برنامه ریزی بهینه منابع تولید در ریزشبکه مستقل از شبکه با الگوریتم چند بعدی کلونی زنبور مصنوعی (MABC)

فاطمه آذری نژادیان[۱]، موسی مرزبند[۲] ، سید مازیار میرحسینی مقدم [۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۹/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۲/۳۱

چکیده:

امروزه علاقه بسیاری جهت مدیریت و برنامه ریزی سیستم‌های انرژی به وجود آمده که هدفشان حداقل نمودن هزینه تولید، کاهش قیمت برق مصرفی برای مصرف کنندگان و استفاده بهتر از منابع تجدیدپذیر انرژی در شبکه‌های قدرت است. در این راستا، از آنجا که مدیریت سمت تقاضا مشارکت مصرف کنندگان را در سیستم‌های قدرت افزایش می‌دهد، مدل‌سازی مشخصه‌های مصرف کننده از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این مقاله از یک الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل چند بعدی بر روی یک ریز شبکه به منظور تعیین تولید بهینه در آن استفاده شده است که در آن با در نظر گرفتن قیمت پیشنهادی هر یک از منابع تولید و ذخیره و همچنین قیمت پیشنهادی بارهای قابل قطع مدیریت بهینه انرژی صورت می‌گیرد. مقایسه الگوریتم پیشنهاد شده در این مقاله با الگوریتم مربوط به سیستم‌های انرژی متداول نشاندهنده حدود ۳۰ درصد کاهش هزینه به همراه افزایش در سرعت تصمیم گیری توسط کنترلر مرکزی و همچنین بهبود عملکرد منابع موجود در ریزشبکه مربوط به سیستم تحت مطالعه است.

کلمات کلیدی:

الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی، ریزشبکه ، مدیریت سمت تقاضا، مدیریت بهینه انرژی

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان niloofar.azari@yahoo.com
۲) دانشیار پژوهشی دانشگاه منچستر mousa.marzband@manchester.ac.uk
۳) استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان(نویسنده مسئول) m.mirhosseini@liau.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از منابع انرژی جایگزین نظیر منابع بادی، خورشیدی، آبی به دلیل نیاز به افزایش قابلیت اطمینان، کیفیت توان بهتر، انعطاف پذیری بیشتر، قیمت برق پایین‌تر و اثرات زیست محیطی کمتر افزایش یافته است [۱، ۱۰ و ۱۱]. در ضمن، به دلیل نفوذپذیری بالای منابع پراکنده[1] (DG) در شبکه، چالش‌های جدیدی در رابطه با عملکرد ایمن و موثر آنها در شبکه به وجود آمده است که این چالش‌ها را می‌توان تا حدی با بکارگیری ریزشبکه‌ها[2] (MG) که شامل مجموعه‌ای از DGها، بارهای الکتریکی و منابع تولید متصل به یکدیگر و نیز شبکه توزیع هستند، برطرف نمود [۱ و ۱۲]. جهت مدیریت و کنترل عملکرد سیستم‌های MG و به منظور اعمال زمانبندی دقیقتر منابع انرژی روش‌های مختلف در حال اصلاح و پیشرفت هستند [۱۰ و ۱۱]. تاکنون تلاش‌های بسیاری در رابطه با زمانبندی بهینه عملکرد سیستم MG تحت شرایط بارگذاری و با در نظر گرفتن اهداف مختلف انجام شده است [۶ و ۱۰]. روش‌های فراابتکاری تکنیک‌های مبتنی بر جمعیت تصادفی‌اند که در مسائل توزیع بهینه توان مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲، ۴ و ۱۶]. به دلیل قابلیت جستجو برپایه جمعیت، سادگی پیاده سازی و سرعت همگرایی مناسب برای حل مسائل بهینه سازی در موضوعات مختلف مطرح شده در سیستم‌های قدرت، به الگوریتم بهینه سازی برپایه کلونی زنبور مصنوعی[3] (ABC) توجه ویژه ای شده است [۵، ۷–۹ و ۱۴]. در این مقاله برای حل مسئله مدیریت انرژی برروی یک ریزشبکه مفروض برای یک دوره زمانی ۲۴ ساعته از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چند بعدی[4] (MABC) استفاده شده که هدف کلی آن کاهش هزینه تولید و در نتیجه، کاهش قیمت برق مصرفی مصرف‌کنندگان است.

فرموله کردن ریاضی مسئله

مدل سازی ریاضی سیستم ریزشبکه

سیستم تحت مطالعه یک ریزشبکه شامل منابع تولید تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، منابع ذخیره انرژی و نیز بارهای قابل‌قطع و غیر قابل قطع بوده و در حال کار تحت شرایط مستقل از شبکه است. تابع هزینه ای جهت بهینه سازی عملکرد ریزشبکه با هدف کاهش هزینه تولید و قیمت برق مصرفی به همراه برآورده نمودن قیود فنی و اقتصادی تعریف شده، در این مقاله ارائه شده است. تابع هزینه به این صورت تعریف می‌شود:

1) Distributed Generation
2) Micro Grid
3) Artificial Bee Colony
4) Multi-dimension Artificial Bee Colony

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

$$z = \min\left(\sum_{t=1}^{m} C_t^{Total}\right) = \min\left(\sum_{t=1}^{m}\left(c_t^g + c'^g_t + c_t^{ES-} - c_t^l - c_t^{ES+} + \Omega_t\right)\right) \quad (۱)$$

که در آن m تعداد دوره‌های شبیه سازی در بازه زمانی t، c_t^g و c'^g_t هزینه انرژی تولید شده توسط منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در دوره t (ریال)، c_t^{ES+} و c_t^{ES-}: هزینه انرژی تولید شده به وسیله واحد ES در طول عملکرد شارژ و دشارژ در بازه زمانی t (ریال)، c_t^l: هزینه انرژی مصرف شده به وسیله تقاضای بار قابل قطع[1] (RLD) در دوره زمانی t (ریال)، Ω_t هزینه جریمه ناشی از توان تأمین نشده[2] (UP) در طول دوره زمانی t (ریال) هستند.

$$c_t^g = \sum_{k=1}^{n^g}(\lambda_t^{k,g} \cdot P_t^{k,g} \cdot \Delta t) \quad (۲)$$

$$c'^g_t = \sum_{k=1}^{n^g}(\lambda'^{k,g}_t \cdot P'^{k,g}_t \cdot \Delta t) \quad (۳)$$

$$c_t^l = \sum_{k=1}^{n^l}(\lambda_t^{k,l} \cdot P_t^{k,l} \cdot \Delta t) \quad (۴)$$

$$c_t^{ES+} = \sum_{k=1}^{n^{ES}}(\lambda_t^{ES+} \cdot x_t^{ES} \cdot P_t^{k,ES} \cdot \Delta t) \quad (۵)$$

$$c_t^{ES-} = \sum_{k=1}^{n^{ES}}(\lambda_t^{ES-} \cdot (1 - x_t^{ES}) \cdot P_t^{k,ES} \cdot \Delta t) \quad (۶)$$

$$\Omega_t = \lambda_t^{UP} \cdot P_t^{UP} \cdot \Delta t \quad (۷)$$

$\lambda_t^{k,g}$, $\lambda'^{k,g}_t$ قیمت پیشنهاد شده به وسیله واحدهای تولید الکتریسیته تجدیدپذیر و تجدیدناپذیرkام در دوره زمانی t (ریال/kW)، $P_t^{k,g}$, $P'^{k,g}_t$ توان خروجی تولیدشده به وسیله واحدهای تولید الکتریسیته تجدیدپذیر و تجدیدناپذیرkام در

1) Responsible Load Demand
2) Undelivered Power

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

دوره زمانی t (kW)، n^g و n'^g تعداد واحدهای تولید تجدیدپذیر و تجدیدناپذیرنصب شده در ریز شبکه، $\lambda_t^{k,l}$ قیمت پیشنهادی به وسیله k RLDام در دوره زمانی t (kW/ریال)، $P_t^{k,l}$ توان خروجی تولیدشده به وسیله RLD، kام در دوره زمانی t (kW)، λ_t^{UP} قیمت پیشنهادی زمانی که سیستم با UP مواجه شده (kW/ریال) و P_t^{UP} مقدار توانی که به وسیله MG تأمین نشده (kW) هستند.

قیود تعریف شده

تعادل توان بین مصرف کنندگان و تولیدکنندگان

$$\sum_{k=1}^{n^g} p_t^{k,g} + \sum_{k=1}^{n'^g} p'^{k,g}_t + \sum_{k=1}^{n^{ES}} (1-x_t^{ES}) \cdot p_t^{k,ES} + p_t^{UP} = p_t^{NRL} + \sum_{k=1}^{n^l} p_t^{k,l} + \sum_{k=1}^{n^{ES}} x_t^{ES} \cdot p_t^{k,ES} \quad (۸)$$

که n^g و n'^g تعداد منابع تولید تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر، n^{ES} تعداد منابع ذخیره انرژی، n^l تعداد بارهای غیرقابل‌قطع، x_t^{ES} متغیر حالت مربوط به منابع ذخیره انرژی، $p_t^{k,g}$ و $p'^{k,g}_t$ توان تولیدشده به وسیله واحدهای تولید تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر در زمان t (kW)، $p_t^{k,ES}$ توان شارژ یا دشارژ باتری (kW)، p_t^{UP} توان تأمین نشده (kW) و p_t^{NRL} توان بارهای غیر قابل قطع (kW) هستند.

قیود مربوط به واحد تولید الکتریسیته تجدیدپذیر

$$0 \le \sum_{k=1}^{n^g} p_t^{k,g} \le \overline{p}_t^g \quad (۹)$$

که در این رابطه، $p_t^{k,g}$ توان تولیدشده به وسیله واحدهای تولید تجدیدپذیر در زمان t (kW)، $\overline{p}_t^g$ حداکثر توان تولیدشده به وسیله واحدهای تولید تجدیدپذیر در زمان t (kW) هستند.

قیود مربوط به منابع ذخیره کننده انرژی (ES)

$$E_t^{ES} \le \overline{E}^{ES} \quad (۱۰)$$

$$P_t^{ES-} \le \overline{P}^{ES-} \times X^{ES}, X^{ES} \in \{0,1\}, P_t^{ES-} \ge 0 \quad (۱۱)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

$$P_t^{ES+} \le \overline{P}^{ES+} \times (1 - X^{ES}), X^{ES} \in \{0,1\}, P_t^{ES+} \ge 0 \quad (۱۲)$$

$$P_t^{ES-} \cdot \Delta t \le \overline{E}_{t-1}^{ES} \quad (۱۳)$$

$$P_t^{ES+} \cdot \Delta t + E_{t-1}^{ES} \le \overline{E}^{ES} \quad (۱۴)$$

$$E_t^{ES} = E_{t-1}^{ES} + (P_t^{ES+} - P_t^{ES-}) \times \Delta t \quad (۱۵)$$

$$\underline{E}^{ES} \le E_t^{ES} \le \overline{E}^{ES} \quad (۱۶)$$

$$SOC_t = \frac{E_t^{ES}}{E_{Tot}^{ES}} \quad (۱۷)$$

که در آنها، E_t^{ES} انرژی موجود در منبع ذخیره کننده انرژی در زمان t (kWh)، $\underline{E}^{ES}, \overline{E}^{ES}$ حد بالا و پایین انـرژی منبع ذخیره کننده (kWh) ، P_t^{ES-}, P_t^{ES+} میزان توان شارژ و دشـارژ منبـع ذخیـره کننـده انـرژی در زمـان t (kW) و SOC_t نشاندهنده وضعیت انرژی موجود در منبع ذخیره کننده انرژی(نسبت انرژی موجود در منبع به کل ظرفیت انرژی ذخیره کننده برحسب درصد) هستند.

قیود مربوط به RLD

$$P_t^{RLD} \le \overline{P}^{RLD} \quad (۱۸)$$

$$\sum_t P_t^{RLD} = \sum_t P_t^{UP} \quad (۱۹)$$

$$P_t^{EGP} = P_t^{ES+} + (1 - X_t^{RLD}) \times P_t^{RLD}, X_t^{RLD} \in \{0,1\} \quad (۲۰)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

$$\sum_t P_t^{EGP} = \sum_t P_t^{ES+} + \sum_t P_t^{RLD} \quad (۲۱)$$

که در آنها، P_t^{RLD} مقدار توان مصرف شده توسط RLD (kW) و، $\bar{P}^{RLD}$ حداکثر توان مصرف شـده توسـط RLD (kW) P_t^{EGP} کل توان تولیدی (kW) و X_t^{RLD} متغیر حالت مربوط به بارهای RLD هستند.

$$\left[DT_{t-1}^{i} - T^{ON,i}\right] \cdot \left[X_{t-1}^{i} - X_t^{i}\right] \geq 0, \forall i,t \quad (۲۲)$$

$$\left[-DT_{t-1}^{i} - T^{OFF,i}\right] \cdot \left[X_t^{i} - X_{t-1}^{i}\right] \geq 0, \forall i,t \quad (۲۳)$$

$$P_t^{g_i} - P_{t-1}^{g_i} \leq \overline{R}^{i} \quad (۲۴)$$

$$P_{t-1}^{g_i} - P_t^{g_i} \leq \underline{R}^{i} \quad (۲۵)$$

که DT_t^i بازه زمانی برای روشـن شـدن واحـد i در زمـان t (Sec)، $T^{ON,i}$ حـداقل زمـان روشـن شـدن واحـد i (Sec)، $T^{OFF,i}$ حداقل زمان خاموش شدن واحد i (Sec)، X_t^i وضعیت واحـد i در زمـان t (یـک متغییـر بـاینری دارای مقادیر ۱ در هنگام روشن بودن و صفر در هنگام خاموش بودن)، $P_t^{g_i}$ توان تولیدی توسط واحـد i در زمـان t (kW)، $\overline{R}^{i}$ نرخ شیب بالارونده توان واحد i زمان روشن شدن (kW) و $\underline{R}^{i}$ نرخ شیب پایین رونده توان واحد i در زمان خاموش شدن (kW) هستند.

پیاده سازی ریاضی واحد MABC

الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی (ABC) یک تکنیک محاسباتی تکاملی بوده کـه اولـین بـار در سـال ۲۰۰۵ توسـط کارابوگا معرفی شده است[۸]. این الگوریتم بر پایه رفتار خوراک جویی زنبورهای عسل پایه گذاری شده اسـت و بـا وجـود اینکه الگوریتم ABC از تعداد پارامترهای کنترلی کمتری نسبت به دیگر الگوریتم‌های تحت مطالعه برخوردار است، کارایی و عملکرد آن در یافتن نقاط بهینه بمراتب بهتر از الگوریتم‌های مقایسه شده دیگر اسـت[۱۴]. همچنـین مـی‌تـوان از ایـن الگوریتم در بهینه یابی‌های چندقیدی و چندبعدی به طور موثر استفاده نمود[۸ و ۱۴]. هوش جمعی زنبور عسل از سه جـزء اساسی شامل منابع غذایی، جستجوگرهای کارگر و جستجوگرهای بیکار تشکیل شده است. مشابه با الگوریتم‌های مبتنی بر

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

روش‌های ابتکاری، الگوریتم ABC نیز یک فرایند تکرار شونده بوده که با یک جمعیت اولیه شروع می‌شود که شامل پاسخ‌های قابل قبول است. گام‌های پیاده سازی الگوریتم ABC به شرح زیر است:

گام ۱: مقداردهی اولیه منابع غذایی

گام ۲: مقداردهی اولیه زنبورهای کارگر

گام ۳: محاسبه ارزش احتمالی انتخاب‌ها

گام ۴: ارزیابی زنبورهای تماشاچی

گام ۵: ارزیابی زنبورهای پیشاهنگ

مقداردهی اولیه منابع غذایی

هر منبع غذایی نشاندهنده یک پاسخ ممکن مسئله است. بنابراین، جمعیت اولیه پاسخ‌ها از N_p تعداد بردار تصادفی D-بعدی، با مقادیر حقیقی تشکیل بوده که در آن هر پاسخ به صورت بردار $X_t^i = \{x_t^{i,1}, x_t^{i,2}, ..., x_t^{i,D}\}$ تعریف شده است و نشاندهنده i امین منبع غذایی در جمعیت است. سپس هر منبع غذایی به صورت رابطه زیر تولید می‌شود:

$$x_t^{i,j} = \underline{x}^j + \rho \times (\overline{x}^j - \underline{x}^j) \quad (۲۶)$$

که $x_t^{i,j}$ j امین پارامتر از جواب i ام در زمان t، $i \in \{1,2,..., N_p\}$ و $j \in \{1,2,...,D\}$ و $\overline{x}^j$ و $\underline{x}^j$ به ترتیب بعنوان حد بالا و پایین درایه‌های jام اند و این منابع غذایی به صورت تصادفی به N_p تا زنبور کارگر اختصاص داده شده و ارزش سودآوری آنها ارزیابی می‌شود. ρ یک عدد تصادفی در بازه [۱ و ۰] است.

مقداردهی اولیه زنبورهای کارگر

در این گام، هر زنبور کارگر با استفاده از منبع غذایی X_t^i یک منبع غذایی جدید $X_t'^i$ را در همسایگی موقعیتش با استفاده از معادله جستجوی پاسخ تولید می‌کند. معادله جستجوی پاسخ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$x_t'^{i,j} = x^{i,j} + \rho' \times (x^{i,j} - x^{k,j}) \quad (۲۷)$$

در این رابطه، ρ' یک عدد تصادفی در بازه [۱و۱-]، k مقادیر $k \in \{1,2,..., N_p\}$ ، j به صورت تصادفی انتخاب شده و $k \neq i$ در نظر گرفته می‌شود. پس از تعیین $X_t'^i$، بایستی با X_t^i مقایسه شود. اگر شایستگی آن بهتر از X_t^i

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

باشد، درنتیجه، مقدار $X_t'^i$ جایگزین مقدار X_t^i شده و به عنوان یک عضو جدید جمعیت در نظر گرفته خواهد شد. در غیر این صورت، مقدار X_t^i باقی خواهد ماند.

محاسبه ارزش احتمالی انتخاب‌ها

پس از اتمام فرایند جستجو توسط زنبورهای کارگر، در سالن رقص کندو اطلاعات مربوط به میزان شهد و موقعیت منابع کشف شده با زنبورهای تماشاچی به اشتراک گذاشته می‌شود. سپس زنبور تماشاچی پس از ارزیابی اطلاعات مربوط به شهد، موقعیت منبع غذا را با احتمالی که متناسب با میزان شهد است، انتخاب می‌کند. فرایند انتخاب براساس شایستگی می‌تواند با استفاده از روش‌هایی از قبیل چرخ رولت، رتبه بندی، نمونه برداری تصادفی، انتخاب تورنومتری صورت پذیرد [۸ و ۱۴]. در این مقاله از روش چرخ رولت استفاده شده است. انتخاب چرخ رولت در هر تکرار متناسب با ارزش شایستگی می‌تواند از رابطه زیر محاسبه شود:

$$P_t^i = \frac{fit_t^i}{\sum_{j=1}^{N_p} fit_t^j} \tag{۲۸}$$

که در آن، P_t^i احتمال انتخاب مربوط به پاسخ i ام در زمان t و fit_t^i ارزش شایستگی مربوط به پاسخ i ام در زمان t است. واضح است که fit_t^i بالاتر به معنی احتمال بیشتر برای انتخاب منبع i ام است.

ارزیابی زنبورهای تماشاچی

یک زنبور تماشاچی پس از دریافت اطلاعات مربوط به شهد از تمامی‌زنبورهای کارگر، اقدام به ارزیابی این اطلاعات می‌کند. سپس منبع X_t^i را با توجه به ارزش احتمالی‌اش (یعنی P_t^i) انتخاب می‌کند. پس از آن با استفاده از (۲۷)، منبع جدید $X_t'^i$ را محاسبه می‌کند. اگر منبع اصلاح شده، شهدی برابر و یا بیشتر از منبع X_t^i داشته باشد، منبع جدید را جایگزین منبع X_t^i نموده و آن را به عنوان عضو جدید جمعیت لحاظ می‌کند.

ارزیابی زنبورهای پیشاهنگ

چنانچه منبع غذایی X_t^i نتواند طی تکرارهای از پیش تعیین شده، بهبود یابد، این منبع به عنوان منبع رها شده تلقی می‌شود. سپس زنبور متناظر با این منبع تبدیل به یک زنبور پیشاهنگ خواهد شد. زنبور پیشاهنگ به صورت تصادفی منبع

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

غذایی را از رابطه زیر تولید می‌کند:

$$x_t^{i,j} = \underline{x}^j + \rho'' \times (\overline{x}^j - \underline{x}^j) \quad (۲۹)$$

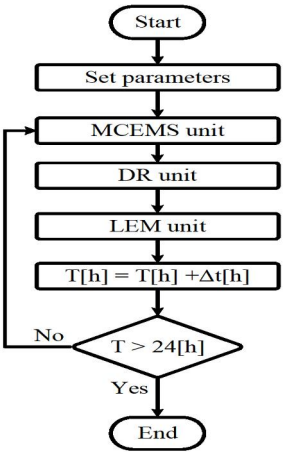
که در این رابطه، ρ'' یک عدد تصادفی در بازه [۱و۰] است.

الگوریتم‌های پیاده سازی شده برای EMS

همان طوری که قبلا بیان شد، در این مقاله دو الگوریتم مختلف به نام‌های MCEMS_LEM و EMS-MABC_LEM به منظور پیاده سازی EMS برپایه LEM با استفاده از روش فرا ابتکاری و همچنین بدون استفاده از بهینه سازی ارائه شده و کارکرد هریک از آنها در سیستم تحت مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، هر یک از این الگوریتم‌ها به تفصیل توضیح داده شده است.

الگوریتم MCEMS_LEM

این الگوریتم برای پیاده سازی EMS در ریزشبکه ایزوله شده پیشنهاد شده و قابلیت‌های آن از قبیل انعطاف پذیری، سرعت بالا در تصمیم گیری و سازگاری در اضافه نمودن تجهیزات جدید به سیستم MG در مقاله قبلی توسط نویسندگان نشان داده شده است [۱۰ و ۱۱]. ولی در این الگوریتم، توان‌های مرجع مربوط به واحدهای تولید در مقدار بهینه انتخاب نشده است. علاوه بر این، واحد DR نیز برای پیاده سازی مدیریت بهینه طرف مصرف کنندگان اضافه شده است. همان طوری که از شکل (۱) مشاهده می‌شود، این الگوریتم دربرگیرنده واحدهای EMS، DR و LEM است که به تفصیل در مقاله قبلی توسط نویسندگان توضیح داده شده است [۱۰ و ۱۱].

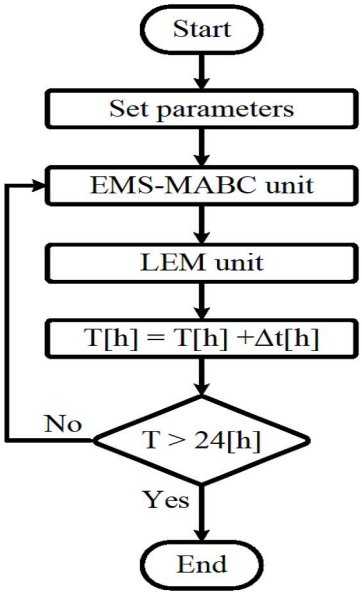


شکل ۱) روندنمای الگوریتم MCEMS_LEM

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

الگوریتم EMS-MABC_LEM

این الگوریتم از دو واحد به نام‌های EMS-MABC و LEM همان طوری که در شکل (۲) نشان داده شده، تشکیل شده است. نحوه پیاده سازی هر یک این واحدها در ادامه توضیح داده شده است.



شکل ۲) روندنمای الگوریتم پیشنهاد شده برای پیاده سازی EMS-MABC_LEM

واحد EMS-MABC

هر پاسخ مسئله بهینه سازی دارای D متغیر و شامل پارامترهایی چون توان خروجی توربین بادی، خورشیدی، میکروتوربین، توان شارژ و دشارژ ES، سیستم حرارتی EWH[1] و پاسخ تقاضا[2] DR است. هدف پیدا نمودن مقادیر این متغیرهاست که در نهایت منجر به کمترین مقدار هزینه تولید الکتریسیته با استفاده از تابع هزینه (۱) شود. بنابراین، X_t^i به صورت بردار $X_t^i = \{x_t^{i,1}, x_t^{i,2}, ..., x_t^{i,D}\}$ تعریف شده است که هر یک از درایه‌های آن عبارتند از $x_t^{i,1} = P_t^{i,WT}$، $x_t^{i,2} = P_t^{i,PV}$، $x_t^{i,3} = P_t^{i,MT}$، $x_t^{i,4} = P_t^{i,ES+}$، $x_t^{i,5} = P_t^{i,ES-}$، $x_t^{i,6} = P_t^{i,EWH}$ و $x_t^{i,7} = P_t^{i,DR}$. این متغیرها به دو نوع متغیر وابسته و مستقل تقسیم بندی می‌شوند. توان خروجی MT، ES، EWH و DR به عنوان متغیرهای وابسته و توان خروجی WT و PV به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند؛ زیرا منابع WT و PV به

1) Electrical Water Heat
2) Demand Response

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

عنوان منابع تولید غیر قابل کنترل هستند و بسته به شرایط آب و هوایی توان خروجی آنها قابل تغییر است و مستقل از توان بار و یا منابع تولید دیگر می‌باشند. این درحالی است که توان خروجی MT و ES بسته به توانی که توسط منابع تجدید پذیر (WT و PV) تولید شده و میزان بار مصرفی، می‌تواند تغییر نماید. در نتیجه، ابتدا بایستی متغیرهای مستقل ($P_t^{i,WT}$ و $P_t^{i,PV}$) به صورت تصادفی با در نظر گرفتن حداکثر توان تولیدی توسط این منابع ایجاد شوند. سپس با توجه به این متغیرهای مستقل و نیز قیود مطرح شده برای حل مسئله، مقادیری به صورت تصادفی برای متغیرهای وابسته ایجاد خواهد شد. علاوه بر این، زمانی که پاسخ یا منبع رهاشده موجود باشد، زنبور پیشاهنگ به همین منوال (ابتدا متغیرهای مستقل و سپس وابسته) منبع جدید خود را پیدا می‌نماید. واحد EMS-MABC به وسیله شبه کد به صورت الگوریتمی‌که در ادامه آمده است، قابل پیاده سازی است:

۱- مقداردهی اولیه پارامترهای کنترلی و پارامترهای مسئله
۲- تنظیم زمان t=1
۳- for t=1:48
۴- تولید جمعیت اولیه مطابق رابطه (۲۶)
۵- ارزیابی شایستگی جمعیت به وسیله رابطه (۱)
۶- تنظیم Cycle =1
۷- while Cycle< MCN (Maximum Cycle Number)
۸- برای هر زنبور کارگر
-تولید یک پاسخ جدید با استفاده از رابطه (۲۷) و چک کردن قیود
-محاسبه شایستگی با استفاده از رابطه (۱)
-بکارگیری فرایند حریصانه
۹- محاسبه ارزش احتمالاتی P_t^i برای پاسخ‌ها با استفاده از رابطه (۲۸)
۱۰- برای هر زنبور بیکار یا تماشاچی
-انتخاب یک پاسخ با توجه به P_t^i
- تولید پاسخ جدید با استفاده از رابطه (۲۷) و چک کردن قیود
- محاسبه شایستگی با استفاده از رابطه (۱)
- بکارگیری فرایند حریصانه
۱۱- ترک منابع فرسوده توسط زنبورها
۱۲- زنبور پیشاهنگ (اگر منبع رها شده وجود داشت)
- تولید یک پاسخ رندوم جدید با استفاده از رابطه (۲۹)
- جایگزین کردن پاسخ رها شده با پاسخ جدید
- محاسبه شایستگی با استفاده از رابطه (۱)
۱۳- به خاطر سپردن بهترین پاسخی که تاکنون پیدا شده

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

۱۴- Cycle = Cycle + 1
۱۵- End while
۱۶- t = t + 1
۱۷- End for

واحد بازار انرژی محلی[1] (LEM)

در این واحد با استفاده از حراج یک سویه[2] (SSA) یک بازار محلی برای سیستم ریزشبکه تحت مطالعه معرفی شده است. این واحد به طور مفصل و جامع در مقاله قبلی توسط نویسندگان ارائه شده است [۱۰].

ساختار شبکه تحت مطالعه

الگوریتم‌های EMS-MABC_LEM و MCEMS_LEM بر روی سیستم ریزشبکه موسسه تحقیقات انرژی کاتالونیا، بارسلون–اسپانیا پیاده سازی شده‌اند. در ریزشبکه مورد مطالعه تمامی‌منابع با هر مشخصه‌ای براحتی می‌توانند توسط ریزپردازنده DSP شبیه سازی شوند. این ریزشبکه تاکنون به منظور بررسی مفاهیم مختلفی از قبیل طراحی انواع روش‌های کنترلی و پیاده سازی EMS مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰ و ۱۱ و ۱۵]. نمای کلی سیستم بررسی شده در این مطالعه در شکل(۳) نشان داده شده است. این ریزشبکه دارای ۲ منبع تجدیدپذیر انرژی (PV و WT)، یک منبع از نوع MT و یک منبع ذخیره کننده انرژی و همچنین یک بار اصلی به عنوان بار بحرانی غیرقابل کنترل و نیز یک بار کمکی قابل کنترل (EWH و DR در این مطالعه) به عنوان مصرف کنندگان است [۱۰]. همچنین سیستم دارای یک کنترلر مرکزی بوده که وظیفه آن تعیین توان‌های مرجع برای هر یک از منابع تولید و همچنین میزان مصرف مصرف‌کنندگان است که پس از ارزیابی تابع هزینه تعریف شده برای حل مسئله و نیز با در نظر گرفتن تمامی‌قیود فنی موجود با استفاده از الگوریتم پیاده سازی شده، تعیین می‌شوند [۱۰]. منحنی توان تولیدی به وسیله WT، PV و توان مصرفی توسط بارهای بحرانی در شکل (۴–الف–ج) بترتیب نشان داده شده است. با اعمال ۳ سناریوی مختلف، توانایی الگوریتم پیشنهادی جهت زمانبندی و عملکرد بهینه، حداقل نمودن هزینه برق تولیدی توسط ریزشبکه و نهایتا مدیریت طرف تولیدکنندگان ارزیابی می‌شود.

سناریوهای زیر در نظر گرفته شده‌اند:

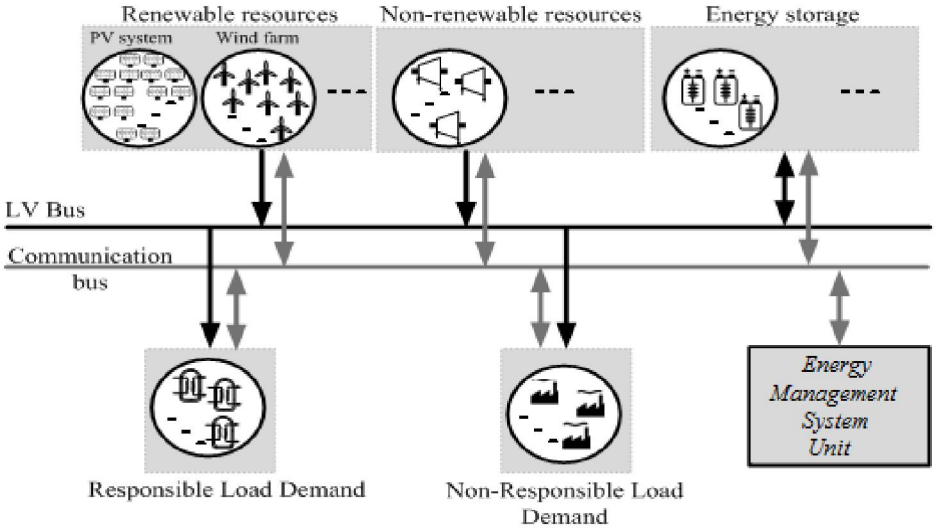
۱- بهره برداری در شرایط عادی، در این سناریو داده‌های مربوط به بازه‌های زمانی نیم ساعته در شرایط عادی کار سیستم به عنوان ورودی به الگوریتم در نظر گرفته شده است.

1) Local Energy Market
2) Single Side Auction

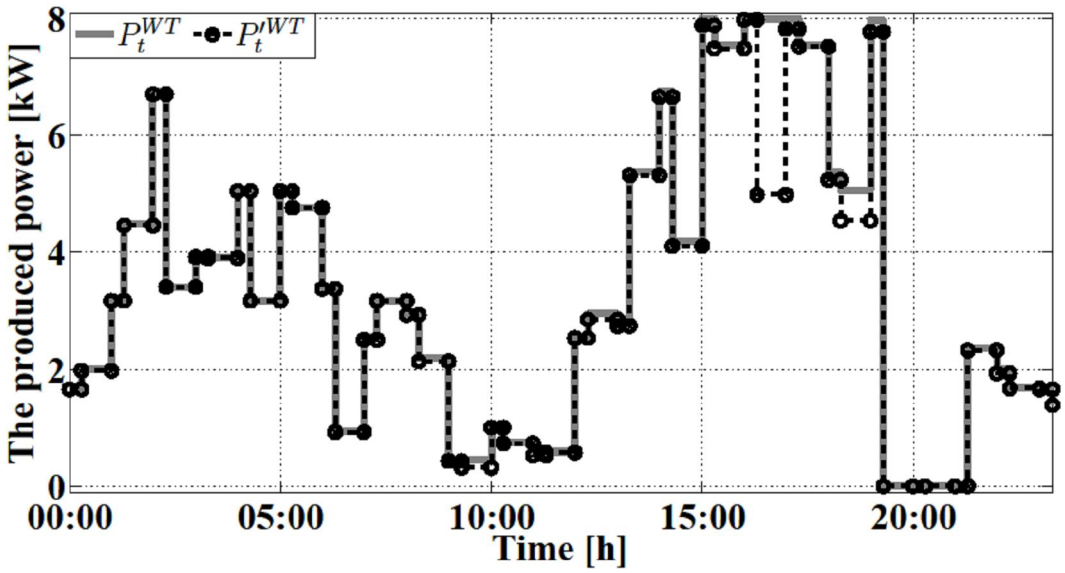
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

۲- در این سناریو یک افزایش قابل ملاحظه در بار اصلی رخ داده است (در دوره‌های زمانی ۱۷:۰۰-۱۷:۳۰ و ۱۸:۰۰-۱۸:۳۰).

۳- در این سناریو منابع تجدیدپذیر توان (PV و WT) در بازه‌هایی دچار خطا شده و خاموشی اضطراری در این سیستم‌ها رخ داده است. (در بازه‌های ۱۹:۳۰-۲۱:۰۰ برای سیستم WT و ۱۹:۳۰-۲۱:۰۰ برای سیستم PV).

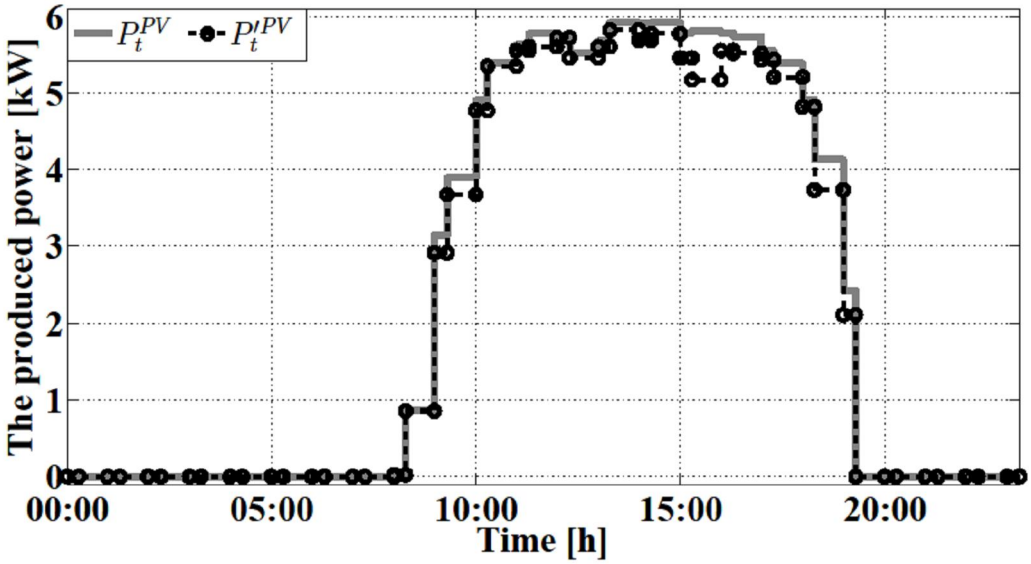


شکل ۳) شمای کلی سیستم مورد مطالعه

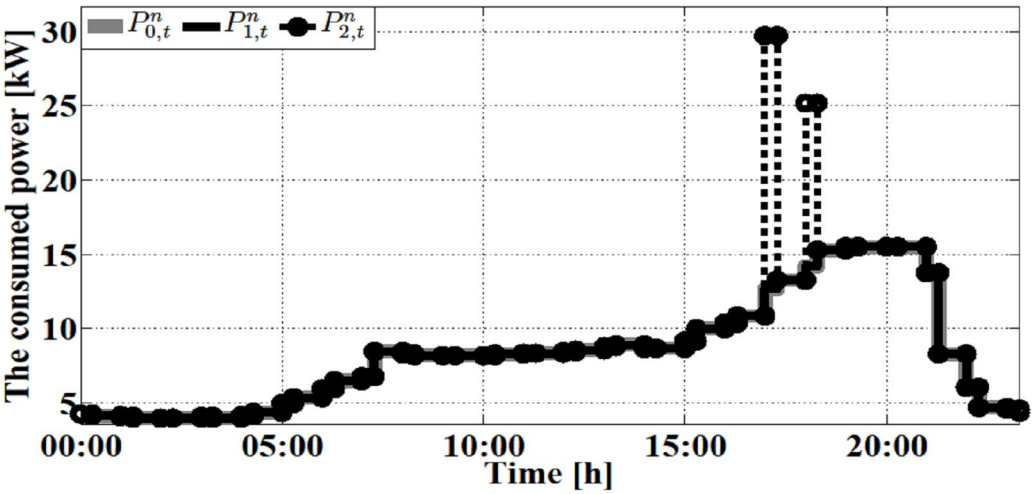


شکل ٤-الف) منحنی خروجی WT

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]



شکل ٤-ب) منحنی خروجی PV



شکل ٤-ج) منحنی تقاضای بار

نتایج شبیه سازی

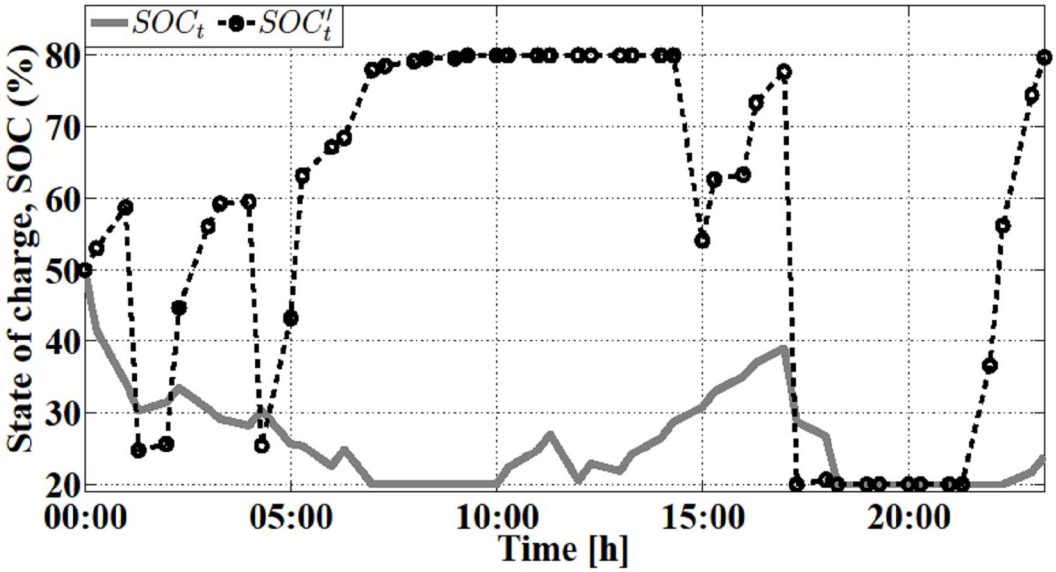
در این بخش، نتایج حاصل از ارزیابی الگوریتم پیشنهاد شده بر روی ریزشبکه مورد مطالعه ارائه شده است. در ادامـه، به تحلیل برخی از خروجی‌ها پرداخته می‌شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

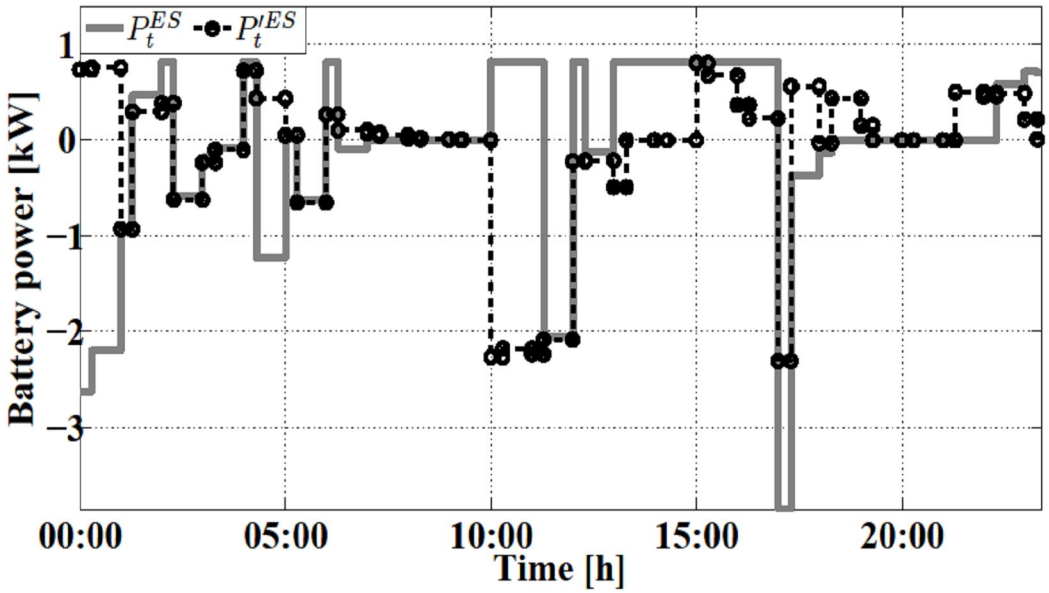
منحنی SOC و توان باتری در طول عملکرد ۲۴ ساعته سیستم در شکل‌های (۵) و (۶) بترتیب نشان داده شده است. همان طوری که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، در ساعات ۱۲ بامداد تا ۶ صبح، SOC در الگوریتم MCEMS_LEM تقریبا همواره در حال کاهش است و در انتهای این بازه به مقدار کمینه SOC نزدیک شده است. این در حالی است که در الگوریتم EMS-MABC_LEM به وسیله MT علاوه بر تأمین توان مورد نیاز بار، بخشی از توان تولید شده نیز برای شارژ ES استفاده شده است. در نتیجه، SOC در این الگوریتم در انتهای این بازه زمانی به مقدار حدود ۷۰ درصد رسیده است. این مقدار SOC باعث افزایش قابلیت پشتیبانی بار در بقیه کار روزانه سیستم خواهد شد. در ساعات ۶ تا ۱۲ ظهر نیز الگوریتم MCEMS_LEM همچنان از باتری به منظور تأمین کمبود توان مورد نیاز خود استفاده کرده است. در حالی که در الگوریتم بهینه سازی، سیستم ES همواره در حالت شارژ عمل نموده و بعد از ساعت ۹:۳۰ صبح مقدار SOC آن نزدیک به بیشینه مقدار SOC رسیده و تا پایان این بازه زمانی در همین مقدار باقی مانده است. از آنجایی که در ساعات ۱۲ ظهر تا ۶ عصر سناریوهای ۲ و ۳ به وقوع پیوسته است، در نتیجه، در هر دو الگوریتم با وجود به سرویس آمدن MT، MG قادر به تأمین کامل تقاضای بار نبوده و به ناچار از انرژی ذخیره شده در ES به طور کامل استفاده نموده است. SOC در انتهای این بازه زمانی در هر دو الگوریتم به مقدار حداقل SOC رسیده است. در ساعات ۶ عصر تا ۱۲ بامداد، ES در الگوریتم MCEMS_LEM شروع به شارژ شدن می‌نماید و مقدارش به کمی بیشتر از حداقل SOC رسیده است. ولی در الگوریتم EMS-MABC_LEM با انتخاب مناسب MT ، سیستم ES در حالت شارژ کار نموده و مقدار SOC خود را در انتهای این بازه زمانی به مقدار حدود ۸۰ درصد رسانده است که مقدار قابل ملاحظه ای است. این موضوع نشاندهنده این است که با وجود قیمت پیشنهادی بالاتر MT نسبت به ES، الگوریتم بهینه سازی تشخیص داده است که اگر از MT برای جبران کمبود توان مورد نیاز استفاده نماید و بقیه توان تولید شده را هم برای شارژ ES به کار گیرد، هزینه کلی انرژی تحت این شرایط نیز حداقل خواهد شد. علاوه بر کاهش هزینه، ES انرژی بیشتری برای پشتیبانی بار در روز بعدی در خود ذخیره نموده است.

منحنی توان MT در شکل (۷) نشان داده شده است. همان طوری که در شکل مشاهده می‌شود، در ساعت ۱۲ بامداد تا ۶ صبح، MT در الگوریتم MCEMS_LEM خارج از سرویس است، در حالی که در الگوریتم بهینه سازی در بازه‌هایی به منظور تأمین تغذیه بخشی از بار و نیز شارژ ES وارد سرویس شده است. در ساعات ۶ صبح تا ۱۲ ظهر در هر دو الگوریتم، منحنی MT تقریبا منحنی مشابه ای را دنبال کرده است. نکته قابل ملاحظه این است که در ساعات ۱۲ ظهر تا ۶ عصر در الگوریتم MCEMS_LEM، MT با حداقل توان وارد سرویس شده و علاوه برتأمین توان مورد نیاز توسط بار بخشی از توان تولیدشده را نیز برای شارژ ES استفاده کرده است. در نتیجه، SOC را مقداری بهبود داده است. این در حالی است که MT در الگوریتم EMS-MABC_LEM خارج از سرویس بوده و در این بازه زمانی الگوریتم ترجیح داده تا کمبود توان مورد نیاز خود را از طریق ES جبران نماید.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

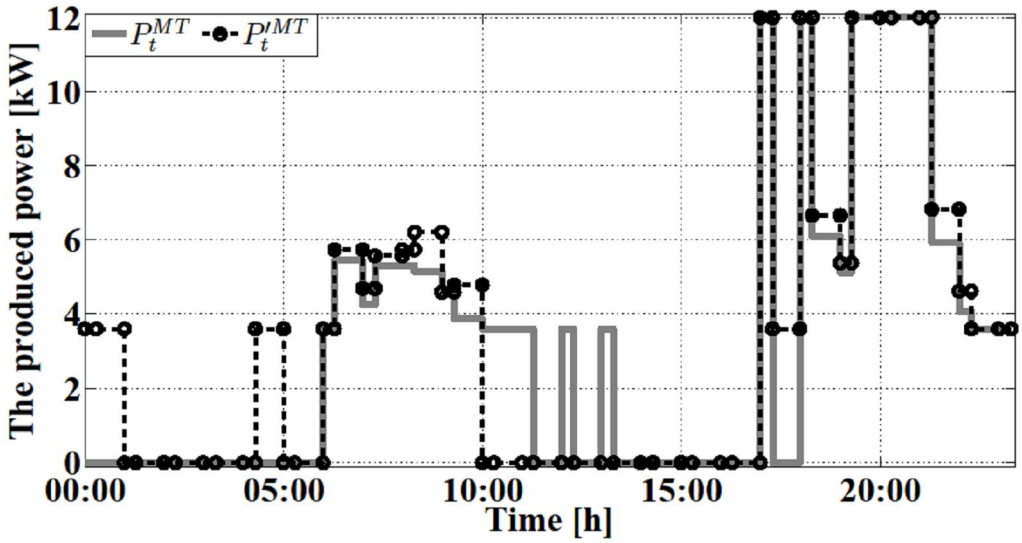


شکل ۵) SOC باتری در طول عملکرد سیستم



شکل ٦) توان شارژ و دشارژ باتری در طول عملکرد سیستم

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]



شکل ۷) توان تولیدشده به وسیله MT در طول عملکرد سیستم

مقدار توان مصرف شده توسط مصرف کنندگان (بارهای قابل قطع (EWH و DR در این مطالعه) و ES در حالت عملکرد شارژ و دشارژ) و توان تولید شده مازاد EGP در شکل (۸) نشان داده شده است. منحنی MCP برای هر دو الگوریتم نیز در شکل (۹) و به صورت عددی در جدول (۱) نشان داده شده است. با تحلیل‌های انجام گرفته، در برخی بازه های زمانی مقدار کل توان مصرفی ($\mathbf{P_t^{TCP}}$) در الگوریتم MCEMS_LEM بزرگتر از مقدار کل توان مصرفی ($\mathbf{P_t'^{TCP}}$) در EMS-MABC_LEM در زمان‌های مشابه است. همان طوری که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، در این بازه های زمانی مقدار متوسط MCP برابر ۰٫۵۱ €/kWh بوده که در حدود ۴۰ درصد کمتر از مقدارش در الگوریتم EMS-MABC_LEM می‌باشد. این موضوع بیانگر این است که با وجود اینکه مقدار مصرف کننده بیشتری در الگوریتم MCEMS_LEM تغذیه شده است، مصرف کنندگان بایستی قیمت تسویه بازار[1] (MCP) بیشتری برای تأمین توانشان پرداخت نمایند. در ۴۰ درصد مواقع مقدار TCP در الگوریتم EMS-MABC_LEM بزرگتر از مقدارش در الگوریتم MCEMS_LEM است. تحت این شرایط، به طور متوسط مقدار $\lambda_t'^{MCP}$ در حدود ۳۲ درصد کمتر از مقدار λ_t^{MCP} است. این موضوع نشاندهنده کاهش قابل ملاحظه ای از هزینه پرداخت شده توسط مصرف کنندگان است. مقدار کل توان مصرف شده توسط مصرف کنندگان در الگوریتم EMS-MABC_LEM در حدود ۲ درصد بیشتر از مقدارش در الگوریتم MCEMS_LEM است. در نتیجه، با توجه به اینکه مقدار کل توان تولید شده با کل توان مصرف شده

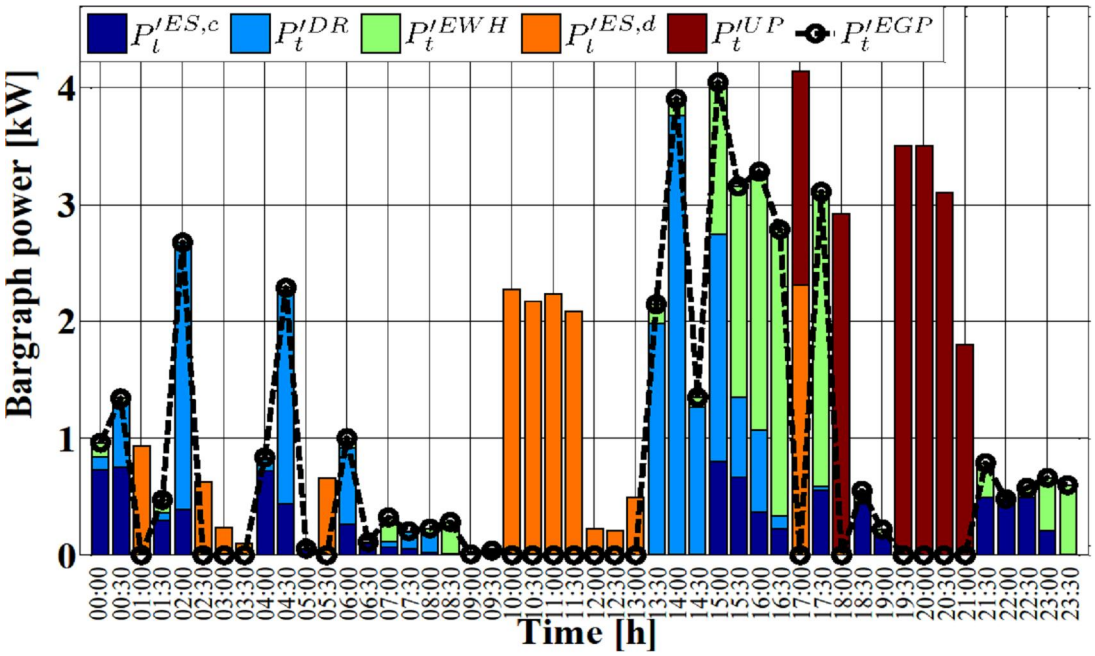
1) Market Clearing Price

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

بایستی برابر باشد، در نتیجه، الگوریتم بهینه سازی علاوه بر کاهش قابل ملاحظه در هزینه کلی تولید و قیمت برق مصرفی برای مصرف کنندگان، همچنین مقدار توان بیشتری برای تغذیه مصرف کنندگان با هزینه کمتر تولید نموده است. همان طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، MG در هر دو الگوریتم در ساعات ۱۲ ظهر تا ۶ عصر با توجه به وقوع سناریوهای ۲ و ۳ قادر به تأمین توان مورد نیاز تمامی‌مصرف کنندگان خود نشده است. در برخی بازه‌های زمانی مقداری UP در الگوریتم MCEMS_LEM بیشتر از الگوریتم بهینه سازی است، زیرا مقدار انرژی موجود در باتری در الگوریتم EMS-MABC_LEM به مقدار حداقل خود رسیده است و ES توانایی دشارژ بیشتر را ندارد. نکته قابل توجه این است که در این بازه‌های زمانی، مقدار MCP در الگوریتم MCEMS_LEM در حدود ۳۰ درصد بیشتر از مقدارش در الگوریتم بهینه‌سازی است. در نتیجه، تولیدکننده بایستی مقدار جریمه بیشتری در قبال تأمین کامل توان مورد نیاز مصرف‌کنندگان پرداخت نماید. همان طوری که در شکل (۸–ب) مشاهده می‌شود، بیشتر توان مورد نیاز مصرف کننده DR در بازه‌های زمانی که مقدار متوسط قیمت تسویه بازار با بهینه سازی ($\lambda_t^{\prime MCP}$) در حدود ۰٫۳ €/kWh است، تامین شده است. این در حالی است که زمانی که UP وجود دارد، مقدار متوسط MCP در حدود ۰٫۹ €/kWh بوده که ۳ برابر شده است. بنابراین، الگوریتم EMS-MABC_LEM با قطع تعدادی از مصرف کنندگان (زمانی که مقدار MCP بالاست) و تغذیه آنها در ساعت دیگر روز با MCP کوچکتر، کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه برق مصرفی توسط مصرف‌کنندگان داده است. EWH نیز عمدتا در بازه های زمانی که مقدار متوسط قیمت تسویه بازار بدون بهینه سازی (λ_t^{MCP}) در حدود ۳۷ درصد بزرگتر از مقدار متوسط $\lambda_t^{\prime MCP}$ می باشد، تعذیه شده است. همان طوری که در شکل (۸–الف) مشاهده می‌شود، در بازه‌های زمانی که ES در الگوریتم MCEMS_LEM در حالت شارژ عمل می‌کند، مقدار متوسط λ_t^{MCP} در حدود ۰٫۴۹ €/kWh است. این در حالی است که مقدار متوسط $\lambda_t^{\prime MCP}$ برای شارژ باتری در حدود ۰٫۳۲ €/kWh بوده که تقریبا ۳۴ درصد کمتر از مقدار MCP در الگوریتم MCEMS_LEM است. از شکل (۹) و جدول (۱) می توان دریافت کرد که مقدار متوسط λ_t^{MCP} و $\lambda_t^{\prime MCP}$ در طول روز بترتیب برابر ۰٫۵۲€/kWh و ۰٫۳۲€/kWh بوده که نشاندهنده ۳۹ درصد کاهش مقدار MCP در الگوریتم EMS-MABC_LEM است. همان طوری که در جدول مشاهده می‌شود، مقدار MCP در هر دو الگوریتم در بازه زمانی ۱۲ بامداد تا ۶ صبح حداقل است. بنابراین، اقدام مناسب این است که تعداد بیشتری از بارهای RLD و ES در این بازه زمانی تغذیه شوند. همان طوری که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، مقدار بارهای تغذیه شده RLD و ES در الگوریتم EMS-MABC_LEM در حدود ۴۶ درصد بیشتر از الگوریتم MCEMS_LEM است. درنتیجه، این مصرف کنندگان با قیمت کمتری تغذیه شده‌اند. در ساعات ۶ صبح تا ۱۲ ظهر از آنجایی که MT در هر دو الگوریتم وارد سرویس شده است و با توجه به اینکه قیمت پیشنهادی آن بالاتر از منابع تولید دیگر است، لذا MCP افزایش پیدا کرده است. بنابراین، منطقی است که با توجه به افزایش قیمت برق، مقدار RLD و ES کمتری توسط الگوریتم EMS_MABC_LEM تغذیه شود. با تحلیل‌های انجام شده مشخص شده است که در

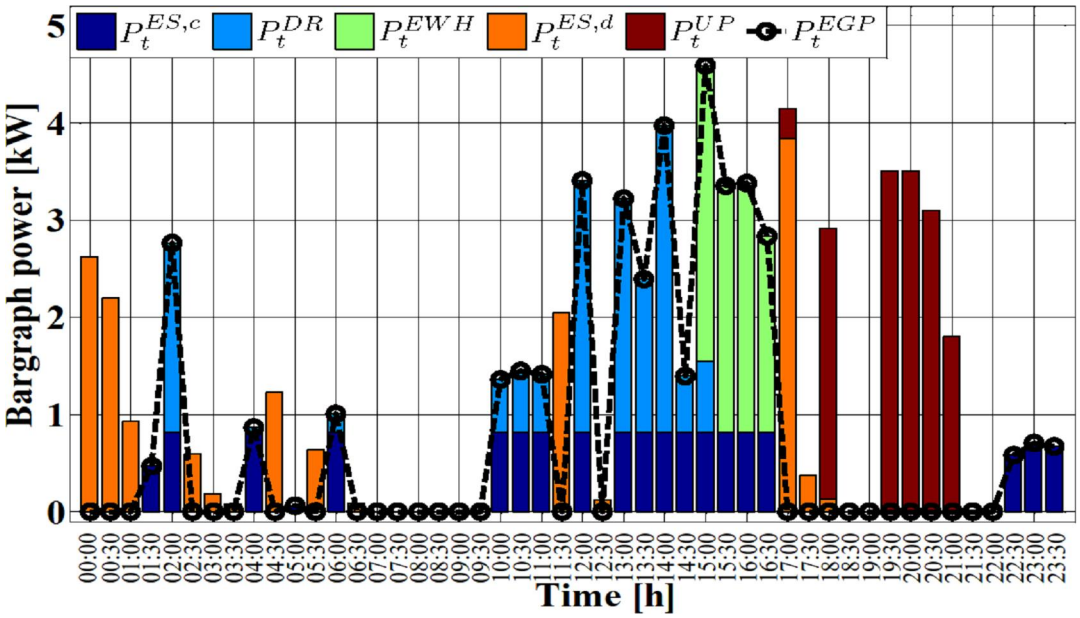
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

حدود ۸۵ درصد مقدار توان کمتری برای تغذیه RLD و ES استفاده شده است که نشاندهنده عملکرد بسیار مناسب الگوریتم پیشنهادشده در مدیریت سمت مصرف کنندگان است. در ساعات ۱۲ ظهر تا ۶ عصر از آنجایی که PV وارد سرویس شده و MT از سرویس خارج شده است و قیمت پیشنهادی توسط PV کمتر از MT است، لذا طبیعی به نظر می‌رسد که مقدار MCP کاهش محسوسی داشته باشد. در این بازه زمانی نیز در حدود ۶ درصد بارهای RLD و ES بیشتری در الگوریتم MCEMS_LEM نسبت به الگوریتم پیشنهادی تغذیه شده‌اند. در بازه زمانی ۶ عصر تا ۱۲ بامداد، مقدار متوسط MCP در هر دو الگوریتم حداکثر بوده و لذا شایسته است تا بارهای با قیمت پیشنهادی کمتر در این بازه زمانی تغذیه شوند. همان طوری که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، در الگوریتم MCEMS_LEM در این بازه زمانی فقط ES تغذیه شده است که بالاترین قیمت پیشنهادی را در بین مصرف کنندگان ارائه داده است. این در حالی است که در الگوریتم EMS-MABC_LEM علاوه بر ES بار EWH نیز تغذیه شده است. بار EWH کمترین قیمت پیشنهادی را داشته و لذا مصرف کننده هزینه بمراتب کمتری برای تغذیه بار خود پرداخت می‌کند.



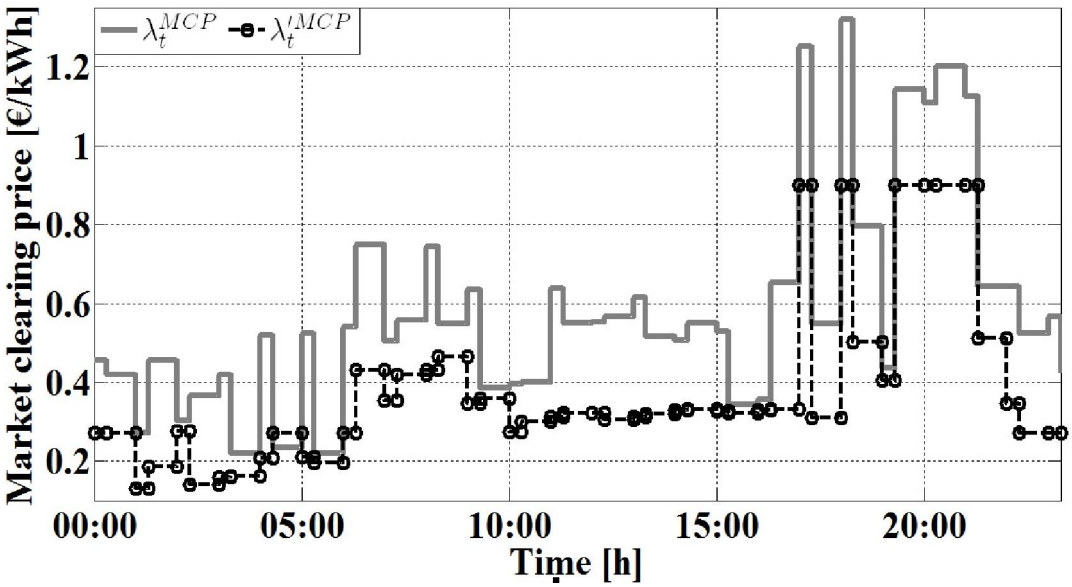
شکل ۸-الف) ساختار MCEMS_LEM

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]



شکل ۸-ب) ساختار EMS-MABC_LEM

شکل ۸) بارگراف مربوط به توان‌های بارهای غیرقابل قطع، دشارژ باتری و UP در طول ۲٤ ساعته عملکرد سیستم



شکل ۹) MCP برای هر بازه زمانی در طول عملکرد روزانه سیستم

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

جدول ۱) مقدار متوسط MCP در هر دوره ٦ ساعته عملکرد سیستم

MCP	۱۲ بامداد تا ۶ صبح	۶ صبح تا ۱۲ ظهر	۱۲ ظهر تا ۶ عصر	۶ عصر تا ۱۲ بامداد
λ_t^{MCP}	۰,٤۱	۰,٥٦	۰,٤۹	۰,٦۲
λ_t^{rMCP}	۰,۲۱	۰,۳٥	۰,۳۳	۰,٥۰

نتیجه‌گیری

در این مقاله اطلاعات مصرف‌کنندگان با استفاده از الگوریتم EMS-MABC_LEM مدل‌سازی شده است. در این الگوریتم یک برنامه DR به منظور تعیین مشخصات RLD استفاده شده و همچنین یک واحد LEM برای تخمین چگونگی مشارکت RLD با هدف کاهش MCP پیشنهاد شده است. از طرف دیگر، در ساختار ارائه شده مفهوم جدیدی جهت تخمین برنامه‌ریزی بهینه منابع تولید و DR به طور همزمان در MG ایزوله شده، معرفی شده است. در این ساختار با استفاده از اطلاعات مصرف‌کنندگان یک تابع هزینه برای منابع تولید مجازی با توجه به قیود مربوط به DR، مازاد توان تولید و اطلاعات سایر مصرف‌کنندگان در نظر گرفته شده است. برنامه ریزی بهینه ترکیبی شامل منابع تولید و DR با هدف حداقل نمودن هزینه کلی عملکرد MG ارائه شده است. این برنامه ریزی ترکیبی در یک MG مفروض شبیه سازی شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی نشاندهنده آن است که کنترل مناسب و بموقع DR می‌تواند منجر به کاهش هزینه عملکرد کلی سیستم (به میزان ۳۰ درصد) و در عین حال، کاهش قابل ملاحظه مقدار MCP در هر بازه زمانی شود.

منابع

[1] Anvari-Moghaddam, A., Seifi, A., Niknam, T., Alizadeh-Pahlavani, M. R , 2011; "*Multi-objective operation management of a renewable MG (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel cell/battery hybrid power source*", Energy, vol.11, no.36 ,pp. 6490 – 6507.

[2] Cheng, C. P., Liu, C. W., Liu, C. C., 2000; "*Unit commitment by Lagrangian relaxation and genetic algorithms*", IEEE Transactions on Power Systems, vol.15, no.2, pp.707-14.

[3] Cohen, A. I., . Yoshimura, M., 1983; "*A Branch-and-Bound Algorithm for Unit Commitment*", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.2, no. 102, pp. 444-451.

[4] Damousis, I. G., Bakirtzis, A. G., Dokopoulos, P. S., 2004; "*A solution to the unit-commitment problem using integer-coded genetic algorithm*, IEEE Transactions on Power Systems, vol.19, no.2, pp.1165-72.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]

[5] Hamid, Z. A., Musirin, I., Rahim, M. N., Kamari, N. A. M., 2012; "*Application of electricity tracing theory and hybrid ant colony algorithm for ranking bus priority in power system*", Electrical Power and Energy Systems, vol.43, pp.1427–1434.

[6] Hawkes, A.D., Leach, M.A., 2 2007 ; "*Cost-effective operating strategy for residential micro-combined heat and power*", Energy, vol.5, no.32, pp.711-723.

[7] Kilic, U., Ayan, K., 2013; "*Optimizing power flow of AC–DC power systems using artificial bee colony algorithm*", Electrical Power and Energy Systems, vol.53, pp.592–602.

[8] Liao, X., Zhou, J., Ouyang, S., Zhang, R., Zhang, Y., 2013; "*An adaptive chaotic artificial bee colony algorithm for short-term hydrothermal generation scheduling*", Electrical Power and Energy Systems, vol.53, pp.34–42.

[9] Liao, X., Zhou, J., Zhang, R., Zhang, Y., 2012, "*An adaptive artificial bee colony algorithm for long-term economic dispatch in cascaded hydropower system"s*, Electrical Power and Energy Systems, vol.43, pp.1340–1345.

[10] Marzband, M., Sumper, A., Domínguez-García, J. L., Gumara-Ferret, R., 2013; "*Experimental Validation of a Real Time Energy Management System for Microgrids in Islanded Mode Using a Local Day-Ahead Electricity Market and MINLP*", Energy Conversion and Management, vol.76, pp. 314-322.

[11] Marzband, M., Sumper, A., Ruiz-Álvarez, A., Domínguez-García, J. L., Tomoiag˘a, B., 2013; "*Experimental evaluation of a real time energy management system for stand-alone microgrids in day-ahead markets*", Applied Energy, vol.106, pp.365 – 376.

[12] Niknam, T., Zeinoddini-Meymand, H., Doagou-Mojarrad, H., 2011; "*An efficient algorithm for multi-objective optimal operation management of distribution network considering fuel cell power plants*", Energy, vol.1, no.36, pp. 119-132.

[13] Ouyang, Z., Shahidehpour, S. M., 1991; " *An intelligent dynamic programming for unit commitment application*", IEEE Transactions on Power Systems, vol.3, no.6, pp.1203-1209.

[14] Rezaei-Adaryani, M., Karami, A., 2013; "*Artificial bee colony algorithm for solving multi-objective optimal power flow problem*", Electrical Power and Energy Systems, vol.53, pp.219–230.

[15] Ruiz-Alvarez, A., Colet-Subirachs, A., Alvarez-Cuevas, F. F., Gomis- Bellmunt, O., Sudria-Andreu, A., 2012; "*Operation of a utility connected microgrid using an IEC 61850-based multi-level management system*", IEEE Transactions on smart grid, vol.3, no.2, pp.858–65.

[16] Senjyu, T., Saber, A. Y., Miyagi, T., Shimabukuro, K., Urasaki, N., Funabashi, T., 2005; "*Fast technique for unit commitment by genetic algorithm based on unit clustering*", IEEE Proc Generat Transmission Distrib, vol.152, no.5, pp.705-13.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-20]