_a$ ، هزینه خرید توان از شبکه و $P_s I_a$ ، درآمد حاصل از فروش برق به شبکه می‌باشد. محدودیت دیگری از مسئله، اطمینان از تقاضایی که برطبق سطح قابلیت اطمینان سیستم مطرح می‌شود. به عنوان شاخص، احتمال از دست دادن منبع تغذیه (LPSP) مورد استفاده قرار دادیم، قید LPSP سیستم انرژی هیبریدی باد-خورشید پیشنهاد شده قابلیت اطمینان ماست که در طول دوره زمانی T ، عملکرد سیستم ما نباید از مقدار تعیین شده قید قابلیت اطمینان (LPSP) ما تجاوز کند (که به تقاضای انرژی طبیعی بستگی دارد) که در مطالعه ما حداکثر به 2٪ بستگی دارد، این محدودیت انرژی اینگونه تعریف می‌شود:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T P_{deficit}(t) \cdot \Delta t}{\sum_{t=1}^T P_{demand}(t) \cdot \Delta t} \leq \overline{LPSP} \quad (8)$$

اندازه سیستم (سیستم هیبریدی باد/خورشید که در کنار شبکه مسئولیت تامین انرژی را دارد) دارد به عبارتی وابسته به المان‌های سیستم هیبریدی (مساحت سطح مقطع پانل‌ها و توربین های بادی، مقدار تابش خورشید (R) و سرعت باد (V)) که در منطقه مورد نظر موجوداند می‌باشد.

رابطه (16) مجموع هرساله‌ی انرژی الکتریکی خریداری شده از شبکه را نشان می‌دهد، که در آن P_b توان شبکه و C_a هزینه توان الکتریکی خریداری شده از شبکه و δ نرخ تورم و Γ نرخ انگیزه از سال اول تا سال Nام می‌باشد.

$$P_b \square C_a = C_a \square \sum_{k=1}^N \left(\frac{1+\sigma}{1+r} \right)^k = C_7 \square C_a \quad (16)$$

درآمد حاصل از فروش برق به شبکه از رابطه $I_a = P_S \square E_S$ بدست می‌آید که در آن مقدار انرژی سالیانه ای که به شبکه برمیگردد $P_S (\$/kwh)$ و انرژی سالیانه فروخته شده E_S (kwh) می‌باشند. که به طور کلی مجموع انرژی فروخته شده به شبکه از سال اول تا سال Nام برابر:

$$P_S \square I_a = I_a \square \sum_{k=1}^N \left(\frac{1+\sigma}{1+r} \right)^k = c_8 \square I_a \quad (17)$$

δ نرخ تورم و Γ نرخ انگیزه از سال اول تا سال Nام می‌باشد.

4- قابلیت اطمینان سیستم

در این مقاله قید قابلیت اطمینان LPSP به عنوان یک محدودیت در طراحی بهینه سیستم مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گرفته است. در محاسبه این قید قابلیت اطمینان ابتدا اطلاعات و متغیرهای اولیه را وارد میکنیم سپس مقدار تابش خورشید سرعت باد و توان تقاضا شده را فراخوانی میکنیم توان تولید شده توسط آرایه های خورشیدی و ژنراتورهای بادی تخمین زده می‌شود سپس محاسبه توان کل تولیدی توسط سیستم هیبریدی محاسبه می‌شود. مقدار انرژی ساعتی تولیدشده توسط پانل خورشیدی و توربین بادی طبق رابطه (18) بدست می‌آیند.

$$I_w + R_{pw} = \alpha_w \square A_w \square \sum_{k=1}^N \left(\frac{1+\varepsilon_w}{1+r} \right)^k = C_4 \square A_w \quad (12)$$

که در رابطه فوق Γ نرخ انگیزه و $X_w = \frac{N}{L_w}$ طول عمر توربین بادی می‌باشد، طول عمر توربین های بادی معمولاً کمتر از پانل های خورشیدی در نظر گرفته شده (در این مقاله طول عمر پانل خورشیدی برابر N در نظر گرفته شده است). هزینه تعمیر و نگهداری توربین های بادی توسط رابطه (7) بدست می‌آید:

$$OM_w = \alpha_{OMw} \square A_w \square \sum_{k=1}^N \left(\frac{1+\varepsilon_w}{1+r} \right)^k = C_5 \square A_w \quad (13)$$

پس از تعویض توربین ها، زمانی که عمر پروژه، قبل از طول عمر توربین ها تمام شود، سود حاصل از ژنراتورهای توربین بادی فروخته شده بیشتر از هزینه فروش مجدد توربین در سال نهایی است. S_d درآمد حاصل از ژنراتور بادی فروخته شده می‌باشد.

$$S_d = \frac{S_w - \alpha_w}{L_w} \square years + \alpha_w \quad (14)$$

که در رابطه (8) درآمد حاصل از فروش در سال نهایی، α_w هزینه اولیه در سال اول و L_w طول عمر توربین بادی می‌باشد.

از آنجایی که تعداد سال‌های نصب آخرین توربین تا زمان پایان پروژه برابر years می‌باشد، بنابراین درآمد حاصل از مجموع توربین های فروخته شده و مجدداً به فروش رسیده برابر:

$$S_w = S_w \square A_w \square \sum_{x=1}^{XW-1} \left(\frac{1+\delta}{1+r} \right)^{x.LW} + S_d \square A_w \square \left(\frac{1+\delta}{1+r} \right)^N = C_6 \square A_w \quad (15)$$

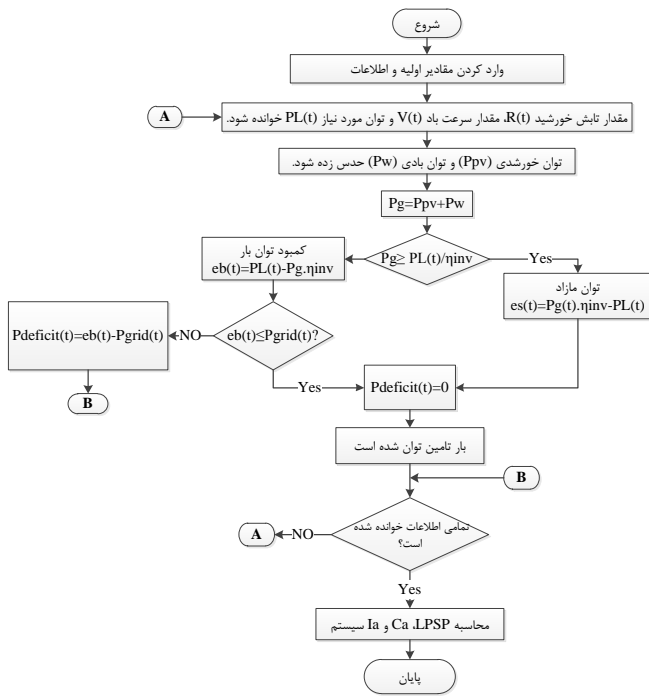
3-3- هزینه انرژی مبادله شده با شبکه

در شبکه مورد مطالعه توان الکتریکی خریداری شده از شبکه را با C_a و درآمد حاصل از فروش برق به شبکه را با I_a نشان می‌دهیم، اطلاعات انرژی مورد نیاز سالانه ی شبکه بستگی به

$$P_g(t) = P_{pv}(t) + P_w(t) \quad (18)$$

اگر توان تولید شده در راندمان اینورتر بیشتر یا مساوی توان مصرفی بود کمبود توان نداریم به عبارتی توان مازاد ($e_s(t)$) داریم که برابر است با توان تولید شده در راندمان اینورتر منهای توانی که بار مصرف میکند در نتیجه نقصان توان موجود نمی باشد بنابراین توان مورد نیاز بار تامین می شود، دوباره اطلاعات برای تمامی ساعت ها فراخوانی و بررسی می شود، در نهایت قید قابلیت اطمینان، هزینه کلی سیستم، هزینه اولیه سیستم تخمین زده می شود. اگر توان تولید شده در راندمان اینورتر بیشتر یا مساوی توان مصرفی نباشد کمبود توان داریم، کمبود توان شبکه برابر است با $e_b(t)$ ، توانی که بار مصرف می کند منهای توان تولیدات پراکنده ($P_g(t) \cdot \eta_{inv}$)، که اگر $e_b(t)$ کمتری مساوی توانی که شبکه تامین میکند باشد (p grid) نقصان توان ($p \text{ deficit}$) نداریم به عبارتی کمبود توان تقاضا شده را شبکه تامین میکند

اما اگر شبکه نتواند توان تقاضا شده را تامین کند نقصان توان برابر کمبود توان $e_b(t)$ منهای توان شبکه می باشد، که این نقصان توان در زمان کمباری سیستم فتوالتائیک از ساعت 1 تا 8760 تامین شده سپس به محاسبه امان های درخواستی می پردازد. در شکل (2)، نحوه محاسبه این قید به صورت فلوجارت نشان داده شده است:



شکل (2): فلوجارت نحوه محاسبه قید LPSP

5- الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته

در این مقاله از الگوریتم پیشنهادی DHS برای تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع استفاده شده است که الگوریتم جستجوی قدرتمندی برای بهینه سازی ساختار ترکیبی⁶ است. الگوریتم های ریاضی مبنی بر شیب⁷ برای حل مسایل بهینه سازی ساختاری، توسعه یافته اند. این الگوریتمها فرض می کنند که متغیرهای تصمیم گیری، نواحی cross-sectional به طور طبیعی پیوسته اند. ولی در اغلب طراحی های ساختاری عملی، مقادیر متغیرهای تصمیم باید از لیستی از مقادیر گسسته انتخاب شوند. پس وقتی که متغیرهای طراحی گسسته به طور کارا به متغیرهای تصمیم تخصیص داده می شوند، مساله بهینه سازی ساختاری تبدیل به مساله ترکیبی می شود. در طول دهه گذشته برای غلبه بر نقص های محاسباتی الگوریتم های ریاضی، الگوریتم های تکاملی یا فرااکتشافی مانند الگوریتم ژنتیک و آنیلینگ شبیه سازی شده، ابداع شده و برای طراحی بهینه سیستم ساختاری گسسته، اعمال شده اند. با این وجود، جستجوی الگوریتمی قدرتمندتر و موثرتر، هنوز هم یک چالش اصی برای مهندسان ساختاری است.

⁷ Gradient-based

⁶ Combinatorial Structure Optimization

الگوریتم جستجوی هارمونی

مرحله 1. تعریف مساله: حداقل کردن $f(x)$ و $x_i \in X_i$.

X_i ، مجموعه مقادیر کاندید برای هر متغیر تصمیم گیری می-باشد.

مرحله 2. مقداردهی اولیه به حافظه هارمونی: فیلهای مورد نیاز به صورت ماتریسی تصادفی پر می شوند. این ماتریس از یک سری بردار با اندازه حافظه هارمونی (Harmony Memory Size-HMS) تشکیل شده است، یعنی N عدد X_i وجود دارد که هر X_i شامل HMS تا x_i است، ...،

$$x_i^1 (x_i^{HMS})$$

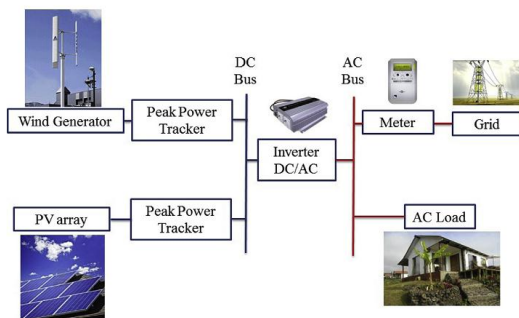
مرحله 3. ساخت آنی هارمونی جدید: یک بردار هارمونی جدید $x^2 = (x^2_1, x^2_2, \dots, x^2_N)$ فی البداهه ساخته می شود. سه قانون برای انتخاب مقدار برای هر متغیر تصمیم گیری وجود دارد: در نظر گرفتن حافظه، تنظیم (تعدیل) گام Δ و انتخاب تصادفی. با در نظر گرفتن حافظه، هر x^1 از محدوده $\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iHMS}\}$ با احتمالی به نام HMCR بین 0 تا 1 اختصاص می یابد. ولی امکان انتخاب مقدار از بین کلیه مقادیر ممکن با احتمال $(1 - HMCR)$ هم وجود دارد.

هر مولفه از بردار هارمونی جدید که مقدارش از حافظه هارمونی انتخاب شود، برای تنظیم گام امتحان می شود. برای این کار از پارامتر تنظیم گام (PAR) استفاده می شود که نرخ تصمیم گیری را تنظیم می کند. از آنجایی که مسایل بهینه سازی به صورت اعداد (گسسته) بیان می شود، به همین دلیل از نوع گسسته الگوریتم استفاده شده است.

6- نتایج شبیه سازی

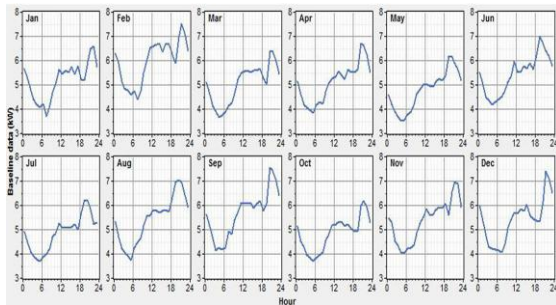
برای انجام مطالعات سیستم هیبریدی مورد نظر، از توربینهای بادی و پنل فتووالتاژیک به عنوان منابع اصلی تولید توان و از شبکه به عنوان یک منبع کمکی، زمانیکه سیستم هیبرید نتواند انرژی مورد نیاز را تأمین کند، استفاده می شود. سایر پارامترهای تحقیق نظیر داده های بادسنجی، داده های تابش خورشید، میزان

باردرخواستی و سایر اطلاعات به صورت داده های ورودی به مسئله اعمال می گردند. شبکه مورد مطالعه از پیش تعریف شده یک شبکه روستایی مدرن با مختصات جغرافیایی 36 درجه و 51 دقیقه شمالی و 50 درجه و 28 دقیقه شرقی می باشد [23]. برای انجام شبیه سازی به چهار دسته اطلاعات نیازمند می باشیم که برای بدست آوردن آنها از نرم افزار Homer استفاده شده است، این مقاله انرژی مورد نیاز برای تأمین برق پانزده خانوار را ارائه می دهد.



شکل (3): شبکه مورد مطالعه

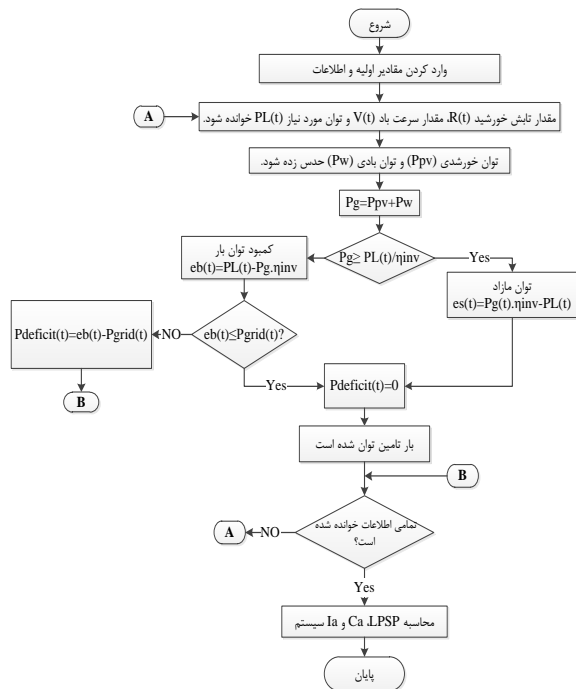
1- **بار مصرفی:** اطلاعات بار مصرفی در ماه های مختلف به فرم شکل (4) می باشد. مقدار بار مصرفی به صورت میانگین ماهانه نشان داده شده است.



شکل (4) اطلاعات بار مصرفی

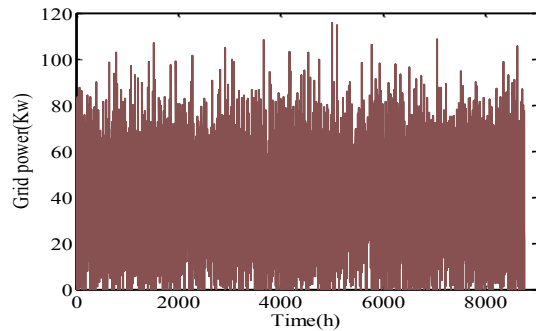
2- **ظرفیت شبکه:** میزان ظرفیت شبکه در هر ساعت با تابع نرمال با میانگین 39 کیلووات و انحراف معیار 20 کیلووات در نظر گرفته شده است تا داده های مورد نیاز برای یک سال ایجاد شود. در شکل (5) تغییرات ظرفیت شبکه نشان داده شده است.

⁸ Pitch Adjustment



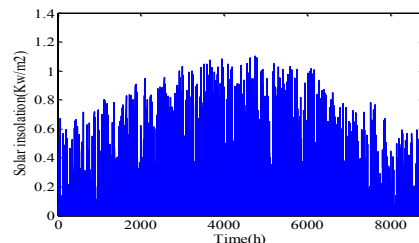
شکل (8) فلوچارت شبیه سازی

ابتدا اطلاعات اولیه سیستم که در پیشتر در مورد نحوه جمع آوری آن‌ها صحبت شد، وارد می‌شود. سپس با استفاده از این اطلاعات، میزان توان خورشیدی و بادی محاسبه می‌شود. حال توان تولیدی توسط منابع انرژی نو، با در نظر گرفتن راندمان اینورتر با توان مورد نیاز بار مقایسه می‌شود. در صورتی که توان تولیدی بیش از توان بار باشد مشکلی از بابت تأمین توان وجود ندارد. اما در صورت کمتر بودن آن به نسبت توان مورد نیاز بار، بایستی میزان کمبود توان محاسبه گردد. اگر کمبود توان از سطح توان شبکه در آن ساعت کمتر بود، مشکل کمبود توان نخواهیم داشت و در غیر این صورت، بایستی کمبود توان محاسبه شود. در نهایت در بازه زمانی 8760 ساعت مقادیر کمبود توان بدست می‌آید و با استفاده از رابطه (8) مقدار LPS محاسبه می‌گردد. مشخصات سلول خورشیدی و توربین بادی مورد استفاده در این پایان‌نامه در جدول (1) آورده شده است.



شکل (5) اطلاعات توان شبکه

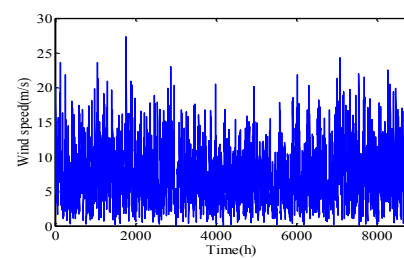
3- **میزان تابش خورشید:** براساس موقعیت جغرافیایی و با استفاده از نرم افزار HOMER مقدار تابش ساعتی، با توجه به میزان متوسط تابش ماهانه برای مکان مورد مطالعه تهیه شده است. در شکل (6) میزان شدت تابش خورشید در یک سال (8760 ساعت) نشان داده شده است. [24]



شکل (6) میزان تابش خورشید

4- **میزان سرعت باد:** سرعت باد بر اساس

موقعیت جغرافیایی با استفاده از نرم افزار HOMER به فرم تابع Weibull بدست آمده است. در شکل (7) سرعت باد در سال در منطقه جغرافیایی مورد مطالعه نشان داده شده است. [24]



شکل (7) سرعت باد در یک سال

به منظور طراحی بهینه سیستم ترکیبی خورشیدی- بادی، کافیست مراحل فلوچارت شکل (8) تکرار شود تا پاسخ مطلوب بدست آید.

جدول (1) مشخصات سلول خورشیدی و توربین بادی

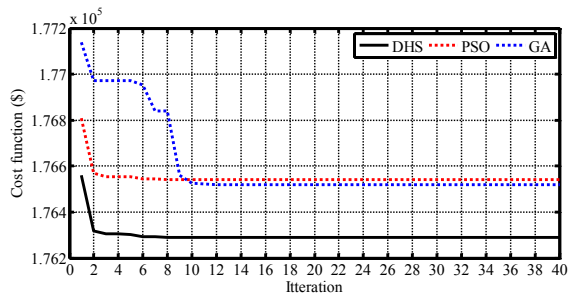
نوع منبع	مشخصات
سلول خورشید	SHARP polycrystalline solar panel of $P_{max}=235 W_p$ and $A_{pv}=1.63 m^2$ MoGAI NDL235Q1
تولید بادی	AEOLOS vertical-axis wind turbine of $P_r=1Kw$ and $A_w=3.14 m^2$ MoGAI Aeolos-V1kW (DC current) Cut-in, Rated and Cut-off speeds of 1.5, 10 and 25 m/s respectively

- سناریو سوم سیستم هیبریدی باد و خورشید متصل به شبه توسط سه الگوریتم PSO و GA و DHS مورد بررسی قرار گرفته است.

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، در این مقاله هدف از بهینه سازی سیستم بادی و خورشیدی متصل به شبکه، کاهش هزینه ها و تعیین قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه می باشد. بدین منظور سیستم پیشنهادی سه سناریو توسط سه الگوریتم مقایسه و نتیجه گیری شده اند:

6-1- سناریو اول

در این سناریو طراحی بهینه سیستم خورشیدی تنها با رویکرد کاهش هزینه و با در نظر گرفتن قید قابلیت اطمینان LPSP توسط الگوریتم های PSO، GA و DHS انجام شده است. مقایسه عملکرد الگوریتم های بهینه سازی جستجوی هارمونی گسسته (خط ممتد مشکی) و اجتماع ذرات (نقطه چین قرمز) و ژنتیک (خط چین آبی) در یافتن حالت بهینه در شکل (9) نشان داده شده است. در این حالت سرعت همگرایی الگوریتم ها تقریباً مشابه است هر چند پاسخ الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته بهینه تر از سایر می باشد.



شکل (9) منحنی تغییرات تابع هدف در سناریو اول

در ادامه در جدول (3)، نتایج بدست آمده از بهینه سازی توسط سه الگوریتم آورده شده است.

	N_{PV}	E_b	I_a (\$)	C_a (\$)	LPSP	C_t (\$)
DHS	121	27700	1593	9664	0/02	176291
PSO	113	28007	1392	9700	0/02	176426
GA	115	27922	1444	9663	0/02	176362

جدول (3) نتایج طراحی بهینه در سناریو اول

تعداد پانل های خورشیدی پیشنهادی توسط الگوریتم DHS برابر با 121 بوده در حالیکه این تعداد برای دو الگوریتم GA و PSO به ترتیب برابر با 115 و 113 پانل پیشنهاد داده شده اند.

در این بخش به بررسی نتایج بدست آمده از شبیه سازی در محیط نرم افزاری متلب پرداخته شده است. به منظور حداقل رسانی هزینه ها و تعیین قابلیت اطمینان سیستم تولید پراکنده در شبکه مورد مطالعه، از سه الگوریتم اجتماع ذرات و الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی گسسته هارمونی با در نظر گرفتن تابع هدف رابطه (1) استفاده شده است. در جدول (2) پارامترهای الگوریتم های مورد استفاده آورده شده است.

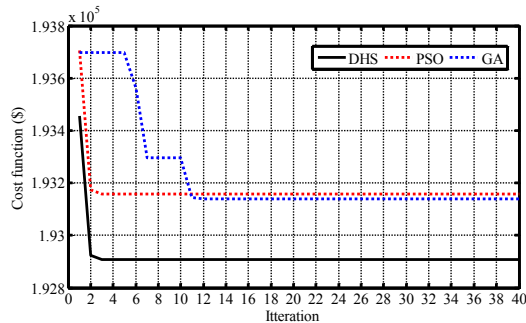
جدول (2) پارامترهای الگوریتم های PSO و GA و DHS

PSO	Population n	Iteration	$C_1=C_2$	w	V_{min}	V_{max}
	200	50	2	0/7	0/4	0/9
GA	Population n	Iteration	P_c	P_m	γ	
	200	50	0/3	0/7	0/02	
DHS	Population n	Iteration n	HMS	HMCR	Par	Fw
	200	50	10	0/75	0/05	0/4

مطالعات در قالب سه سناریو شبیه سازی شده اند:

- سناریو اول وجود تنها سیستم فتوالتائیک توسط سه الگوریتم، PSO و GA و DHS مورد بررسی قرار گرفته است.
- سناریو دوم وجود تنها توربین بادی در سیستم توسط سه الگوریتم، PSO و GA و DHS مورد بررسی قرار گرفته است.

گرفته است. بدین منظور از الگوریتم‌های GA، PSO و DHS در شکل به منظور طراحی بهینه این سیستم بادی استفاده شد. در شکل (11) منحنی تغییرات تابع هزینه برای سه الگوریتم به نمایش در آمده است.



شکل (11) منحنی تغییرات تابع هدف در سناریو دوم

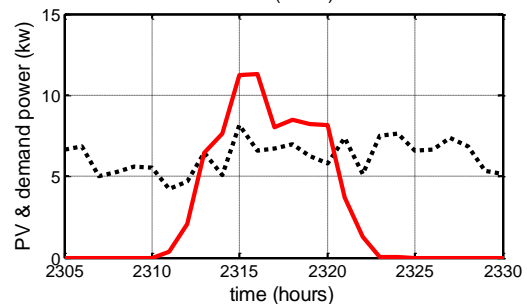
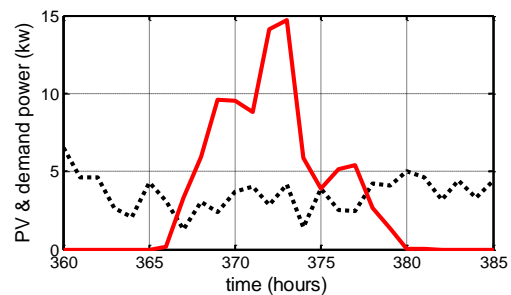
در شکل (11) عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی جستجوی هارمونی گسسته (خط ممتد مشکی) و اجتماع ذرات (نقطه چین قرمز) و ژنتیک (خط چین آبی) نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد ضمن بهینه تر بودن پاسخ الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته، همگرایی پاسخ‌ها در این الگوریتم با سرعت بیشتری انجام گردیده است. مقدار نهایی تابع هزینه برای الگوریتم DHS برابر با 192908 بدست آمده است در حالیکه مقدار آن برای دو الگوریتم GA و PSO به ترتیب برابر با 193154 و 193161 بدست آمده است. نتایج حاصله از بهینه‌سازی در جدول (4) خلاصه شد.

جدول (4) نتایج طراحی بهینه در سناریو اول

	N_w	E_b	$C_a(\$)$	$I_a(\$)$	LPSP	$C_t(\$)$
DHS	147	26145	8881	689	0/0198	192908
PSO	140	26663	9109	612	0/02	193161
GA	161	25125	8432	861	0/019	193154

بررسی و مقایسه نتایج بهینه سازی با سه الگوریتم در جدول (4-3) نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته به تعداد 147 توربین بادی رسیده در حالی که الگوریتم اجتماع ذرات این تعداد را 140 عدد و الگوریتم ژنتیک 161 عدد تعیین کرده است. اگر چه انرژی درخواست شده از شبکه در صورت استفاده از الگوریتم ژنتیک کمتر از دو الگوریتم دیگر بدست آمده است و در نتیجه هزینه انرژی خریداری شده از شبکه کاسته شده است؛ اما به سبب تعداد بالاتر توربین‌های بادی، هزینه‌های

هزینه نهایی سیستم بر اساس محاسبات الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته 135 دلار کمتر از محاسبات الگوریتم اجتماع ذرات و 71 دلار کمتر از الگوریتم ژنتیک است. همچنین مقدار انرژی که هر خانه در سال از شبکه درخواست می‌کند و هزینه سالانه خرید انرژی الکتریکی از شبکه در شرایط پیشنهاد شده توسط الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته کمتر است. در شکل (10) نمودار مقایسه ای توان تولیدی توسط پانل‌های خورشیدی (خط ممتد) و تقاضای بار (خط چین) در دو روز متفاوت سال (بصورت تصادفی) نشان داده شده است.



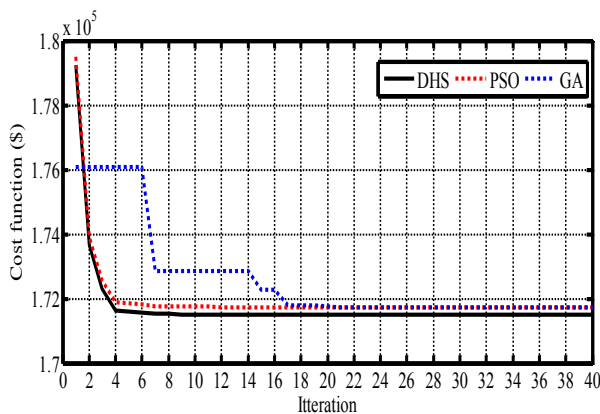
شکل (10) نمودار مقایسه توان خورشیدی تولیدی و تقاضای بار در سناریو دوم

همانگونه که در نمودارها نشان داده شده در ساعات ابتدایی و انتهایی روز همواره به دلیل عدم وجود خورشید انرژی تولیدی سیستم کمتر از میزان تقاضای بار خواهد بود و در سایر ساعات روز با توجه به شدت تابش خورشید و میزان درخواست بار ممکن است سیستم دارای انرژی مازاد یا نقصان مصرف باشد که بایستی با رعایت قید LPSP از شبکه تامین گردد.

6-2- سناریو دوم

یکی از مزیت‌های استفاده از توربین‌های بادی نسبت به پانل خورشیدی تداوم و یکنواختی امکان تولید انرژی در تمام طول روز می‌باشد لذا در این حالت فرض می‌گردد صرفاً انرژی توسط توربین‌های بادی تولید می‌گردد. در این سناریو، طراحی سیستم بادی تنها متصل به شبکه سراسری برق مورد مطالعه قرار

هر یک از سناریوهای اول و دوم مزایا و معایبی دارند که با استفاده همزمان از پانل خورشیدی و توربین بادی جهت تامین انرژی این امکان ایجاد می گردد تا ضمن استفاده همزمان از مزایای هر دو سیستم نقاط ضعف موجود به حداقل ممکن کاهش یابد. لذا در این سناریو حالت هیبرید بررسی گردیده و مقدار بهینه پانل های خورشیدی و توربین های بادی در سیستم هیبرید خورشیدی-بادی بدست آمده است. منحنی تغییرات تابع هدف برای سه الگوریتم بهینه سازی جستجوی هارمونی گسسته و اجتماع ذرات و ژنتیک در شکل (13) نشان داده شده است.



شکل (13) منحنی تغییرات تابع هدف در سناریو سوم

نتایج طراحی بهینه سیستم هیبرید توسط سه الگوریتم در جدول (5) آورده شده است.

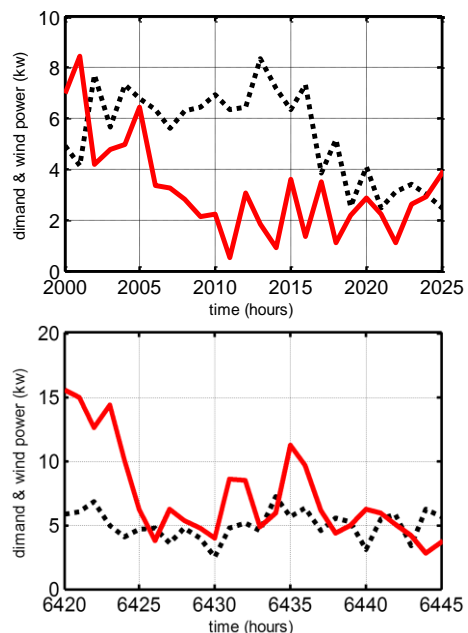
جدول (5) نتایج طراحی بهینه در سناریو دوم

	A_{pv}	A_w	E_b	$I_d(\$)$	$C_d(\$)$	LPSP	$C_T(\$)$
DHS	80	63	23853	1192	787 2	0182 0	171489
PSO	67	74	23716	976	781 2	0018	171847
GA	93	52	24255	1390	803 6	0185 0	171725

مقایسه وضعیت بهینه پیشنهادی توسط هر الگوریتم نشان می دهد در خروجی الگوریتم اجتماع ذرات با توجه به افزایش مقدار توربین بادی (در مقایسه با خروجی الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته) به دلیل ماهیت یکنواخت تر بودن انرژی تولیدی توسط توربین های بادی، مقدار انرژی که هر خانه در سال از شبکه درخواست می کند به نسبت کاهش یافته اما با توجه به شدت میزان تابش و سرعت باد در منطقه مورد بررسی،

کلی سیستم افزایش یافته است. بر این اساس هزینه نهایی سیستم بر اساس الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته کمتر از حالت پیشنهاد دو الگوریتم دیگر شده است. به همین نسبت هم مقدار سالیانه انرژی مورد درخواست هر منزل از شبکه با محاسبات الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته کمتر بوده است. مقدار LPSP برای هر سه الگوریتم کمتر از مقدار تعیین شده 0/02 بدست آمده است.

در ادامه شکل (12) مقایسه ای بین توان تولیدی توسط توربین های بادی (خط منمد) و تقاضای بار (خط چین) در دو روز متفاوت سال (بصورت تصادفی) نشان داده شده است.



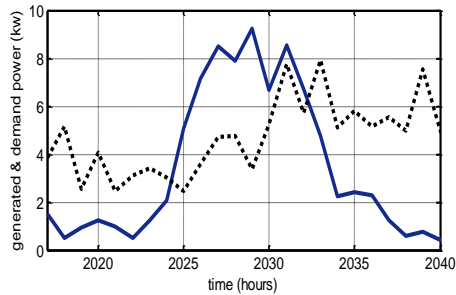
شکل (12) مقایسه توان بادی تولیدی و تقاضای بار

در ساعات مختلف روز بر حسب میزان درخواست بار و سرعت وزش باد ممکن است سیستم دارای انرژی تولیدی مازاد و یا نقصان توان باشد. حال اگر کمبود توان توسط شبکه جبران گردد دیگر خاموشی نخواهیم داشت و در غیر این صورت بخشی از بارها تامین توان نخواهند شد و در نتیجه مقدار قید LPSP افزوده خواهد شد.

3-6- سناریو سوم (طراحی سیستم هیبرید

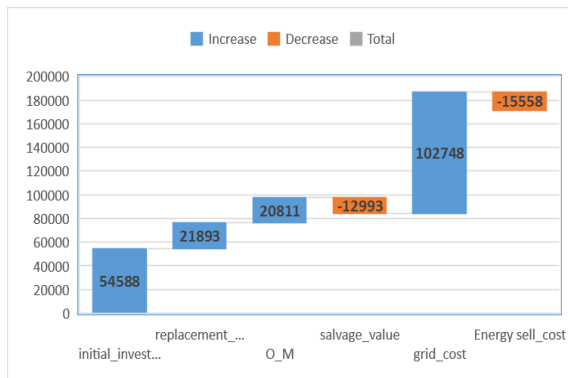
خورشیدی - بادی)

کامبود توان بوده و در ساعات میانی روز بصورت معمول توان مازاد جهت فروش به شبکه وجود خواهد داشت.



شکل (16) توان تقاضا و تولید شده در یک روز عادی در سیستم هیبرید

همانگونه که نشان داده شده مجموعه پانل خورشیدی نصب شده، علیرغم هزینه اولیه بیشتر هزینه تعویض و بهره برداری و نگهداری کمتری دارد. در شکل (17) ارزش خالص حال هزینه و درآمدهای سیستم هیبرید طراحی شده نمایش داده شده است. فروش تجهیزات اسقاط و انرژی مازاد به شبکه درآمدهای سیستم هستند که در نمودار بصورت منفی (درآمد) نمایش داده شده‌اند و سایر موارد که هزینه می‌باشند با مقایسه مثبت ترسیم گردیدند. همانگونه که نشان داده شده خرید کامبود انرژی از شبکه بیشترین سهم از هزینه نهایی سیستم را دارا است و نصب اولیه تجهیزات در مرتبه دوم اندازه هزینه می باشد.

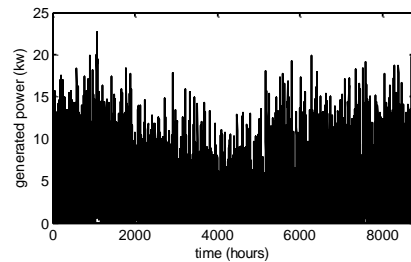


شکل (17) نمودار مقایسه هزینه و درآمدهای سیستم در حالت هیبرید

4-6 مقایسه سناریو ها

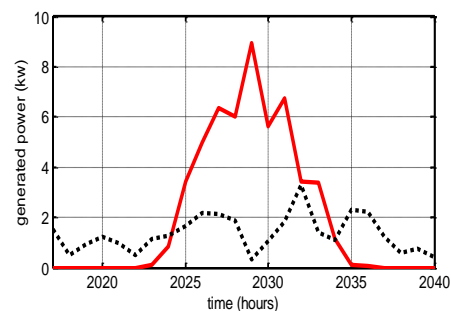
در شکل (17) نمودار هزینه نهایی سیستم در حالت پایه و سه سناریو مختلف مقایسه گردیده است. مشاهده می‌گردد در حالت پایه (بدون نصب منابع تولید پراکنده انرژی) بیشترین میزان هزینه

کاهش میزان پانل‌های خورشیدی موجب گردیده درآمد سالانه حاصل از فروش انرژی مازاد به شبکه در خروجی اجتماع ذرات کاهش یابد. در شرایطی که هزینه سالانه خرید انرژی الکتریکی از شبکه و قید LPSP در هر دو خروجی تقریباً مشابه هستند، مقدار هزینه کلی سیستم به عنوان تابع هدف سیستم در مدل پیشنهادی الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته نسبت به خروجی الگوریتم اجتماع ذرات 358 دلار کاهش یافته است. شکل (14) توان کلی تولیدی توسط سیستم هیبرید در هر ساعت از سال را نشان می‌دهد.



شکل (14) توان تولیدی توسط سیستم هیبرید

در ادامه در شکل (15) مقدار توان تولیدی توسط پانل‌های خورشیدی (خط ممتد) و توربین باد (خط چین) را در یک روز تصادفی را نشان می‌دهد. در ساعات ابتدایی و انتهایی روز توان تولیدی سیستم بادی بیشتر از توان تولیدی پانل‌های خورشیدی خواهد بود، در شرایطی که چنانچه میزان تابش خورشید در شرایط متعارف باشد در ساعات میانی روز میزان توان تولیدی پانل‌های خورشیدی بیشتر خواهد بود.

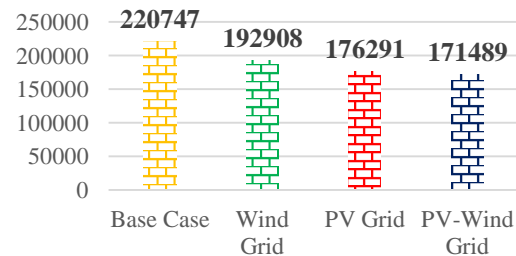


شکل (15) توان تولیدی خورشیدی و بادی سیستم هیبرید در یک روز عادی

در شکل (16) مقدار توان تولید (خط ممتد) و تقاضا شده (خط چین) در یک روز عادی (بصورت تصادفی) را نشان می‌دهد. در ساعات ابتدایی روز و در ساعات انتهایی شب، سیستم دارای

انرژی الکتریکی در آن‌ها به هدر می‌رود. تلفات انرژی در شبکه-های برق، مبالغ هنگفتی به شرکت‌های برق تحمیل می‌نماید. عوامل ایجاد تلفات را می‌توان در دو بخش فنی و غیر فنی تفکیک نمود. عوامل فنی شامل هارمونیک‌ها، عدم تعادل بار، استفاده از ترانسفورماتورها با ظرفیت نامناسب، بالا بودن توان راکتیو شبکه و فرسودگی شبکه‌ها و تجهیزات و فرسودگی باتری‌ها و... و همچنین از عوامل غیر فنی می‌توان استفاده غیر مجاز از شبکه‌های برق را اشاره کرد، در این مقاله توسط یک روش و مقایسه آن توسط الگوریتم‌های مختلف توانستیم به بهبود کاهش هزینه‌های سیستم کمک کنیم و روشی بهینه مبتنی بر بهبود قابلیت اطمینان ارائه کنیم. طراحی بهینه سیستم هیبرید تولید توان خورشیدی-بادی در روستای جواهرده از توابع شهرستان رامسر مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف اصلی از ارائه این تحقیق، ارائه مدلی مناسب در طراحی سیستم هیبرید تولید توانی می‌باشد که در آن از پانل‌های سلول خورشیدی و توربین‌های بادی استفاده شده است. طراحی‌ها به نحوی انجام پذیرفته است که هزینه‌های کلی سیستم به حداقل مقدار خود برسد. این هزینه‌ها می‌تواند هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه تعمیر و نگهداری، هزینه خرید انرژی از شبکه برق و... می‌باشد. بدین منظور از الگوریتم جستجوی هارمونی گسسته برای نیل به این هدف استفاده شده و نتایج با نتایج حاصل از الگوریتم‌های زنتیک و اجتماع ذرات مقایسه گردید. جهت انجام مطالعات، سیستم نمونه واقعی را که اطلاعات آن در دسترس بوده است، مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از موقعیت جغرافیایی منطقه اطلاعات میزان تابش خورشید و سرعت باد، از سایت ناسا بدست آمده است. سپس مطالعات در سه سناریو انجام پذیرفته است. در سناریو اول فرض گردیده سیستم فقط شامل توربین بادی است. هزینه نهایی سیستم در این حالت 192908 دلار برآورد گردید. در سناریو دوم تنها منابع تولید انرژی سیستم پانل‌های خورشیدی می‌باشند که هزینه نهایی محاسبه شده سیستم برابر 176291 دلار است. در سناریو سوم از ترکیب سیستم خورشیدی-بادی برای تامین توان استفاده شده است. هزینه کلی سیستم در این سناریو برابر 171489 دلار برآورد گردیده است. نتایج این بخش حاکی از آن است که سیستم هیبرید از منظر تابع هدف (هزینه کلی سیستم) عملکرد مناسب

وجود دارد که مربوط به خرید انرژی از شبکه خواهد است. در جایگاه بعدی بیشترین هزینه سناریو استفاده از توربین بادی قرار دارد. کمترین میزان هزینه مربوط به سیستم هیبرید است و سناریو استفاده از پانل خورشیدی تنها در جایگاه دوم قرار دارد.



شکل (18) نمودار مقایسه هزینه در سناریوهای مختلف

مقایسه سایر نتایج شبیه سازی در سناریوهای مختلف در جدول (6) نمایش داده شده است. مقدار سالانه خرید انرژی هر خانه از شبکه مطابق انتظار در حالت هیبرید دارای بهترین وضعیت است در مقابل سناریو توربین بادی با وجود هزینه نهایی بیشتر در مقابل سناریو پانل خورشیدی درخواست انرژی سالانه کمتری از شبکه شده است که به دلیل در دسترس نبودن انرژی خورشیدی در ساعات ابتدایی و انتهایی روز می‌باشد اما با توجه به میزان تابش منطقه مورد مطالعه این ضعف سناریو خورشیدی با افزایش درآمد حاصل از فروش انرژی مازاد به شبکه جبران گردیده به نحوی که در این بخش سناریو خورشیدی حتی از حالت هیبرید نیز وضعیت بهتری دارد.

جدول (6) مقایسه نتایج سناریوهای مختلف

	N_{PV}	N_W	E_b (kwh/ye ar)	C_a (\$)	I_a	LPSP	C_T (\$)
DHS	0	0	45624	17456	0	0.0368	220747
PV Grid	113	0	27993	1400	9695	0.02	176291
Wind Grid	0	147	26145	8881	689	0.0198	192908
PV-Wind Grid	80	63	23853	1192	7872	0.0182	171489

7- نتیجه گیری

در سال‌های اخیر روند رشد شبکه‌های توزیع در کشورهای در حال توسعه افزایش چشمگیری داشته است. با این وجود، به دلیل عدم طراحی مناسب این سیستم‌ها، مقادیر قابل توجهی

[7] Borowy B, Salameh Z. Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in wind/PV hybrid system. *IEEE Transac Energy Convers* 1996;11(2):367e75.

[8] Nafeh A. Optimal economical sizing of a PV-wind hybrid energy system using genetic algorithm. *Int J Gr Energy* 2011;8:25e43.

[9] Supriya C, Siddarthan M. Optimization and sizing of a grid-connected hybrid PV-Wind energy system. *Int J Eng Sci Technol* 2011;3(5):4296e323.

[10] Nelson DB, Nehrir MH, Wang C. Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems. *Renew Energy* 2006;31(10):1641e56.

[11] Nema P, Nema RK, Rangnekar S. A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13(8):2096e103.

[12] Mathiesen BV, Lund H, Karlsson K. 100% renewable energy systems, climate mitigation and economic growth. *Appl Energy* 2011;88(2):488e501.

[13] Cosic B, Krajacic G, Duic N. A 100% renewable energy system in the year 2050: the case of Macedonia. *Energy* 2012;48(1):80e7.

[14] EnergyPLAN: Advanced energy system analysis computer model [internet]. Aalborg University, Denmark. Available at: .

[15] Milan C, Bojesen C, Nielsen MP. A cost optimization model for 100% renewable residential energy supply systems. *Energy* 2012;48(1):118e27.

[16] Alberg Østergaard P, Mathiesen BV, Möller B, Lund H. A renewable energy scenario for Aalborg municipality based on low-temperature geothermal heat, wind power and biomass. *Energy* 2010;35(12):4892e901.

[17] Foley AM, Ó Gallachóir BP, Hur J, Baldick R, McKeogh EJ. A strategic review of electricity systems models. *Energy* 2010;35(12):4522e30.

[18] Pillai JR, Heussen K, Østergaard PA. Comparative analysis of hourly and dynamic power balancing models for validating future energy scenarios. *Energy* 2011;36(5):3233e43.

[19] Zhang X, Tan SC, Li G, Li J, Feng Z. Components sizing of hybrid energy systems via the optimization of power dispatch simulations. *Energy* 2013;52:165e72.

[20] Lund H, Andersen AN, Østergaard PA, Mathiesen BV, Connolly D. From electricity smart grids to smart energy systemsea market operation based approach and understanding. *Energy* June 2012;42(1):96e102.

[21] M. Ammar-S. Bouaziz-Adel M. Alimi, Hybrid harmony search algorithm for global optimization
Published in: *Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC), 2013 World Congress on*

[22] مقایسه مزیت‌های فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی و انرژی بادی -اولین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی انرژی خورشیدی سال: 1393

[23] سایت رسمی ناسا

[24] اداره هواشناسی استان مازندران

تری به نسبت دو سناریو دیگر دارد و سناریو صرفاً پانل خورشیدی بعد از حالت هیبرید دارای عملکرد بهتری می‌باشد.

مقایسه انرژی که هر خانه در سال از شبکه درخواست می‌کند در سناریوهای مختلف نشان می‌دهد طبق پیش بینی سناریو هیبرید با 23853 کیلووات ساعت در سال مقدار کمتری نسبت به سایر سناریوها دارد و بر خلاف هزینه کلی درخواست انرژی از شبکه در سناریو بادی از سناریو خورشیدی کمتر است.

در خصوص هزینه سالانه خرید انرژی الکتریکی از شبکه عملکرد سناریوها مشابه هزینه کلی است، به این ترتیب که سناریو هیبرید با 1192 دلار کمترین هزینه را داشته و سناریوهای خورشیدی و بادی در جایگاه‌های بعدی قرار دارند.

درآمد سالیانه فروش انرژی به شبکه اما روند متفاوتی دارد به این معنی که سناریو خورشیدی با 9695 دلار در سال دارای بهترین وضعیت بین سه سناریو است و سناریو هیبرید در جایگاه بعدی قرار می‌گیرد. نکته قابل توجه در این خصوص این مهم است که در صورت افزایش بهای انرژی خریداری شده توسط شبکه، در منطقه مورد مطالعه با توجه به میزان تابش خورشید و سرعت باد این احتمال وجود دارد سناریو صرفاً پانل خورشیدی نسبت به حالت هیبرید توجیه اقتصادی پیدا کند

مراجع:

[1] Business optimal design of a grid-connected hybrid PV (photovoltaic)- wind energy system without energy storage for an Easter Island's block F. Caballero, E. Sauma*, F. Yanine Pontificia Universidad Católica de Chile, Industrial and Systems Engineering Department, Santiago, Chile

[2] Al-Badi A. Hybrid (solar and wind) energy system for Al Hallaniyat island electrification. *Int J Sustain Energy* 2011;30(4):212e22.

[3] Prasad A, Natarajan E. Optimization of integrated photovoltaic-wind power generation systems with battery storage. *Energy* 2006;31:1943e54.

[4] Muralikrishna M, Lakshminarayana V. Hybrid (solar and wind) energy systems for rural electrification. *ARPN J Eng Appl Sci* 2008;5(3):50e8.

[5] Kaabeche A, Belhamel M, Ibtouen R. Optimal sizing method for stand-alone hybrid PV/wind power generation system. *Energy* 2011;36:1214e22.

[6] Hocaoglu F, Gerek O, Kurban M. A novel hybrid (wind-photovoltaic) system sizing procedure. *Sol Energy* 2009;83:2019e28.