

## مدیریت نیروی محرکه الکتریکی و بهینه سازی مصرف در حضور منابع تغذیه هیبریدی

علیرضا پاک خصال<sup>۱</sup>، حبیب‌اله اعلمی<sup>۲</sup> و الیاس ابراهیم زاده<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، تهران، ایران

a\_pakkhesal@yahoo.com

۲- استادیار، دانشکده و پژوهشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

halami@ihu.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پژوهشگر، دانشکده و پژوهشکده جنگ الکترونیک و دفاع سایبری، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

e\_ebrahimzadeh@ut.ac.ir

**چکیده:** بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده و تجدید پذیر اگرچه پتانسیل بالایی دارند، اما ممکن است به علت طبیعت متغیرشان مشکل آفرین باشند. علاوه بر این، نوسان‌های باد و یا تغییرات شدید آب و هوایی می‌تواند به نوسان‌های موقتی در ولتاژ منجر شود. تحقیقات نشان می‌دهد که ذخیره سازی انرژی می‌تواند این طبیعت تصادفی را جبران کند و در بازه زمانی کوتاه بدون نیاز به قطع بار و یا به مدار آوردن منابع انرژی جدید مؤثر باشد. همچنین، بهره‌گیری از ذخیره‌سازهای انرژی برای یکنواخت کردن پروفیل توان و تنظیم ولتاژ در نقاط اتصال، امکان استفاده بهتر از توان تولیدی را فراهم می‌آورد و می‌تواند راه حل اقتصادی تلقی شود. در این راستا، در این مقاله یک سیستم مدیریت انرژی هوشمند به منظور بهینه کردن بهره‌برداری از سیستم الکتریکی نمونه و برنامه‌ریزی تولید و ذخیره انرژی طراحی شده است. روش پیشنهاد شده قادر است بسته به اهداف کاری مختلف و درجه اهمیت متناظرشان با استفاده از روش بهینه سازی پارتو نقاط کار بهینه را تعیین نماید. در این روش، ساعات استفاده و میزان استفاده از منابع مختلف انرژی به گونه‌ای که کمترین هزینه و پایین ترین آلودگی زیست-محیطی را به دست دهد، تعیین شده است. در نهایت، به منظور اعتبار سنجی الگوریتم پیشنهادی، روش با استفاده از نرم افزارهای MATLAB و GAMS بر روی یک سیستم پیش‌رانه الکتریکی نمونه پیاده و نتایج بحث و بررسی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** ذخیره سازی انرژی، مدیریت مصرف انرژی الکتریکی، برنامه ریزی خطی اعداد صحیح، بهینه سازی پارتو

### ۱- مقدمه

مناسبتی از منابع انرژی و مدیریت بهینه آنها مرکز توجه بسیاری از صنایع تولیدی؛ بالاخص تولیدات صنعتی با کاربرد نظامی قرار گرفته است، نیاز است نگاهی عمیق‌تر و بهتر در این خصوص افکنده شود. برای نمونه، در مرجع [۱] یک پیش بینی میان مدت (MTF) از میزان تابش خورشید و درجه حرارت هوا بر اساس رفتارشان در روزهای قبل در قالب یک تخمینگر عصبی-فازی انجام شده است. سپس با بهره گیری از فیلتر کالمن و مدل‌سازی ARMA به یک پیش بینی کوتاه مدت (STF) دست می‌یابد. با تغذیه مدل

از آنجایی که امروزه مفاهیمی مانند قابلیت اطمینان، بهبود راندمان، تقلیل هزینه‌های بهره‌برداری، بهره‌گیری

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۲/۶/۱۴

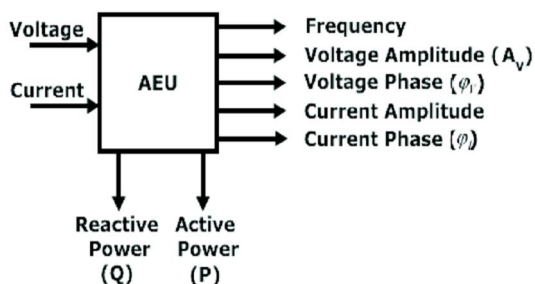
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۰۲/۲۲

نام نویسنده مسؤول : حبیب‌اله اعلمی

نشانی نویسنده مسؤول : ایران- تهران- بزرگراه شهید بابایی-

دانشگاه جامع امام حسین (ع)

است. به کاربردهای مختلف شبکه های عصبی در بحث انرژی های نو بر طبق یک فهرست موضوعی در مرجع [۱۳] اشاره می شود؛ از قبیل کاربرد تکنیک های هوشمند عصبی در مدل سازی، طراحی و پیش بینی توان تولیدی منابع انرژی های تجدیدپذیر. در مراجع [۱۴-۱۵] نویسنده ضمن اشاره به برنامه ریزی عدد صحیح انرژی های تجدید پذیر در سیستم های هوشمند، بر آن است که روش های مرسوم مدیریت انرژی را بهبود بخشد و در نهایت روش مزبور را در یک شبکه نمونه، تست و برتری آن را به اثبات می رساند. بسیاری از مراجع مذکور با معرفی یک سیستم تولید و ذخیره توان، در واقع تنها به ارائه یک الگو بسنده و یا به برتری توانی یا راندمانی الگوی خود اشاره کرده اند. در ساختار طرح پیشنهادی این مقاله، علاوه بر استفاده از منابع متعدد و متنوع تولید انرژی الکتریکی و نگاه کامل به ذخیره و تولید در کنار استفاده از منابع تولید تجدیدپذیر از یک منظر و اولویت دادن به هر بخش، بنا به محدودیت های منابع و خواسته های اپراتور از سویی دیگر پرداخته شده است.



شکل (۱): دیاگرام بلوکی AEU

در این تحقیق سعی شده است ضمن پرداختن به اصل "برنامه ریزی و مدیریت هوشمند انرژی"، با معرفی یک سیستم الکتریکی جامع ترکیبی (هیبریدی) - نظیر یک سیستم پیشرانه الکتریکی که طیف وسیعی از منابع تولید و ذخیره انرژی را در اختیار داشته باشد- اجرای این روش های هوشمند مدیریتی و کنترلی تولید و ذخیره انرژی تحقیق و مطالعه شود. در این مقاله سیستم الکتریکی هیبریدی با منابع انرژی های نو که با تولید متغیر و عدم

ریاضی سلول های خورشیدی از طریق MTF و STF میزان انرژی تولیدی روزانه و ساعت به ساعت به راحتی به دست می آید. مرجع [۲] یک رشته از داده های موجود برای میزان تابش آفتاب<sup>۱</sup> را به عنوان نمونه بر روی حوزه های فرکانسی - زمانی نگاشت می کند که در این فرایند از تبدیل موجک بهره می گیرد و در هر حوزه از یک شبکه عصبی RBP برای پیش بینی میزان توان تولیدی حاصل از سلول های خورشیدی استفاده می کند.

به طور کلی، می توان گفت چندین عامل در رشد ذخیره سازهای انرژی نقش دارند [۳-۱۰] که عبارتند از:

- تولید تصادفی حاصل از منابع تجدید پذیر و افزایش تغییرات آن در گذر زمان
- رشد سریع ساختار شبکه انتقال با افزایش بار مصرفی
- حضور سیستم های با رفتار تصادفی

نیاز روز افزون به قابلیت اعتماد و امنیت در تأمین انرژی الکتریکی مدیریت انرژی فرآیندی است؛ شامل انتخاب مجموعه ای از تولیدات که بتواند مجموعه ای از بارها را با کمترین هزینه و تلفات تأمین کند. از این رو، در حل مسأله مدیریت هوشمند تلاش شده است تابع هزینه با فرض عدم قطع بار به حالت بهینه برسد؛ به این صورت که اگر بار موجود در سیستم نتواند از طریق تولیدات پراکنده در محل تأمین شود، باید از طریق دیگری که البته قیمت بالاتری دارد، تهیه شود. در مرجع [۱۱] روش هوشمندی برای کنترل توان برای عملکرد خودگردان سیستم ارائه شده است. روش کنترلی مذکور مبتنی بر یک واحد تخمین گر تطبیقی (AEU<sup>۲</sup>) است که می تواند دامنه، فاز و فرکانس مؤلفه های توان اکتیو و راکتیو را تخمین بزند (شکل ۱) و در قالب یک الگوریتم ردیابی سینوسی (STA<sup>۳</sup>) پیاده سازی می شود. در انتها، درستی روش فوق بریک سیستم نمونه تست می شود و به اثبات می رسد. در مرجع [۱۲] از یک روش ترکیبی برای پیش بینی انرژی خورشیدی استفاده شده است؛ به عبارت دیگر، با بهره گیری از خواص دینامیکی شبکه های عصبی بازگشتی (RNN<sup>۴</sup>) و نگاشت تبدیل موجک از پدیده های غیر خطی، به یک شبکه عصبی قطری بازگشتی مبتنی بر تبدیل موجک (DRWNN<sup>۵</sup>) دست یافته

است که با در نظر داشتن همه توابع هدف به طور همزمان هیچ جوابی نمی تواند همه توابع هدف را بهینه کند. این مجموعه جواب بهینه به عنوان مجموعه بهینه پارتو شناخته می شود [۱۸]. یک مسئله بهینه سازی چندهدفه کلی شامل تعدادی تابع هدف است که باید همزمان بهینه شوند و تعدادی قید تساوی و نامساوی که باید رعایت شوند. بنابراین، مسئله را می توان به صورت زیر فرمول بندی کرد:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } F = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_n(X)]^T \\ & \text{Subject to: } \begin{cases} g_i(X) < 0 & i = 1, 2, \dots, N_{ueq} \\ h_i(X) = 0 & i = 1, 2, \dots, N_{eq} \end{cases} \quad (1) \end{aligned}$$

که در رابطه فوق F بردار حاوی توابع هدف و X بردار شامل متغیرهای بهینه سازی است.  $f_i(X)$  نماینده  $i$  امین تابع هدف و  $g_i(X)$  و  $h_i(X)$  به ترتیب بیانگر قیدهای نامساوی و تساوی است. همچنین  $n$  بر تعداد توابع هدف موجود در مسئله دلالت دارد. در یک مسئله بهینه سازی چندهدفه جواب های  $X_1$  و  $X_2$  می توانند یکی از این دو حالت را داشته باشند: یکی دیگری را مغلوب<sup>۷</sup> کند یا هیچ کدام یکدیگر را مغلوب نکنند. به طور کلی، در یک مسئله بهینه سازی اگر هر دو شرط زیر برقرار شوند، آنگاه  $X_1$  جواب  $X_2$  را مغلوب می کند:

$$\begin{aligned} \forall j \in \{1, 2, \dots, n\}, f_j(X_1) \leq f_j(X_2) \\ \exists k \in \{1, 2, \dots, n\}, f_k(X_1) < f_k(X_2) \end{aligned} \quad (2)$$

اگر  $X_1$  جواب  $X_2$  را مغلوب کند، آنگاه  $X_1$  جواب غیر مغلوب<sup>۸</sup> یا غالب نامیده می شود و جواب هایی که در کل فضای جستجو مسلط باشند، مجموعه جواب بهینه پارتو را تشکیل می دهند.

## ۱-۲-۱ - مدل سازی مسئله بهره برداری هوشمند از ریز شبکه نمونه

سیستم های هوشمند به سیستم هایی گفته می شود که سیستم به صورت خودکار و اتوماتیک وضعیت خود را با

قطعیت همراه است، با حضور ذخیره سازها در نظر گرفته شده است. همچنین، در ساعات مختلف که میزان تولید/میزان بار تغییر می کند، میزان مصرف و میزان بهره برداری از هر منبع انرژی با استفاده از روش توابع چند هدفه بهینه شده است. در واقع، در این مقاله نگاه چند منظوره ای به مسائل تامین انرژی با حفظ قیود اقتصادی از یک منظر و مسئله زیست-محیطی از منظری دیگر طرح گردیده است. روش پیشنهادی به مصرف کننده این امکان را می دهد تا مهمترین قید تاکیدی خود را عنوان و نتیجه عملیاتی مناسب را با توجه به قیود مطرح شده، دریافت کند. علاوه بر این موضوع، حل مسئله با چند قید همزمان (تابع چند هدفه) و به دست آوردن مجموعه جواب در نقاط کار مختلف، امکان انتخاب بهترین نقطه کار از دیدگاه مصرف کننده را مهیا می سازد. تمامی موارد ذکر شده، از جمله مزایای روش پیشنهادی است که مطالعات گذشته به این جامعیت به آن نپرداخته اند.

## ۲- بهره برداری هوشمند از یک ریز شبکه الکتریکی

برنامه ریزی دقیق منابع انرژی در یک سیستم الکتریکی از درجه اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا بهبود بهره برداری از سیستم چه از لحاظ اقتصادی، چه از نظر زیست-محیطی و کاهش آلودگی و چه از نظر قابلیت اطمینان و پایداری شبکه مهم خواهد بود. لذا ارائه روش های بهینه سازی مناسب در جهت رفع این مشکل امری لازم و ضروری است. از طرفی باید توجه داشت این حوزه مسائل زیادی، از جمله بهینه سازی همزمان چندین تابع هدف را شامل می شود. معمولاً این توابع هدف غیر همجنس، متباین و اغلب در تضاد با یکدیگر هستند. بهینه سازی چندهدفه با توابع هدف متناقض به ایجاد یک مجموعه جواب به جای یک جواب بهینه منجر می شود [۱۶-۱۷]. دلیل بهینه بودن تعداد زیادی از جواب ها این

$i$ ام در زمان  $t$  است و  $P_{G_i}(t)$  و  $P_{S_j}(t)$  نیز به توان خروجی واحد  $i$ ام و ذخیره کننده  $J$ ام در زمان  $t$  اشاره دارد.  $C(P_{G_i}(t))$  و  $C(P_{S_j}(t))$  بترتیب تابع هزینه واحدهای تولیدی و عناصر ذخیره کننده است و هزینه راه اندازی متناظرشان با  $S_{G_i}$  و  $S_{S_j}$  مدل می شود.

• تابع هدف دوم: حداقل سازی کل آلودگی ناشی از آلاینده‌ها

به منظور در نظر گرفتن اثرهای مخرب زیست-محیطی ناشی از آلاینده‌های موجود، میزان آلودگی به عنوان هدف دوم در حل مسأله بهینه‌سازی لحاظ می شود. در این راستا از شایعترین آلاینده‌ها نظیر دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) و دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) استفاده می‌شود. مدل ریاضی دومین تابع هدف مشابه با رابطه (۴) بوده، تنها میزان آلودگی ناشی از واحدها و یا ذخیره کننده‌های انرژی جایگزین قیمت پیشنهادی آنها می‌شود.

$$\text{Min } f_2(P) = \sum_{t=1}^T \text{Emission}^t = \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} [u_i(t) P_{G_i}(t) E_{G_i}(t)] + \sum_{j=1}^{N_s} [u_j(t) P_{S_j}(t) E_{S_j}(t)] \right\}$$

در این رابطه  $E_{G_i}(t)$  و  $E_{S_j}(t)$  به ترتیب به میزان

آلودگی ناشی از واحد  $i$ ام و ذخیره کننده  $J$ ام در زمان  $t$

و بر حسب  $kg / MWh$  اشاره دارد که از قرار زیر هستند:

$$E_{G_i}(t) = SO_{2_{DG_i}}(t) + NO_{x_{DG_i}}(t) + CO_{2_{DG_i}}(t) \quad (5)$$

$$E_{S_j}(t) = SO_{2_{Storage}}(t) + NO_{x_{Storage}}(t) + CO_{2_{Storage}}(t) \quad (6)$$

که عبارات شامل  $SO_2(t)$ ،  $NO_x(t)$  و  $CO_2(t)$  در هر یک از روابط فوق به ترتیب بیانگر میزان تصاعد دی اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید کربن از منبع مربوطه در زمان  $t$  است.

تغییر شرایط و داده‌ها به صورت آنلاین تغییر و در حالت بهینه قرار می دهد. به عبارت دیگر، مدیریت بهره برداری هوشمند عبارت است از مدیریت دینامیکی سیستم‌ها با توجه به شرایط متغیر محیط؛ چنانکه در این مقاله به صورت هوشمند با توجه به تغییر شرایط محیطی، میزان بهره برداری از سیستم‌ها (دیسپاچینگ سیستم‌ها) تغییر می کند. در این تحقیق مسأله بهره‌برداری از شبکه به صورت تابعی بهینه‌ساز با دو هدف غیرهمسان پیاده سازی می‌شود که در آن هزینه کل بهره‌برداری از سیستم محرکه و میزان آلودگی ناشی از آلاینده‌ها به طور همزمان بررسی می‌شود.

## ۲-۲-۲- توابع هدف

• تابع هدف اول: حداقل سازی کل هزینه بهره‌برداری

هزینه کل بهره‌برداری از سیستم مذکور در حقیقت شامل هزینه‌های سوخت منابع تولیدی و هزینه مربوط به روشن یا خاموش شدن آنهاست. خروجی این تابع هدف معرفی مجموعه‌ای از توان‌های تولیدی مربوط به واحدها و در بازه زمانی خاصی است که در شرایط بهینه اقتصادی محاسبه شده است. به این ترتیب، اولین تابع هدف به صورت رابطه (۳) بیان می‌گردد:

$$\begin{aligned} \text{Min } f_1(P) &= \sum_{t=1}^T \text{Cost}^t \\ &= \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} [u_i(t) C(P_{G_i}(t)) + S_{G_i} |u_i(t) - u_i(t-1)|] \right. \\ &\quad \left. + \sum_{j=1}^{N_s} [u_j(t) C(P_{S_j}(t)) + S_{S_j} |u_j(t) - u_j(t-1)|] \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

در این رابطه  $T$  بیانگر کل ساعات مورد مطالعه است

و  $N_g$  و  $N_s$  به ترتیب بر کل تعداد واحدهای تولیدی و عناصر ذخیره کننده انرژی دلالت دارد.  $u_i(t)$  نشان دهنده وضعیت روشن (عدد ۱) و یا خاموش بودن (عدد ۰) واحد

### ۳-۲-۳ - قیود مسأله

- تعادل بار-تولید :

مهمترین شرطی که در واقع پایه بهره‌برداری از یک سیستم به حساب می‌آید، تعادل میان میزان بار و مجموع توان تولیدی واحدها در هر زمان است که به صورت رابطه (۷) بیان می‌گردد.

$$\sum_{i=1}^{N_k} P_{Gi}(t) + \sum_{j=1}^{N_s} P_{sj}(t) = \sum_{k=1}^{N_k} P_{Lk}(t) \quad (7)$$

در رابطه فوق  $P_{Lk}(t)$  بیانگر میزان بار  $k$  ام وارد بر سیستم و در زمان  $t$  و  $N_k$  تعداد کل سطوح بارهاست.

- محدودیت توان اکتیو :

تمامی منابع انرژی به دلایل فنی و مشخصه‌های عملکردی خود لازم است در محدوده توانی خاصی مطابق رابطه (۸-۳) عمل کنند:

$$\begin{aligned} P_{Gi,\min}(t) &\leq P_{Gi}(t) \leq P_{Gi,\max}(t) \\ P_{sj,\min}(t) &\leq P_{sj}(t) \leq P_{sj,\max}(t) \end{aligned} \quad (8)$$

که  $P_{G,\min}(t)$  و  $P_{s,\min}(t)$  به ترتیب بیانگر حداقل توان اکتیو تولیدی واحدهای پراکنده و ذخیره‌کننده‌های انرژی است و  $P_{G,\max}(t)$  و  $P_{s,\max}(t)$  نشان دهنده ماکزیمم توان تولیدی آنها در زمان  $t$  است.

- محدودیت میزان شارژ و دشارژ ذخیره‌کننده‌های انرژی :

از آنجایی که ذخیره‌کننده‌های انرژی در هر بخش معینی از زمان قادرند میزان معینی به شارژ خود اضافه کنند یا دشارژ شوند، لذا دارای محدودیت‌هایی از لحاظ نرخ شارژ یا دشارژ و توان تحویلی در هر ساعت مطابق روابط (۹) و (۱۰) هستند:

$$W_{ess,t} = W_{ess,t-1} + \eta_{charge} P_{charge} \Delta t - \frac{1}{\eta_{discharge}} P_{discharge} \Delta t \quad (9)$$

$$\begin{cases} W_{ess-\min} \leq W_{ess,t} \leq W_{ess-\max} \\ P_{charge,t} \leq P_{charge-\max}; P_{discharge,t} \leq P_{discharge-\max} \end{cases} \quad (10)$$

که  $W_{ess,t-1}$  و  $W_{ess,t}$  به ترتیب نمایانگر میزان انرژی

ذخیره ساز  $J$  ام در ساعت فعلی و قبلی است و  $P_{charge,t}$  و  $P_{discharge,t}$  به ترتیب نشان دهنده میزان مجاز توان مصرفی (شارژ) و یا تولیدی (دشارژ) ذخیره‌کننده در زمان فعلی هستند که بین مقادیر حداقل صفر و حداکثرهای  $P_{charge-\max}$  و  $P_{discharge-\max}$  محدود هستند. به طور

مشابه کمیت‌های  $\eta_{charge}$  و  $\eta_{discharge}$  راندمان‌های کلی عملکردی را بیان می‌کنند که به ترتیب نمایانگر راندمان شارژ و یا دشارژ ذخیره‌کننده مزبور هستند. در این تحقیق به منظور بررسی رفتار المان‌های موجود در سیستم از بازه‌های کوتاه مدت ساعت به ساعت ( $\Delta t$ ) و افق زمانی بلند مدت (۲۴ ساعته) استفاده شده است.

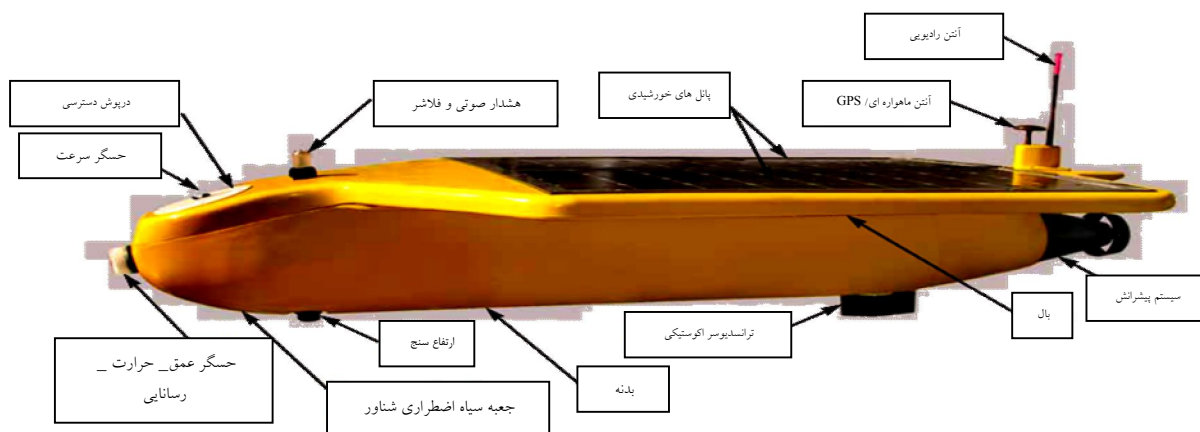
- محدودیت رزرو :

برای عملکرد مطمئن سیستم الکتریکی و همچنین افزایش قابلیت اطمینان، نیاز است که سطحی از رزرو در نظر گرفته شود تا اگر به هر دلیلی سیستم اصلی دچار مشکل شود، بتواند بار مصرفی خود را بدون بروز اختلال تأمین کند. به همین علت، در شبیه‌سازی‌ها این قید اعمال شده است که در هر ساعت همواره حداقل به اندازه بزرگترین منبع انرژی رزرو در نظر گرفته شده است، تا اگر یک منبع انرژی اصلی از سیستم جدا شود، این کمبود توان توسط منابع دیگر درون سیستم بتواند جبران شود.

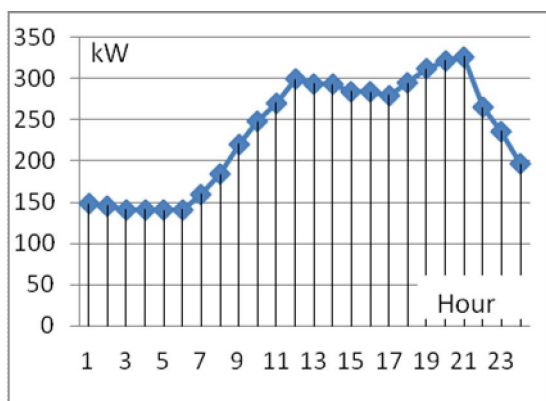
$$\sum_i (P_{Gi}^{\max} - P_{Gi}) + \sum_j (P_{sj}^{\max} - P_{sj}) \geq P_{res} \quad (11)$$

### ۳- سیستم الکتریکی مورد مطالعه

به‌کارگیری منابع کوچک انرژی به صورت منفرد می‌تواند به بروز مشکلاتی منجر شود؛ اگر چه گاهی راه حل مشکل نیز تلقی می‌شود. لذا یک روش بهتر برای استفاده مناسبتر از این واحدها، در نظر گرفتن مجموعه‌ای از تولیدات به همراه بارهای محلی مربوطه به صورت یک زیر سیستم و یا ریز شبکه است.

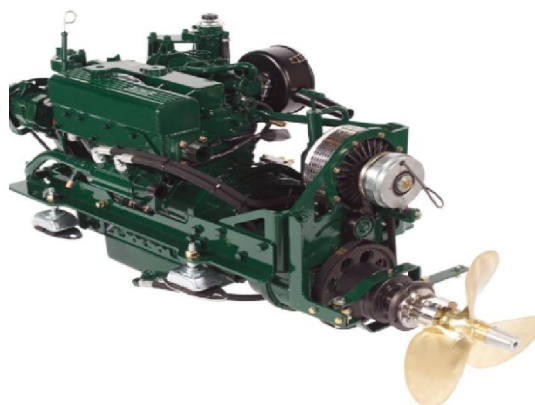


شکل (۲): یک پیشرانه نمونه مجهز به پانل های خورشیدی برای استفاده از منبع انرژی تجدیدپذیر



شکل (۴): منحنی بار ریز شبکه نمونه در یک روز مشخص

در این مقاله، یک سیستم الکتریکی نمونه در سطح ولتاژ پایین (L.V) فرض می شود که طیف متنوعی از مولدهای انرژی الکتریکی مانند: میکروتوربین، پیل سوختی، فتوولتائیک و باتری در اختیار باشند (شکل ۲). همچنین هسته کنترل مرکزی شبکه (SEMS) از طریق کنترلرهای اصلی سیستم عمل برنامه ریزی تولید، ذخیره و یا تبادل توان میان بخش های مختلف سیستم را به عهده می گیرد. سیستم محرک یک پیشرانه در شکل (۳) و کل بار الکتریکی وارد بر سیستم، اعم از رانشی، وادارنده، روشنایی داخلی و غیره در یک روز منتخب (منحنی بار کل ریز شبکه) در شکل (۴) رسم شده است.



شکل (۳): سیستم نیروی محرکه الکتریکی

همچنین، کلیه مشخصات فنی و قیود عملکردی واحدهای تولید پراکنده در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. از آنجایی که در تأمین توان مورد نیاز سیستم رانشی از انرژی های تجدید پذیر نظیر انرژی خورشیدی استفاده شده است، ارزیابی مناسب آنها در بهبود بهره برداری از سیستم امری ضروری خواهد بود. به این منظور، از یک الگوریتم تخمین گر نظیر شبکه عصبی برای پیش بینی میزان توان حاصل از این منابع انرژی در ریز شبکه نمونه بهره گرفته می شود. میزان توان خروجی پیش بینی شده برای واحد خورشیدی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول (۱): حدود توانی واحدهای تولیدی

ID	TYPE	MIN POWER(KW)	MAX POWER(KW)
1	Micro turbine (MT)	۱	۱۰۰
2	Fuel Cell (FC)	۳	۱۰۰
3	Photovoltaic (PV)	۰	۲۵
4	Diesel Generator (DG)	۳	۱۵۰
5	Battery (Batt.)*	-۲۵	۲۵

\* علامت مثبت در باتری به منزله تحویل توان به سیستم یا وضعیت دشارژ باتری و علامت منفی به منزله جذب توان یا وضعیت شارژ باتری است.

جدول (۲): مشخصه‌های فنی و عملکردی واحدهای تولید پراکنده (میزان آلاینده ها)

ID	TYPE	START-UP/SHUT-DOWN COST (ECT)	CO2 (KG/MWH)	SO2 (KG/MWH)	NOX (KG/MWH)
1	MT	۹	۷۲۰	۰/۰۰۳۶	۰/۱
2	FC	۱۶	۴۶۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷
3	PV	۰	۰	۰	۰
4	DG	۰	۶۵۰	۰/۲۳	۱۰
5	Batt.	۰	۱۲/۴	۰	۰

جدول (۳): میزان توان خروجی پیش بینی شده برای واحد خورشیدی

Hour	PV /Installed	Hour	PV /Installed
1	۰	۱۳	۰/۳۱۸
2	۰	۱۴	۰/۴۳۳
3	۰	۱۵	۰/۳۷
4	۰	۱۶	۰/۴۰۳
5	۰	۱۷	۰/۳۳
6	۰	۱۸	۰/۲۳۸
7	۰/۰۰۲	۱۹	۰/۱۳۳
8	۰/۰۰۸	۲۰	۰/۰۴۳
9	۰/۰۳۵	۲۱	۰/۰۰۳
10	۰/۱	۲۲	۰
11	۰/۲۳	۲۳	۰
12	۰/۲۳۳	۲۴	۰

مدیریت بهره‌برداری از شبکه نمونه پیاده‌سازی و عملکرد آن در تخصیص تولید و یا ذخیره توان با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست محیطی بررسی می شود. در

#### ۴- ارزیابی الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی برای حل مسأله

موجود، حداقل و حداکثر شدن هریک از پارامترها، به پیش شرط های انتخابی در حل مسأله وابسته است؛ مانند وضعیت کاری سیستم اصلی پیش رانش که شامل وضعیت شتاب گیری، حالت یکنواخت و کاهش سرعت است. برای مثال، در وضعیت ترمزی (کاهش سرعت) مولدها وظیفه شارژ باتری را نیز به عهده دارند. باتری ها (Batt.) در دو وضعیت دیگر نیز شارژ می شوند: اول حالت کم باری (ساعات ابتدایی صبح) و دوم وقتی که وضعیت شارژ آنها به زیر ۳۰ درصد برسد. در ساعات پیک بار (۲۱ به بعد) باتری ها در مدار قرار گرفته، به تامین انرژی می پردازند. همچنین، در ستون مربوط به پیل سوختی (FC) مشاهده می شود که در تمام ساعات این مولد با حداکثر توان کار می کند. علت این امر از یک سو ثابت و کم هزینه بودن تولید این سیستم و از سوی دیگر، هزینه بالای راه اندازی و خاموش کردن آن است. میکروتوربین (MT) نیز در تمام ساعات شبانه روز روشن است و به علت هزینه بالای راه اندازی/خاموش سازی از روشن و خاموش شدن آن پرهیز می شود. همچنین، از ساعت ۸ تا ۲۳ که دوره میان باری و پیک بار است، با تمام ظرفیت مشغول تولید انرژی الکتریکی است. از طرفی، مسأله مهم دوم توجه به زمان است. در برخی از ساعات شبانه روز امکان به کار گیری تمامی منابع وجود ندارد. برای مثال، همان طور که در جدول ملاحظه می شود، در شب سلول های خورشیدی (PV) قادر به تولید توان نبوده و با عدد صفر مشخص شده اند و حداکثر توان خود را در ساعات میانی روز که بیشترین تابش خورشید وجود دارد (ساعات ۱۳ تا ۱۷) تولید کرده اند. در جدول (۴) مشاهده می شود که دیزل ژنراتور (DG) به علت هزینه بالای سوخت آخرین مولدی است که تغذیه بار را به عهده دارد. در نهایت، از حل شرایط موجود، مقادیر توان های بهینه هریک از منابع به دست می آید. چنانکه اشاره شد، از نظر اقتصادی در ساعات اولیه کار سیستم، بخش عمده ای از بار توسط پیل سوختی تأمین می شود؛ چراکه قیمت آن در این

تمامی مدل های پیشنهادی کلیه هزینه های مربوط به بهره برداری از شبکه در نظر گرفته می شود و آلودگی ناشی از تمام آلاینده های موجود لحاظ می گردد. از طرفی ضروری است تا مسأله بهینه سازی با توجه به هر تابع هدف جداگانه حل شود و سپس با در دست داشتن مقادیر مختلف توابع هدف و تجمیع آنها در یک قالب مشخص به حل مسأله کلی پرداخته شود. اضافه می گردد که حل مسأله بهینه سازی مطرح در این مقاله از دسته مسائل برنامه ریزی خطی اعداد صحیح<sup>۱۱</sup> محسوب می شود که به علت پیچیدگی مدل برای حل آن از نرم افزار<sup>۱۱</sup> GAMS کمک گرفته شده است. این نرم افزار از سرعت بسیار بالایی در حل مسائل بهینه سازی مدل های بزرگ و پیچیده برخوردار است و معمولاً برای حل مسائل برنامه ریزی خطی (LP)، برنامه ریزی غیرخطی (NLP) و برنامه ریزی اعداد صحیح مختلط (خطی و غیرخطی) به کار می رود. همچنین، سعی می شود به منظور شناسایی بهتر هزینه ها و آلودگی های موجود در شبکه و ارزیابی میزان آنها در شرایط کاری مختلف، نخست چندین سناریوی مختلف از وضعیت کاری ریز شبکه طرح شود و سپس بر مبنای محاسبات صورت گرفته و نتایج به دست آمده تصمیمات مناسب برای ساخت مدل نهایی اتخاذ شود.

#### ۴-۱- سناریوی اول

در اولین سناریوی پیشنهادی فرض می شود سیستم الکتریکی در پیشرانه مورد مطالعه و اجزای محرکه آن طوری مدیریت و برنامه ریزی شوند که کمترین هزینه بهره برداری به دست آید. در این صورت، تخصیص نقاط کار بهینه به واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن تک هدف اقتصادی در جدول ۴ و شکل (۵) نشان داده شده است. در واقع، پس از حل معادلات موجود با تاکید بر مسأله اقتصادی، اعداد بهینه منابع در جدول و شکل مذکور نمایش داده شده اند. با توجه به معادلات توانی منابع

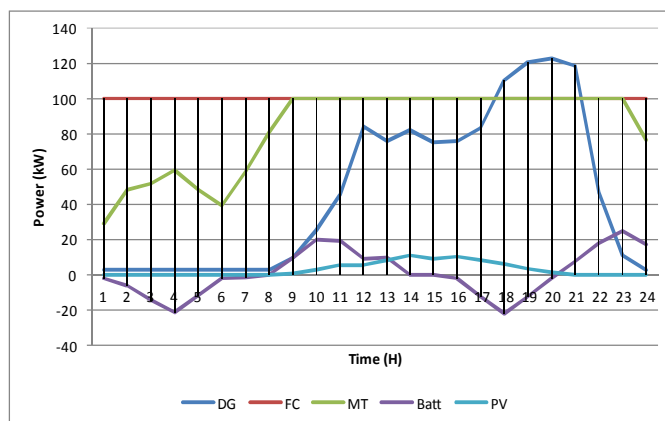


مدیریت انرژی سعی می‌نماید فرایند شارژ باتری را در ساعات کم باری و در هزینه پایین‌تر انجام دهد؛ حال آنکه عمل دشارژ را تا ساعات پیک بار به تعویق بیندازد.

ساعات به نسبت پایین‌تر از سایر واحدهاست، اما با اوج گرفتن بار، سایر واحدها با قیمت‌های تمام شده پایین‌تر خروجی خود را افزایش می‌دهند تا تعادل بار- تولید در هزینه پایین‌تر برقرار شود. باید توجه کرد زیر سیستم

جدول (۴): تخصیص نقاط کار بهینه به واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن تابع هدف اقتصادی (kW)

Hour	MT	FC	PV	DG	Batt.
	۲۸/۷۵۱۴	۱۰۰	۰	۳	-۲/۲۵۱۴
۲	۴۸/۶۰۵۶۲	۱۰۰	۰	۳	-۶/۰۰۵۶۲
۳	۵۲/۰۰۸۴۱	۱۰۰	۰	۳	-۱۴/۲۰۸۴
۴	۵۹/۲۱۲۳۶	۱۰۰	۰	۳	-۲۱/۴۱۲۴
۵	۴۸/۴۱۲۳۶	۱۰۰	۰	۳	-۱۱/۴۱۲۴
۶	۳۹/۵۳۶۴۸	۱۰۰	۰	۳	-۱/۷۳۶۴۸
۷	۵۸/۴۳۴	۱۰۰	۰/۰۵	۳	-۱/۴۸۴
۸	۸۰/۸	۱۰۰	۰/۲	۳	۰
۹	۱۰۰	۱۰۰	۰/۸۷۵	۹/۹۲۵	۱۰
۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۲/۵	۲۵/۵	۲۰
۱۱	۱۰۰	۱۰۰	۵/۷۵	۴۵/۶۰۷۴۵	۱۹/۰۴۲۵۵
۱۲	۱۰۰	۱۰۰	۵/۸۲۵	۸۴/۳۳۲۴۵	۹/۰۴۲۵۵۳
۱۳	۱۰۰	۱۰۰	۷/۹۵	۷۵/۶۵	۱۰
۱۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۰/۸۲۵	۸۱/۹۷۵	۰
۱۵	۱۰۰	۱۰۰	۹/۲۵	۷۵/۵۵	۰
۱۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰/۰۷۵	۷۶/۰۶۷۸۶	-۲/۱۴۲۸۶
۱۷	۱۰۰	۱۰۰	۸/۲۵	۸۳/۸۹۲۸۶	-۱۲/۱۴۲۹
۱۸	۱۰۰	۱۰۰	۵/۹۵	۱۱۰/۵۹۲۹	-۲۲/۱۴۲۹
۱۹	۱۰۰	۱۰۰	۳/۳۲۵	۱۲۰/۸۱۷۹	-۱۲/۱۴۲۹
۲۰	۱۰۰	۱۰۰	۱/۰۷۵	۱۲۲/۶۶۷۹	-۲/۱۴۲۸۶
۲۱	۱۰۰	۱۰۰	۰/۰۷۵	۱۱۸/۴۶۷۹	۷/۸۵۷۱۴۳
۲۲	۱۰۰	۱۰۰	۰	۴۶/۹۴۲۸۶	۱۷/۸۵۷۱۴
۲۳	۱۰۰	۱۰۰	۰	۱۱	۲۵
۲۴	۷۶/۷۷۸۷۲	۱۰۰	۰	۳	۱۷/۰۲۱۲۸



شکل (۵): عملکرد بهینه منابع تولیدی موجود با شرط حداقل هزینه بهره برداری

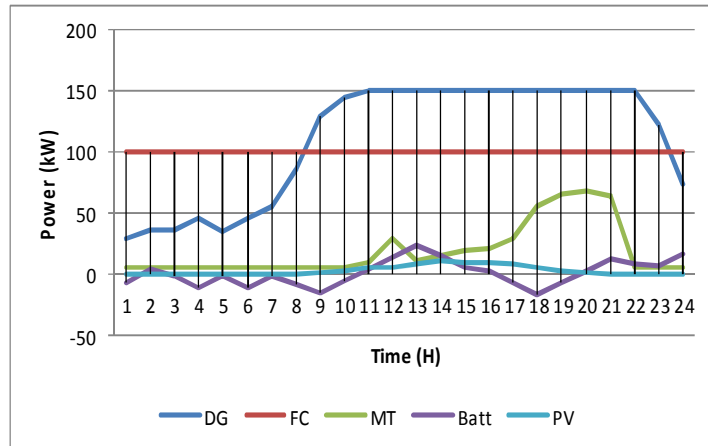
#### ۲-۴- سناریوی دوم

تحلیل خواهد شد- نتیجه شود. در این صورت، تخصیص نقاط کار بهینه به واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن تک هدف زیست- محیطی (آلودگی) به صورت نتایج نشان داده شده در جدول (۵) و شکل (۶) است.

در دومین سناریوی پیشنهادی فرض می شود بخش کنترلی پیشرانه طوری مدیریت و برنامه ریزی می شود تا کمترین آلودگی زیست- محیطی در بهره برداری - صرف نظر از آنکه به لحاظ اقتصادی چه هزینه ای بر سیستم

جدول (۵): تخصیص نقاط کار بهینه به واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن تابع هدف زیست- محیطی

Hour	MT	FC	PV	DG	Batt.
۱	۶	۱۰۰	۰	۲۹/۸۲۷۴	-۶/۳۲۷۴
۲	۶	۱۰۰	۰	۳۵/۹۲۷۴	۳/۶۷۲۶۰۴
۳	۶	۱۰۰	۰	۳۵/۹۶۶۲۷	-۱/۱۶۶۲۷
۴	۶	۱۰۰	۰	۴۵/۹۶۶۲۷	-۱۱/۱۶۶۳
۵	۶	۱۰۰	۰	۳۵/۱۶۶۲۷	-۱/۱۶۶۲۷
۶	۶	۱۰۰	۰	۴۵/۹۶۶۲۷	-۱۱/۱۶۶۳
۷	۶	۱۰۰	۰/۰۵	۵۵/۱۱۶۲۷	-۱/۱۶۶۲۷
۸	۶	۱۰۰	۰/۲	۸۶/۵۲۸۷۶	-۸/۷۳E+00
۹	۶	۱۰۰	۰/۸۷۵	۱۲۹/۵۷۲۹	-۱۵/۶۴۷۹
۱۰	۶	۱۰۰	۲/۵	۱۴۵/۱۴۷	-۵/۶۴۷۸۶۵
۱۱	۱۰/۲۹۷۸۶	۱۰۰	۵/۷۵	۱۵۰	۴/۳۵۲۳۸
۱۲	۲۹/۰۲۲۸۶	۱۰۰	۵/۸۲۵	۱۵۰	۱۴/۳۵۲۱۴
۱۳	۱۱/۲۹۷۸۶	۱۰۰	۷/۹۵	۱۵۰	۲۴/۳۵۲۱۴
۱۴	۱۵/۸۷۸۵۳	۱۰۰	۱۰/۸۲۵	۱۵۰	۱۶/۰۹۶۴۷
۱۵	۱۹/۴۵۳۵۳	۱۰۰	۹/۲۵	۱۵۰	۶/۰۹۶۴۷۴
۱۶	۲۱/۰۸۹۲۶	۱۰۰	۱۰/۰۷۵	۱۵۰	۲/۸۳۵۷۴۵
۱۷	۲۸/۹۱۴۲۶	۱۰۰	۸/۲۵	۱۵۰	-۷/۱۶۴۲۶
۱۸	۵۵/۶۱۴۲۶	۱۰۰	۵/۹۵	۱۵۰	-۱۷/۱۶۴۳
۱۹	۶۵/۸۳۹۲۶	۱۰۰	۳/۳۲۵	۱۵۰	-۷/۱۶۴۲۶
۲۰	۶۷/۶۸۹۲۶	۱۰۰	۱/۰۷۵	۱۵۰	۲/۸۳۵۷۴۵
۲۱	۶۳/۴۸۹۲۶	۱۰۰	۰/۰۷۵	۱۵۰	۱۲/۸۳۵۷۴
۲۲	۶	۱۰۰	۰	۱۵۰	۸/۸
۲۳	۶	۱۰۰	۰	۱۲۲/۹۷۸۷	۷/۰۲۱۲۷
۲۴	۶	۱۰۰	۰	۷۳/۷۷۸۷۲	۱۷/۰۲۱۲۸



شکل (۶): عملکرد بهینه منابع تولیدی موجود با شرط حداقل آلودگی ناشی از بهره برداری

علاوه بر تصمیمات انسانی بسته به شرایط محیطی نیز هست؛ چراکه گاهی به سبب قیدهای بیرونی کاربران سیستم ناگزیرند نوع بهره‌برداری از سیستم را عوض کنند. - ارائه یک نقطه کار بهینه برای عمل مناسب یک سیستم الکتریکی همواره میسر نیست؛ زیرا گاهی انتخاب نوع بهره‌برداری منوط به ارضای همزمان چندین هدف است که الزاماً این اهداف از یک سنخ نیستند (متباین هستند) و لذا در این حالت نیاز است با ارائه مجموعه‌ای از نقاط کار بهینه، نوع بهره‌برداری معین شود.

#### ۴-۳- سناریوی سوم

با توجه به مطالب ذکر شده، مشخص می‌شود که به منظور تکمیل یک طرح برنامه‌ریز هوشمند که قادر باشد بسته به شرایط مختلف، تصمیمات مناسب را اتخاذ کند حضور چند فاکتور الزامی است:

اول آنکه طرح پیشنهادی جامع و منعطف باشد؛ یعنی قابلیت انطباق با هر تغییر شرایط و یا اعمال نظر را دارا باشد؛

دوم آنکه مدل چند هدفه باشد؛ بدان معنی که در مسیر رسیدن به جواب یا جواب‌های بهینه، تعداد معینی از اهداف را بسته به نظر کاربران و شرایط مسأله مد نظر قرار دهد؛ سوم آنکه در حل یک مسأله بهره‌برداری تا حد امکان شرایط نزدیک به واقعیت مدل و برای مدل پیشنهادی جواب مناسب در زمان کافی ارائه شود.

با عوض شدن هدف بهره‌برداری از رویکرد اقتصادی به زیست- محیطی مشاهده می‌شود (جدول (۵) و شکل (۶)) در نتایج شبیه‌سازی تغییرات شگرفی رخ می‌دهد. خلاف آنچه در حالت اول عنوان شد، اکنون از واحدهایی بیشتر بهره‌برداری می‌شود که از حجم آلودگی کمتری برخوردارند. بدین سان تمایل به تأمین توان از طریق واحدهای خورشیدی و پیل سوختی به جهت آلودگی کمتر به حداکثر میزان خود می‌رسد؛ حال آنکه تبادل انرژی با سایر منابع انرژی افت می‌کند. مقایسه جدول‌های (۳) و (۵) نشان می‌دهد نیروگاه خورشیدی و پیل سوختی در تمام ساعات با حداکثر توان خود کار می‌کنند و در اولویت اول تولید انرژی قرار دارند. همچنین، جدول (۵) نشان می‌دهد میکروتوربین که طبق جدول (۲) آلاینده‌ترین منبع تولید مورد مطالعه است، آخرین گزینه تأمین انرژی بوده و دیزل ژنراتور در رده ماقبل آخر قرار دارد.

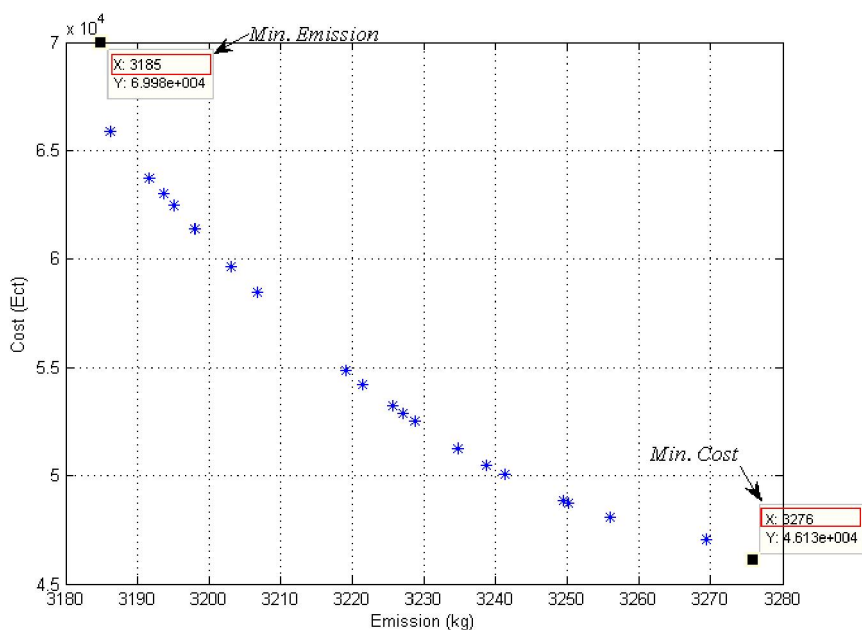
اکنون که پیاده‌سازی سناریوهای مختلف در خصوص بهره‌برداری از سیستم نمونه به پایان رسید و بحث و تحقیق در باب هر یک به تفصیل انجام شد، لازم است با مقایسه کلی نتایج حاصله چندین نکته را خاطر نشان کنیم:

- طرح الگوهای مختلف بهره‌برداری از سیستم الکتریکی مزبور به شدت به اهداف کاربران سیستم وابسته است و لذا با تغییر نوع هدف، رویه بهره‌برداری نیز تغییر خواهد نمود.

- اعمال سناریوهای مختلف عملکردی در یک سیستم

دو هدفه مسأله مدیریت هوشمند انرژی در زیر سیستم الکتریکی یک پیشرانه نمونه نشان داده شده است. از شکل فوق به خوبی پیداست که روش بهینه سازی پیشنهادی قادر است بسته به اهداف کاری مختلف و درجه اهمیت متناظرشان نقاط کار بهینه را تعیین نماید و در مسیر رسیدن به مجموعه جواب های بهینه بهترین عملکرد را نیز نتیجه دهد. در همین خصوص باید اضافه نمود از آنجایی که اهداف اقتصادی و زیست- محیطی در مسأله بهره برداری مذکور در تقابل با یکدیگر هستند، حرکت از نقاط ابتدایی نمودارها به سمت نقاط انتهایی آنها و بر مسیر پارتو به معنای تغییر الگوی بهره برداری از آلودگی کمتر و هزینه بیشتر به سوی آلودگی بیشتر و هزینه پایین تر است؛ به طوری که در قسمت بالا و سمت چپ شکل (۷) نقطه کار با بیشترین هزینه و کمترین آلودگی زیست- محیطی و در قسمت پایین و سمت راست نقطه کار با کمترین هزینه و بیشترین آلودگی زیست- محیطی مشاهده می شود.

با این اوصاف، سعی می شود در ارائه مدل نهایی بهینه ساز چند هدفه فاکتورهای یاد شده به دقت رعایت و پیاده سازی شوند. بدین منظور، فرض می شود مجدداً در سیستم نمونه تمامی واحدها مجازند بنا به شرایط در ساعاتی از بازه کاری در مدار حضور داشته باشند و یا خاموش باقی بمانند؛ به عبارتی دیگر، تمامی مولدها اینک علاوه بر هزینه تولید انرژی و آلودگی ناشی از آن، متحمل هزینه ای بابت روشن و یا خاموش شدن نیز بشوند. از این رو، نیاز است در مدل سازی تابع هزینه، تغییر وضعیت واحدها نیز لحاظ شود. همچنین، با در نظر گرفتن توابع هدف مختلف، از آنجایی که هیچ جوابی نمی تواند تمامی توابع هدف را به طور همزمان به نقطه ایده ال یا ماکزیمم برساند، مجموعه جواب های بهینه پارتو برای بهره برداری از سیستم معرفی می شوند؛ به گونه ای که هر یک از جواب های موجود در مجموعه جواب های به دست آمده بیانگر یک الگوی بهره برداری خاص و نوعی تغییر کاربری سیستم بر مبنای مصالحه بین اهداف مختلف (هزینه، آلودگی) است. در شکل (۷) منحنی جواب های پارتو حاصل از بهینه سازی



شکل (۷): منحنی جواب های پارتو حاصل از بهینه سازی مسأله مدیریت هوشمند انرژی دو هدفه

پیش بینی کننده، برای تغذیه قسمت بهینه سازی ارائه شود که این فرایند خود می تواند مبتنی بر روش تحلیلی ریاضی و یا یک الگوریتم تلفیقی نظیر الگوریتم های تکاملی و منطق فازی باشد.

### مراجع

- [1] Maher Chaabene, Mohsen Ben Ammar, "Neuron-fuzzy dynamic model with Kalman filter to forecast irradiance and temperature for solar energy systems", *Journal of Renewable Energy*, Vol. 33, No. 7, pp. 1435-1443, 2008.
- [2] J.C. Cao, S.H. Cao, "Study of forecasting solar irradiance using neural networks with preprocessing sample data by wavelet analysis", *Energy*, Vol. 31, No. 15, pp. 3435-3445, 2006.
- [3] P.L. Zervas, H. Sarimveis, J.A. Palyvos, N.C.G. Markatos, "Prediction of daily global solar irradiance on horizontal surfaces based on neural-network techniques", *Renewable Energy*, Vol. 33, No. 8, pp. 1796-1803, 2008.
- [4] Shuanghua Cao, Jiacong Cao, "Forecast of solar irradiance using recurrent neural networks combined with wavelet analysis", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 25, No. 3, pp. 161-172, 2005.
- [5] Fatih O. Hocaoglu, Ömer N. Gerek, Mehmet Kurban, "Hourly solar radiation forecasting using optimal coefficient 2-D linear filters and feed-forward neural networks", *Solar Energy*, pp. 714-726, 2008.
- [6] T.M.I. Mahlia, T.J. Saktisahdan, A. Jannifar, M.H. Hasan, H.S.C. Matseelar, "A review of available methods and development on energy storage; technology update" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 33, No. 5, pp. 532-545, 2014.
- [7] G. N. Bathurst, G. Strbac, "Value of combining energy storage and wind in short-term energy and balancing markets" *Electric Power Systems Research*, Vol. 67, No. 1, pp. 1-8, 2003.
- [8] Ryan Anderson, Samira Shiri, Hitesh Bindra, Jeffrey F. Morris "Experimental results and modeling of energy storage and recovery in a packed bed of alumina particles" *Applied Energy*, Vol. 119, No. 4, pp. 521-529, 2014.
- [9] N. Hamsic, A. Schmelter, A. Mohd, E. Ortjohann, E. Schultze, A. Tuckey, J. Zimmermann. "Stabilizing the Grid Voltage and Frequency in Isolated Power Systems

### ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، مدیریت انرژی الکتریکی هوشمند در یک سیستم پیشرانه الکتریکی نمونه که مجهز به مولدهای انرژی الکتریکی مانند: سلول های خورشیدی، پیل سوختی، میکرو توربین و باتری است، بررسی شده است. مسأله بهینه سازی با دو تابع هدف متباین هزینه بهره برداری و آلودگی محیط زیست تعریف شد و با استفاده از روش برنامه ریزی عدد صحیح مجموعه جواب های بهینه پارتو به دست آمد. روش پیشنهادی نشان داد که سیستم مدیریت انرژی یا اپراتور سیستم الکتریکی یک پیشرانه قادر است بسته به اهداف کاری مختلف و درجه اهمیت متناظرشان نقاط کار بهینه را تعیین نماید و در مسیر رسیدن به مجموعه جواب های بهینه بهترین عملکرد را نیز به دست آورد. در روش پیشنهادی، ساعات استفاده و میزان استفاده از منابع مختلف انرژی به گونه ای که کمترین هزینه و پایین ترین آلودگی زیست-محیطی را به دست دهد، تعیین شده است. در همین خصوص باید اضافه نمود از آنجایی که اهداف اقتصادی و زیست-محیطی در مسأله بهره برداری مذکور در تقابل با یکدیگر هستند، حرکت از نقاط ابتدایی نمودارها به سمت نقاط انتهایی آنها و بر مسیر پارتو به معنای تغییر الگوی بهره برداری از آلودگی کمتر و هزینه بیشتر به آلودگی بیشتر و هزینه پایین تر است.

در نهایت، می توان گفت در این مطالعه، یک سیستم مدیریت انرژی هوشمند (SEMS) به منظور بهینه کردن بهره برداری از سیستم نمونه و برنامه ریزی تولید و ذخیره انرژی طراحی شده است. از سویی، چون توابع بهینه سازی به طور گسترده به پروفیل بار سیستم و گاهی به میزان انرژی قابل حصول از یک منبع خاص (نظیر انرژی خورشیدی) وابسته است، بخش پیش بینی کننده ای برای ارزیابی میزان بار و یا انرژی تولیدی در بازه زمانی مورد مطالعه برای SEMS ارائه شده است. همچنین، با ارائه یک الگوریتم پیش بینی کننده مناسب، پارامترهای مزبور برای بازه های کوتاه ساعت به ساعت پیش بینی شده است.

با توجه به الگوریتم پیش بینی کننده در مطالعات بعدی سعی شده است اطلاعات خروجی با دقت مناسب از بخش

4. Recurrent Neural Network
5. Diagonal Recurrent Wavelet Neural Network
6. Pareto-optimal set
7. Dominate
8. Non-dominated
- <sup>9</sup>. Smart Energy Management System
- <sup>10</sup>. mixed-integer linear programming
- 11 . The general algebraic modeling system

- Using a Flywheel Energy Storage System,” The Great Wall World Renewable Energy Forum , Beijing, China, 2006.
- [10] A. Ruddell, G. Schönnenbeck, R. Jones, “Flywheel Energy Storage Systems”, Rutherford Appleton Lab, UK.
- [11] Vallve, X.; Graillot, A.; Gual, S.; Colin, H.; “Micro storage and demand side management in distributed PV grid-connected installations”, 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization, Publication, pp. 1-6, 2007.
- [12] S.A. Kalogirou, E. Mathioulakis, V. Belessiotis "Artificial neural networks for the performance prediction of large solar systems" Renewable Energy, Vol. 63, No. 3, pp. 90-97, 2014.
- [13] A. Azadeh, R. Babazadeh, S.M. Asadzadeh "Optimum estimation and forecasting of renewable energy consumption by artificial neural networks" Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 27, No. 11, pp. 605-612, 2013.
- [14] Kerim Karabacak, Numan Cetin "Artificial neural networks for controlling wind-PV power systems: A review" Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 29, No. 1, pp. 804-827, 2014.
- [15] Francis Mwasilu, Jackson John Justo, Eun-Kyung Kim, Ton Duc Do, Jin-Woo Jung "Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration" Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 34, No. 6, pp. 501-516, 2014.
- [16] H. Bindner, “Power Control for Wind Turbines in Weak Grids,” Rios National Lab, March 1999.
- [17] Bhatia, R.S.; Jain, S.P.; Jain, D.K.; Singh, B.; “Battery Energy Storage System for Power Conditioning of Renewable Energy Sources”, International Conference on Power Electronics and Drives Systems, Vol. 1, pp. 501- 506, 2005.
- [18] Shuang Yu; Mays, T.J.; Dunn, R.W.; “A new methodology for designing hydrogen energy storage in wind power systems to balance generation and demand “, International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, pp. 1 - 6, 2009.

- 
- <sup>1</sup>. Irradiation
  2. Adaptive Estimation Unit
  3. Sinusoid-Tracking algorithm