

## مدیریت بهینه انرژی با استفاده از روش کلونی زنبور مصنوعی چند زمانه برای یک

### میکروگرید متصل به شبکه با چندین واحد تولید توزیع شده

فاطمه آذری نژادیان<sup>۱</sup>، سید مازیار میر حسینی مقدم<sup>۲</sup>، موسی مرزبند<sup>۳</sup>، نرگس پرهیزی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی برق- دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان- لاهیجان- ایران

niloofar.azari@yahoo.com

۲- استادیار گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی برق - دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان - لاهیجان- ایران

m.mirhosseini@liau.ac.ir

۳- دانشیار پژوهشی، دانشکده مهندسی و فیزیک- دانشگاه منچستر - منچستر - انگلیس

mousa.marzband@manchester.ac.uk

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی برق- دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان- لاهیجان- ایران

Narges\_parhizi@yahoo.com

**چکیده:** برای کسب اطمینان از مصرف بهینه انرژی در ریزشبکه‌ها، ارائه سیستم مدیریت انرژی مناسب و کارآمد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه با به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر و همچنین، سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی در MG، علاوه بر کاهش آلاینده‌گی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی می‌توان ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم قدرت را نیز افزایش داد. هدف اصلی به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی EMS، افزایش سهم تولید انرژی توسط منابع تجدیدپذیر و در نتیجه مینیمم‌نمودن هزینه کل بهره‌برداری و کاهش قیمت تمام‌شده برای مصرف‌کنندگان است. مهم‌ترین نوآوری ارائه شده در این مقاله پیاده‌سازی EMS بر روی ریزشبکه شرکت مرکز تحقیقات انرژی کاتالونیا برپایه روش بهینه‌سازی کلونی زنبور مصنوعی در حالت متصل به شبکه سراسری جهت توزیع اقتصادی توان مابین عنصرهای مختلف موجود و با توجه به قیمت پیشنهادی آن‌هاست. نتایج بهینه به‌دست‌آمده از الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم EMS برپایه روش برنامه‌ریزی غیر خطی گویای کاهش حدود ۱۸ درصد هزینه کل تولید الکتریسیته و نیز افزایش کارایی این الگوریتم در مدیریت سمت تولید و مصرف است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی، ریز شبکه، شبکه سراسری، مدیریت بهینه انرژی، مدیریت سمت تقاضا.

### ۱- مقدمه

بخش انرژی تلاش‌های گسترده‌ای به منظور توسعه فناوری‌ها و روش‌های مربوط به بهره‌برداری اقتصادی‌تر و مطمئن‌تر از منابع انرژی تجدیدپذیر و اتصال آن‌ها به سیستم‌های قدرت انجام شده است [۲]. یکی از مسایل اصلی فنی در فرآیند اتصال، کنترل و مدیریت منابع انرژی تجدیدپذیر و در حقیقت ویژگی غیر قابل پیش‌بینی بودن توان تولیدی توسط این منابع است. یکی دیگر از نگرانی‌های اصلی در این زمینه، ارزیابی تأثیر این منابع بر روی امنیت و قابلیت اطمینان کلی شبکه است. ریزشبکه‌ها MGs را می‌توان به عنوان مجموعه‌ای از منابع کوچک،

صنعت برق در سال‌های اخیر با اعمال سیاست‌های تشویقی، شاهد رشد بی‌سابقه‌ای در به‌کارگیری منابع توزیع‌شده انرژی DER در مقیاس کوچک و بیشتر بر پایه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است [۱]. به این علت، در

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۳/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۰۵/۲۸

نام نویسنده مسئول : فاطمه آذری نژادیان

نشانی نویسنده مسئول : ایران - لاهیجان - دانشگاه آزاد اسلامی -

دانشکده فنی مهندسی برق

در [۲] توسط نویسندگان گزارش شده است؛ مقایسه شده و اعتبار روش ارائه شده در کاهش هزینه تولید الکتریسیته توسط MG به اثبات رسیده است.

## ۲- مبانی اولیه الگوریتم کلونی زنبور

### مصنوعی

الگوریتم ABC یک روش محاسباتی تکاملی بوده که اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسط کارابوگا معرفی شده است [۹]. با وجود اینکه الگوریتم ABC از تعداد شاخص‌های کنترلی کمتری نسبت به دیگر الگوریتم‌های تحت مطالعه برخوردار است، کارایی و عملکرد آن در یافتن نقاط بهینه به مراتب بهتر از الگوریتم‌های دیگر گزارش شده است [۱۰]. همچنین، قابلیت این الگوریتم در حل مسایل بهینه‌سازی دربرگیرنده قیود فنی و اقتصادی و متغیر با زمان در مراجع ارائه شده است [۱۱-۱۲].

هوش جمعی زنبور عسل از سه جزو اساسی شامل منابع غذایی، جستجوگرهای کارگر و جستجوگرهای بی‌کار تشکیل شده است. ارزش یک منبع غذایی به بسیاری از عوامل مانند نزدیکی آن به لانه، غلظت و غنی بودنش از شهد و سهولت استخراج آن بستگی دارد [۹]. به منظور سادگی، تأثیر تمامی این عوامل را می‌توان با یک متغیر به نام سودآوری منبع غذایی نشان داد. هر یک از زنبورهایی که به‌عنوان جستجوگرهای کارگر در نظر گرفته شده‌اند، به یک منبع خاص که در حال بهره‌برداری از آن هستند، تعلق دارند. این زنبورها اطلاعاتی شامل فاصله و موقعیتشان نسبت به لانه و میزان سودآوری آن منبع را با خود به‌همراه دارند. این اطلاعات با احتمالی ویژه با دیگر زنبورها به اشتراک گذاشته می‌شود. جستجوگرهای بی‌کار به زنبورهایی اطلاق می‌شود که پیوسته در جستجوی یک منبع غذایی به منظور بهره‌برداری از آن هستند. این دسته از زنبورها به دو گونه پیشاهنگ و تماشاجی تقسیم‌بندی می‌شوند [۹]. زنبورهای پیشاهنگ در اطراف لانه به جستجوی منابع غذایی جدید می‌پردازند. در حالی که، زنبورهای تماشاجی

سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی ES و بارهایی با قابلیت پاسخگویی به سیگنال‌های کنترل مرکزی (بار قابل قطع-RLD)، توصیف کرد. سیستم‌های مدیریت انرژی (Energy Management System-EMS) باید با هدف تضمین قابلیت اعتماد، بهره‌برداری ایمن و مقرون به صرفه بودن تولید الکتریسیته در هر دو حالت عملکرد MG (متصل به شبکه و یا مستقل) طراحی شوند. اهداف اصلی به‌کارگیری EMSها می‌تواند شامل یافتن عملکرد بهینه (یا نزدیک به بهینه) منابع تولید (به اصطلاح در مدار قرار گرفتن واحدهای تولید (UC) و توزیع توان ژنراتورهایی با توان تولیدی قابل تنظیم DGU باشد [۲-۷]. هدف معمولی دنبال‌شده برای کنترل MG در حالت عملکرد مستقل این است که بار محلی را از لحاظ اقتصادی تأمین نماید؛ در حالی که در حالت عملکرد متصل به شبکه، بیشتر به دنبال به‌حداکثر رساندن سود و یا حداقل نمودن هزینه تولید الکتریسیته است [۲]. همچنین، اهداف اضافی دیگر از قبیل به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای را می‌توان با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه مدنظر قرار داد [۸].

در این مقاله، مسأله مطرح شده به مراحل مختلفی تقسیم‌بندی شده است که شامل: مدل‌سازی ریاضی سیستم تحت مطالعه، بهینه‌سازی عملکرد MG به منظور افزایش کارایی و زمانبندی مناسب، نحوه به‌کارگیری منابع تولید و در نهایت توزیع اقتصادی توان تولیدی است. برای رسیدن به این اهداف از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی چند زمانه MABC برای مسأله بهینه‌سازی استفاده شده است. در اینجا، پیاده‌سازی EMS برای یک MG مد نظر قرار گرفته که هدف آن کاهش هزینه تولید انرژی و در نتیجه کاهش قیمت برق مصرفی مصرف‌کنندگان MCP برای یک دوره زمانی ۲۴ ساعته است. هدف مسأله بهینه‌سازی غیرخطی مینیمم نمودن هزینه عملکرد کلی و هم‌زمان با آن کاهش قیمت تمام شده برای مصرف‌کنندگان است. بازار محلی انرژی LEM نیز با استفاده از ساختار حراج یکسویه SSA بر پایه یافتن مینیمم قیمت پیشنهادی توسط هر یک از تولیدکنندگان توسعه داده شده است [۲]. در نهایت، نتایج به دست آمده با خروجی‌های الگوریتم EMS-MINLP که

$$\min \sum_{t=1}^{24} \left[ \begin{array}{l} P_t^{WT} \times \pi^{WT} + P_t^{PV} \times \pi^{PV} \\ + P_t^{MT} \times \pi^{MT} + P_t^{ES-} \times \pi^{ES-} \\ + P_t^{GRID-} \times \pi^{GRID-} \\ P_t^{RLD} \times \pi^{RLD} + P_t^{EWH} \times \pi^{EWH} \\ + P_t^{ES+} \times \pi^{ES+} + P_t^{GRID+} \times \pi^{GRID+} \\ + P_t^{UP} \times \pi^{UP} \end{array} \right] \quad (1)$$

$P_t^A$  توان مربوط به هر یک از اجزای MG در بازه زمانی  $t$  (kW)، است به طوری که:

$A \in \{WT, PV, MT, ES-, ES+, GRID-, GRID+, DR, UP, EWH\}$   
و  $\pi^A$  قیمت پیشنهادی هر یک از منابع بر حسب €/kW است.

### ۳-۱- قیود مسأله

قیود فنی نیز می‌تواند با استفاده از روابط ریاضی زیر بیان شود:

• قید تعادل توان

$$P_t^{WT} + P_t^{PV} + P_t^{MT} + P_t^{ES-} + P_t^{GRID-} = P_t^{RLD} + P_t^{EWH} + P_t^{ES+} + P_t^{GRID+} \quad (2)$$

• قیود مربوط به منابع تجدیدپذیر (WT و PV در این مطالعه)

$$\underline{P}^{WT} \leq P_t^{WT} \leq \overline{P}^{WT} \quad (3)$$

$$\underline{P}^{PV} \leq P_t^{PV} \leq \overline{P}^{PV} \quad (4)$$

• قیود مربوط به منابع تجدید ناپذیر (MT در این مطالعه)

$$\underline{P}^{MT} \leq P_t^{MT} \leq \overline{P}^{MT} \quad (5)$$

• قیود مربوط به منابع ES (باتری در این مطالعه)

$$P_t^{ES-} \leq \overline{P}^{ES-}, P_t^{ES-} \geq 0 \quad (6)$$

$$P_t^{ES+} \leq \overline{P}^{ES+}, P_t^{ES+} \geq 0 \quad (7)$$

$$P_t^{ES-} \cdot \Delta t \leq E_{t-1}^{ES} \quad (8)$$

$$P_t^{ES+} \cdot \Delta t + E_{t-1}^{ES} \leq \overline{E}^{ES} \quad (9)$$

در لانه منتظر دریافت اطلاعات درباره منبع غذایی از زنبورهای کارگر می‌مانند. تعداد زنبورهای پیشاهنگ به‌طور متوسط حدود ۵ تا ۱۰ درصد جمعیت کلونی است [۱۱].

تبادل اطلاعات بین زنبورها مهم‌ترین بخش شکل‌گیری دانش هوش جمعی زنبور عسل است. همچنین، مهم‌ترین بخش کندوی عسل که در آن تبادل اطلاعات درباره کیفیت و مکان منبع غذایی در آن انجام می‌شود، سالن رقص کندو است [۹]. در این سالن، زنبورهای تماشاچی می‌توانند با مشاهده رقص‌های متعدد، منبع غذایی با متغییر سودآوری بالا را انتخاب کرده، سپس، برای بهره‌برداری آن اقدام کنند. زنبورهای جستجوگر کارگر، اطلاعات مربوط به منبع غذایی را متناسب با سودآوری منبع به وسیله رقص با زنبورهای تماشاچی به اشتراک می‌گذارند به طوری که مدت رقص متناسب با سودآوری منبع است [۱۰].

مشابه با الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های ابتکاری، الگوریتم ABC نیز یک فرآیند تکرار شونده بوده که با یک جمعیت اولیه شروع می‌شود. این الگوریتم شامل پاسخ‌های قابل قبول (جواب‌هایی که قیود در نظر گرفته شده برای مسأله را برآورده می‌کنند) است. هر منبع غذایی نشان‌دهنده یک پاسخ ممکن برای حل مسأله است. بنابراین، جمعیت اولیه پاسخ‌ها از  $Np$  تعداد بردار تصادفی  $D$ -بعدی، با مقادیر حقیقی تشکیل شده که در آن هر پاسخ به شکل بردار  $X_t^i = \{x_t^{i,1}, x_t^{i,2}, \dots, x_t^{i,D}\}$  تعریف شده است. این بردار نشان‌دهنده تأمین منبع غذایی در جمعیت ایجاد شده است. هر پاسخ برای مسأله بهینه‌سازی دارای  $D$  متغیر است.

### ۳- تعریف مسأله

در این مطالعه، یک سیستم MG شامل توربین بادی WT، خورشیدی PV، میکروتوربین MT و منبع ذخیره انرژی ES است که قابلیت کار در حالت عملکرد متصل به شبکه سراسری، بررسی شده است. تابع هزینه به شکل زیر تعریف می‌شود.

#### ۴-۱- واحد MABC

مشابه با الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های ابتکاری، الگوریتم ABC نیز یک فرآیند تکرار شونده بوده که با یک جمعیت اولیه شروع می‌شود. این الگوریتم شامل پاسخ‌های قابل قبول (جواب‌هایی که قبود در نظر گرفته شده برای مسأله را برآورده می‌کنند) است. گام‌های پیاده‌سازی 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

در این مقاله،  $D = 8$  بوده و در برگیرنده شاخص‌هایی چون توان‌های  $P_t^{ES-}$ ،  $P_t^{ES+}$ ،  $P_t^{MT}$ ،  $P_t^{PV}$ ،  $P_t^{WT}$ ،  $P_t^{GRID-}$  و  $P_t^{GRID+}$ ،  $P_t^{DR}$  هدف پیدا کردن مقادیر این متغیرها است که در نهایت منجر به یافتن کم‌ترین مقدار هزینه تولید الکتریسیته با استفاده از تابع هزینه (۱)، شود. بنابراین،  $X_t^i$  به شکل یک بردار ۸ بعدی به شکل  $X_t^i = \{x_t^1, x_t^2, \dots, x_t^8\}$  تعریف شده که هر یک از درایه‌های آن  $x_t^1 = P_t^{WT}$ ،  $x_t^2 = P_t^{PV}$ ،  $x_t^3 = P_t^{MT}$ ،  $x_t^4 = P_t^{ES+}$ ،  $x_t^5 = P_t^{ES-}$ ،  $x_t^6 = P_t^{EWH}$ ،  $x_t^7 = P_t^{GRID+}$  و  $x_t^8 = P_t^{GRID-}$  هستند. این متغیرها به دو نوع متغیر وابسته و مستقل تقسیم‌بندی می‌شوند. توان‌های MT، ES و DR خریداری و فروخته شده از شبکه سراسری به‌عنوان متغیرهای وابسته و توان خروجی WT و PV به‌عنوان متغیرهای مستقل فرض شده‌اند. علت آن این است که منابع WT و PV به‌عنوان منابع تولید غیر قابل کنترل هستند و بسته به شرایط آب و هوایی توان خروجی آن‌ها قابل تغییر و مستقل از توان بار و یا منابع تولید دیگر است. درحالی که، توان خروجی MT و ES بسته به توانی که توسط منابع تجدیدپذیر (WT و PV) تولید شده و میزان بار مصرفی، می‌تواند تغییر نماید. در نتیجه، ابتدا باید متغیرهای مستقل ( $P_t^{PV}$  و  $P_t^{WT}$ ) به شکل تصادفی با در نظر گرفتن ماکزیمم توان تولیدی توسط

$$E_t^{ES} = E_{t-1}^{ES} + (P_t^{ES+} - P_t^{ES-}) \times \Delta t \quad (10)$$

$$\underline{E}^{ES} \leq E_t^{ES} \leq \bar{E}^{ES} \quad (11)$$

• قبود مربوط به بار RLD

$$\sum_{t=1}^{NT} \sum_{l=1}^{N_{RLD}} P_t^l \leq 20\% \times \sum_{t=1}^{NT} P_t^{NRLD} \quad (12)$$

• قبود مربوط به شبکه سراسری

$$P_t^{GRID+} \leq \bar{P}^{GRID} \quad (13)$$

$$P_t^{GRID-} \leq \bar{P}^{GRID} \quad (14)$$

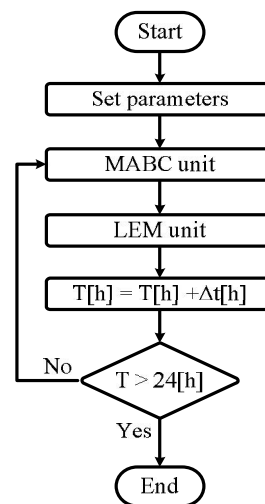
$$\bar{P}^{GRID} \leq 50\% \times (P_t^{WT} + P_t^{PV} + P_t^{MT} + P_t^{ES-}) \quad (15)$$

که در آنها  $\bar{P}^A$  حداکثر توان خروجی و یا مصرفی توسط جزء A (kW)،  $\Delta t$  بازه زمانی مورد مطالعه بر حسب ساعت (در این مطالعه بازه‌های نیم‌ساعته در نظر گرفته شده‌اند) و  $E^{ES}$  انرژی مربوط به باتری (- مربوط به فرآیند دشارژ و + مربوط به فرآیند شارژ) و بر حسب kWh است.

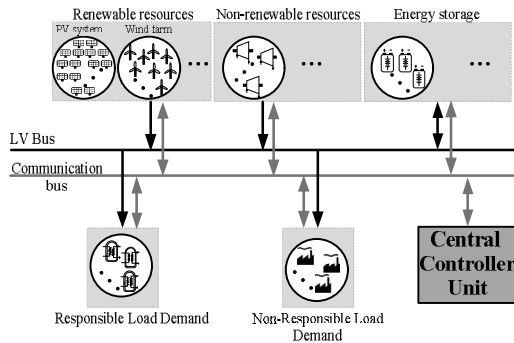
#### ۴- الگوریتم مدیریت بهینه انرژی پیشنهادی

##### EMS-MABC

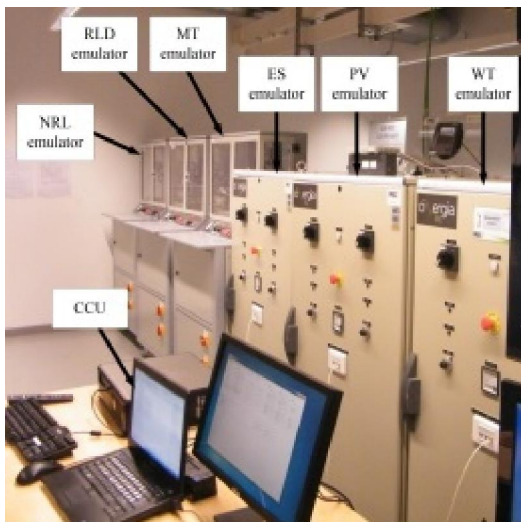
همان‌طور در شکل (۱) نشان داده شده است، این الگوریتم از دو واحد به نام‌های MABC و LEM تشکیل شده است. نحوه پیاده‌سازی هر یک این واحدها در ادامه توضیح داده شده است.



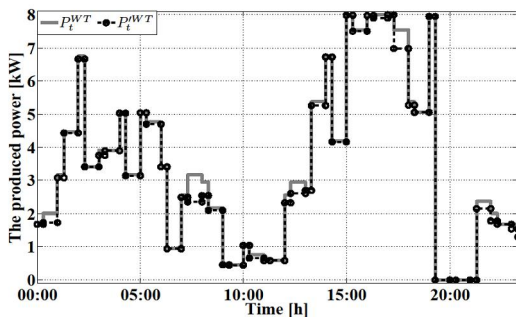
شکل (۱): الگوریتم پیشنهاد شده EMS-MABC



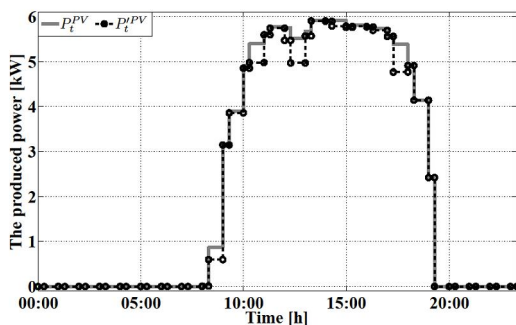
شکل (۲): دیاگرام تک خطی سیستم تحت مطالعه



شکل (۳): نمای کلی از ریزشبه IREC



(۴-الف) ایمولاتور WT



(۴-ب): ایمولاتور PV

این منابع، ایجاد شوند. سپس، با توجه به این، متغیرهای مستقل و نیز فیود مطرح شده برای حل مسأله، مقادیری به شکل تصادفی برای متغیرهای وابسته ایجاد خواهد شد. شاخص‌های مربوط به الگوریتم پیشنهاد شده در جدول (۱) به‌طور کامل فهرست شده‌اند.

جدول (۱): شاخص‌های مربوط به الگوریتم MABC

مقدار	نام متغیر
۸ عدد	تعداد متغیرها
۱۰۰	تعداد جمعیت اولیه
۲۰۰	تعداد منابع غذا
۱۰۰	ماکزیمم تعداد سیکل (maximum cycle number- MCN)
۱۰۰	Limit (بدین معنی هست که آگه به اندازه این معیار جواب الگوریتم بهبود پیدا نکند جواب قبلی حذف شده و زنبور پشاهنگ به‌عنوان یکی از جواب‌ها منظور می‌شود)

#### ۴-۲- واحد LEM

در این واحد با استفاده از حراج یک‌سویه SSA یک بازار محلی برای MG تحت مطالعه معرفی شده است. توضیحات بیشتر این واحد به‌طور مفصل در مقاله قبلی توسط نویسندگان ارائه شده است [۱].

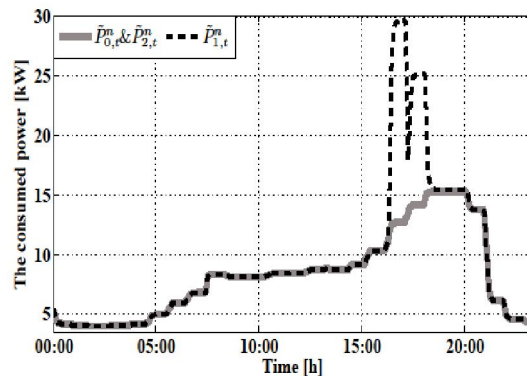
#### ۵- سیستم تحت مطالعه

در شکل‌های (۲) و (۳) به‌ترتیب ساختار تک‌خطی میکروگرید IREC و نیز شمای کلی آن نشان داده شده است. جزئیات مربوط به ویژگی‌های این سیستم و نحوه پیکربندی ایمولاتورهای موجود به‌طور کامل در مقالات قبلی ارائه شده است [۱۴، ۱۳، ۲، ۱، ۱۵]. منحنی توان مربوط به ادوات تجدیدپذیر (PV و WT در این مطالعه) و نیز توان مصرفی توسط بارهای NRLD نیز از [۱] اخذ و در شکل‌های (۴-الف تا ۴-ج) نشان داده شده است. قیمت پیشنهادی مربوط به منابع تولید تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر، NRLD، تعرفه خرید از شبکه و یا فروش برق به شبکه اصلی و پنالتی ناشی از عدم تغذیه کامل بار در جدول (۲) بیان شده است [۱].

در این سناریو منابع تجدیدپذیر توان (WT و PV) در بازه‌هایی دچار خطاشده و خاموشی اضطراری در این سیستم‌ها رخ داده است. (در بازه‌های ۱۹:۳۰-۲۱:۰۰ برای سیستم WT و ۲۰:۳۰-۲۱:۰۰ برای سیستم PV)

### ۶- نتایج شبیه‌سازی و عملی

در این بخش نتایج شبیه‌سازی و عملی ناشی از پیاده‌سازی سه الگوریتم ارایه شده است. در طول دوره ۲۴ ساعته کار سیستم به ۴ دوره زمانی به نام‌های دوره ۱، دوره ۲، دوره ۳ و دوره ۴ تقسیم می‌شود. هر دوره ۶ ساعت است. SOC و توان ES به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. در طول دوره ۱، ES در الگوریتم EMS-MABC ابتدا به طور کامل دشارژ شده و مقدارش به  $SOC$  می‌رسد. به منظور جبران انرژی دشارژ شده در ES، این الگوریتم در بازه زمانی بعدی با به سرویس آوردن MT و بیشتر با خرید توان از شبکه اصلی شروع به شارژ ES کرده است. ES در الگوریتم EMS-MINLP به روش دیگری عمل کرده است. ES در این الگوریتم تا ساعت ۰۵:۰۰ در حالت جزیره‌ای بوده است. سپس، MT ضمن برآورده نمودن توان مورد نیاز بار، بخشی از توان تولیدی آن نیز صرف شارژ ES شده است. در پایان دوره ۱ مقدار SOC در هر دو الگوریتم برابر  $SOC$  شده است. در دوره ۲، ES در الگوریتم EMS-MABC تا ساعت ۰۹:۳۰ تغییر نکرده و به ترتیب ۴۲/۶ و ۲۳/۵ درصد از کمبود توان توسط MT و خرید از شبکه تأمین شده است. این در حالی است که در الگوریتم EMS-MINLP علاوه بر دشارژ ES، همواره MT را نیز با توان  $P^{MT}$  وارد سرویس کرده است. در این الگوریتم همچنین بخشی از توان (در حدود ۴۶ درصد) توسط خرید از شبکه اصلی تأمین شده است. عملکرد ES در هر الگوریتم در دوره ۳ که سناریوی ۲ رخ می‌دهد، متفاوت است. ES در هر دو الگوریتم در ساعت ۱۷:۰۰ در حالت جزیره‌ای عمل کرده و کمبود توان در الگوریتم EMS-MABC بیشتر توسط خرید از شبکه جبران شده است. در این لحظه، الگوریتم EMS-MINLP بیشتر کمبود توان خود را از طریق به سرویس وار کردن



شکل (۴): ایمولاتور NRLD

شکل (۴) توان تولیدی و مصرفی توسط هر یک از ایمولاتورهای PV، WT و NRLD در هر بازه زمانی

جدول (۲): قیمت پیشنهادی مربوط به منابع

$\pi^{WT}$	۰/۰۸۳
$\pi^{PV}$	۰/۱
$\pi^{MT}$	۰/۷۱
$\pi^{ES-}$	۰/۱۵۵
$\pi^{ES+}$	۰/۱۲۵
$\pi^{UP}$	۱/۵
$\pi^{RLD}$	۰/۱۱۸
$\pi^{GRID+}$	۰/۱۱۵
$\pi^{GRID-}$	۰/۱۴

سناریوهای مختلفی با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهاد شده به منظور نشان دادن قابلیت پاسخگویی سریع الگوریتم به وقوع هر رویدادی در سیستم در نظر گرفته شده است. در نهایت، این سناریوها بر روی سیستم میکروگرید IREC به شکل عملی نیز آزمایش شده است. این سناریوها عبارتند از:

۱- سناریوی ۱ (بهره‌برداری در حالت عادی)

در این سناریو، فقط اطلاعات مربوط به بازه‌های زمانی یک ساعته به عنوان ورودی به الگوریتم در نظر گرفته شده و عملکرد عادی سیستم بررسی شده است.

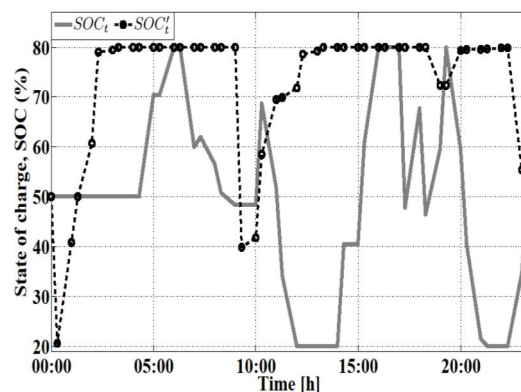
۲- سناریوی ۲

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

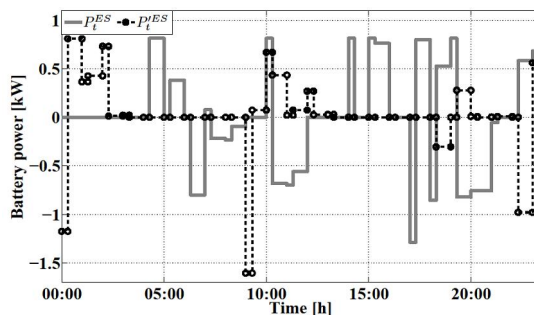
۳- سناریوی ۳

منحنی توان MT در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطوری که از شکل مشاهده می‌شود، در طول دوره ۱، MT در الگوریتم EMS-MINLP همواره با توان  $\underline{P}^{MT}$  در حال کار است. این در حالی است که در الگوریتم EMS-MABC تنها در ۷/۷ درصد مواقع در سرویس است. در دوره ۲، مشارکت MT در تأمین توان مورد نیاز در الگوریتم‌های EMS-MINLP و EMS-MABC به ترتیب در حدود ۶۱/۵۴ و ۴۶/۱۵ درصد است. در این حالت الگوریتم EMS-MABC تصمیم گرفته است تا بیشتر توان مورد نیاز خود را (در حدود ۷۷ درصد) از طریق خرید از شبکه تأمین نماید. در دوره ۳ (وقوع سناریوی ۲) مقدار مشارکت MT و شبکه اصلی در تأمین توان به ترتیب در الگوریتم EMS-MABC در حدود ۱۵/۳ و ۳۰/۷ درصد است. این در حالی است که در الگوریتم EMS-MINLP دقیقاً این مشارکت عکس است. در این دوره، مقدار متوسط MCP در هر دو الگوریتم با هم برابر است. با توجه به آنکه  $\pi^{GRID}$  کمتر از  $\pi^{MT}$  بوده، بنابراین، الگوریتم EMS-MABC عملکرد خیلی مناسبی در انتخاب منبع تأمین توان بار خود داشته است. بدین معنی که با توجه به پایین‌تر بودن قیمت پیشنهادی توسط شبکه اصلی - با ملاحظه برابر بودن مقدار متوسط MCP در هر دو الگوریتم - بهتر است که توان بیشتری از شبکه اصلی خریداری شود تا هزینه کلی سیستم کاهش بیشتری داشته باشد. در دوره ۴ مشارکت MT و شبکه اصلی برای تغذیه بار در الگوریتم EMS-MABC به طور مساوی و در حدود ۶۱/۵ درصد است در حالی که در الگوریتم EMS-MINLP به ترتیب در حدود ۳۸/۵ و ۸۴/۶ درصد تخمین زده شده است. با توجه به اینکه در این دوره مقدار متوسط MCP ماکزیمم مقدار خود در طول روز دارد؛ همچنین با ملاحظه قیمت پیشنهادی توسط هر یک از این منابع الگوریتم EMS-MINLP تصمیم به تأمین تقاضای بار خود با استفاده از MT نموده است که تصمیم نادرستی است. زیرا  $\pi^{MT}$  بزرگتر از  $\pi^{GRID}$  بوده و شایسته است به منظور کاهش هزینه کلی، توان بیشتری توسط الگوریتم از شبکه خریداری شود و از توان تولیدی توسط MT کاسته شود.

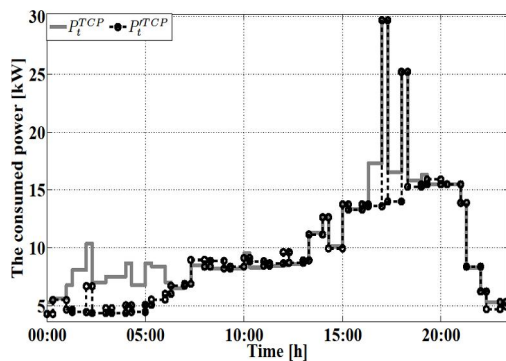
MT تأمین کرده است. ولی در ساعت ۱۸:۰۰، بخشی از کمبود توان در الگوریتم EMS-MINLP نیز توسط ES تأمین شده است. سپس، به ترتیب از MT و خرید از شبکه بقیه توان مورد نیاز برآورده شده است. این در حالی است که در الگوریتم EMS-MABC بیشتر تغذیه کامل بار توسط شبکه اصلی و سپس، با استفاده از MT تأمین شده است. در دوره ۴ نیز سناریوی ۳ رخ داده است. در زمان وقوع سناریوی ۳، MT در الگوریتم EMS-MINLP در طول این بازه زمانی با توان  $\overline{P}^{MT}$  وارد سرویس شده و سپس، بخشی از توان نیز توسط ES تأمین شده است. در این الگوریتم شبکه اصلی بخش ناچیزی از تأمین کمبود توان مورد نیاز سیستم را برعهده دارد. ولی در الگوریتم EMS-MABC از MT و شبکه اصلی استفاده شده و ES همواره در حالت آیدل است. SOC در الگوریتم EMS-MABC در پایان عملکرد ۲۴ ساعته سیستم مقداری به مراتب بیشتر از الگوریتم بهینه‌سازی دیگر دارد که این موضوع نشان‌دهنده بالاتر بودن قابلیت اطمینان شبکه توسط این الگوریتم به منظور پشتیبانی بار در روز بعد است.



شکل (۵): SOC در طول عملکرد روزانه سیستم



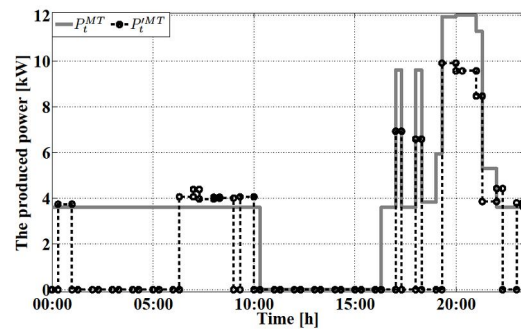
شکل (۶): توان شارژ و یا دشارژ ES در طول عملکرد روزانه



شکل (۸) توان کل مصرف شده در طول عملکرد روزانه

نمودار میله‌ای توان شامل توان شارژ و یا دشارژ ES، توان خریداری شده از شبکه و یا فروخته شده به شبکه سراسری، بار RLD، UP، EGP و برای هر دو الگوریتم در شکل‌های (۹) (الف) و (ب) نشان داده شده است. بار RLD در الگوریتم EMS-MINLP در حدود ۷۲/۸ و ۲۶ درصد از توان مورد نیاز خود در طول روز را به ترتیب در دوره ۱ و دوره ۳ تغذیه نموده است. در دوره ۱ مقدار متوسط MCP بالا بوده است. بنابراین، عملکرد بهتر این است که بیشتر این بار در دوره ۳ که مقدار متوسط  $\lambda_t^{MCP}$  مینیمم مقدار MCP در طول روز است، تغذیه بشود. بار RLD در الگوریتم EMS-MABC نیز بیشتر در طول ۳ دوره اول تغذیه شده است که مقدار توان تغذیه شده آن در این دوره‌ها به ترتیب برابر ۱۷، ۱۵/۶ و ۶۵ درصد است. با وجود این موضوع، با توجه به اینکه مقدار متوسط  $\lambda_t^{MCP}$  در طول دوره ۳ به مراتب کمتر از مقدار متوسط  $\lambda_t^{MCP}$  در طول دوره ۱ است، به تبع آن مصرف‌کنندگان هزینه کمتری برای تغذیه بارهای خود پرداخت می‌کنند. با این وجود، مقدار توان تغذیه شده RLD در طول عملکرد روزانه سیستم در الگوریتم EMS-MABC در حدود ۵۵ درصد کمتر از الگوریتم بهینه‌سازی دیگر شده است و الگوریتم EMS-MABC بیشتر سعی در بهبود وضعیت شارژ ES در طول روز نموده است.

مقدار توان فروخته‌شده به شبکه سراسری در الگوریتم EMS-MABC نیز در حدود ۴۶ درصد کاهش پیدا کرده است. دلیل آن این است که در این الگوریتم، مقدار توان تولیدی توسط MT در حدود ۴۷ درصد کمتر از مقدار آن



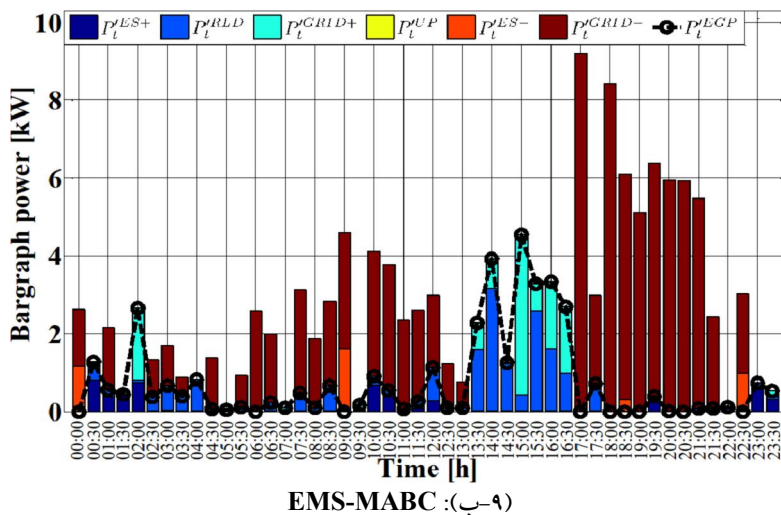
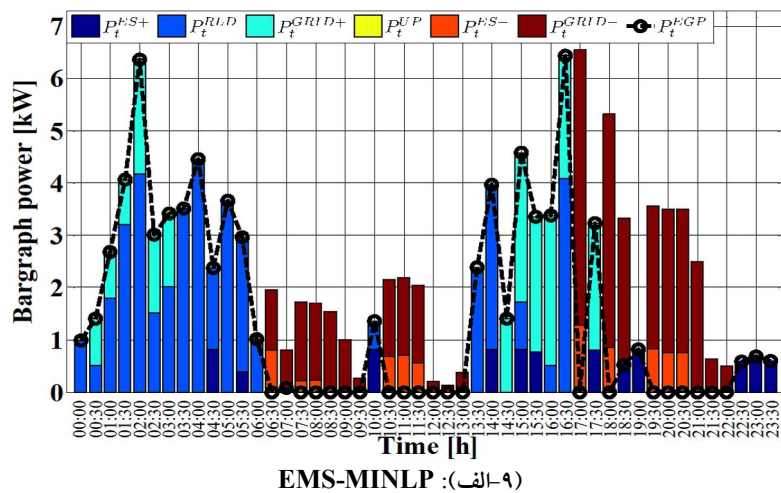
شکل (۹) توان تولیدی توسط MT در طول عملکرد روزانه

منحنی کل توان مصرفی توسط مصرف‌کنندگان در هر بازه زمانی در شکل (۸) نشان داده شده است. در دوره ۱، مقدار  $P_t^{TCP}$  در همه بازه‌های زمانی از مقدار  $P_t^{TCP}$  بزرگتر است. با توجه به بالاتر بودن مقدار متوسط  $\lambda_t^{MCP}$  نسبت به مقدار آن در دوره‌های ۲ و ۳، بهتر بود که الگوریتم TCP، کمتری نسبت به دوره‌های ۲ و ۳ داشته باشد. در این دوره، بار RLD بیشتر تغذیه و بخش قابل ملاحظه‌ای توان نیز به شبکه سراسری فروخته شده است. در دوره ۲ تقریباً تنها در ۷/۷ درصد مواقع مقدار  $P_t^{TCP}$  بزرگتر از  $P_t^{TCP}$  به دست آمده است. در الگوریتم EMS-MINLP علاوه بر تأمین بخشی از توان از شبکه سراسری، ES نیز در حالت دشارژ عمل نموده است. در دوره ۳ نیز مشابه دوره ۱، بار RLD بیشتری توسط الگوریتم EMS-MINLP نسبت به الگوریتم دیگر تغذیه شده است و نیز در این الگوریتم توان بیشتری به شبکه فروخته شده است. به تبع آن مقدار TCP آن نیز بیشتر از الگوریتم EMS-MABC (در حدود ۶۱/۵ درصد مواقع) خواهد شد. در دوره ۴ الگوریتم EMS-MINLP تصمیم به شارژ ES در بعضی از بازه‌های زمانی خود کرده است. با توجه به اینکه مقدار متوسط MCP در هر دو الگوریتم ماکزیمم مقدار خود در طول روز بوده، بنابراین به منظور کاهش هزینه برای مصرف‌کنندگان شایسته است که الگوریتم بهینه‌سازی زمان شارژ ES و یا تغذیه RLD را به زمانی دیگر با مقدار MCP پایین‌تر منتقل کند.



به دست آورد. همچنین، کل توان EGP در طول عملکرد روزانه در الگوریتم EMS-MABC نسبت به الگوریتم دیگر در حدود ۵۱ درصد کاهش نشان داده است. علت آن این است که الگوریتم EMS-MABC بیشتر سیاست تأمین تغذیه بار NRL را دنبال نموده و RLD کمتری (در حدود ۵۵ درصد) را در طول روز تغذیه کرده است. همچنین، توان کمتری به شبکه سراسری فروخته است. در این الگوریتم ES در حدود ۸۱/۲ درصد مواقع در طول روز در حالت شارژ عمل کرده است. در صورتی که ES در الگوریتم EMS-MINLP تنها در ۲۷ درصد مواقع در حالت شارژ کار کرده است. بنابراین، SOC آن به مراتب بهتر از سیستم ES در الگوریتم EMS-MINLP است.

در الگوریتم بهینه سازی EMS-MINLP شده است. بنابراین، کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه ناشی از راه‌اندازی MT در الگوریتم EMS-MABC انجام شده است. توان UP در هیچکدام از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در طول عملکرد روزانه سیستم وجود ندارد. علت آن این است که با وجود وقوع سناریوهای ۲ و ۳ با این حال کمبود توان با خرید از شبکه به‌طور کامل جبران خواهد شد. توان خریداری شده از شبکه در الگوریتم EMS-MABC به میزان ۶۱ درصد بیشتر از الگوریتم بهینه‌سازی دیگر شده است. با توجه به کاهش قابل ملاحظه MT (در حدود ۴۷ درصد) و بالاتر بودن  $\pi^{MT}$  نسبت به  $\pi^{GRID-}$  می‌توان کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه تأمین الکتریسیته



شکل (۹) نمودار میله‌ای توان شارژ و یا دشارژ ES، توان خریداری شده از شبکه و یا فروخته شده به شبکه سراسری، UP، RLD و EGP

جدول (۳): مقدار متوسط MCP در هر دوره ۶ ساعته عملکرد سیستم طی یک روز

MCP	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴
$\lambda_t^{MCP}$	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۵۸
$\lambda_t^{MCP}$	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۵۰

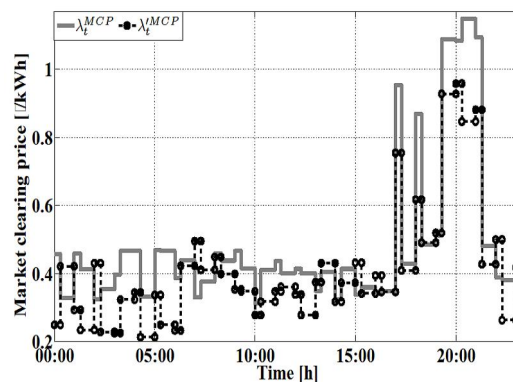
الگوریتم‌های پیشنهادی برای حل مساله EMS در محیط برنامه‌نویسی C و GAMS پیاده‌سازی شده و با استفاده از یک کامپیوتر با ویژگی‌های CPU 2.6GHz و RAM 4GB آزمایش شده است. برای مقایسه زمان اجرای الگوریتم پیشنهادشده، قدرمطلق زمان CPU در جدول (۴) بیان شده است.

جدول (۴): متوسط زمان محاسبه برای سیستم تحت مطالعه متناظر با ۱۰۰ تکرار

	MINLP	MABC
زمان اجرا (ثانیه)	۷۵	۱۳۲

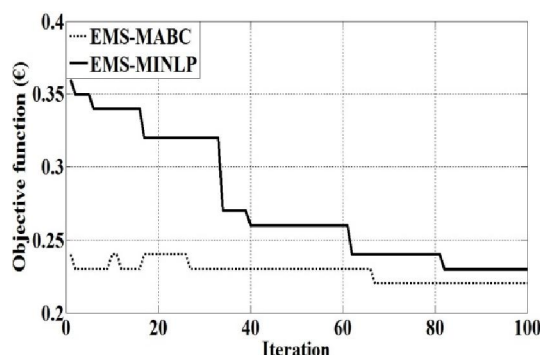
مشخصه همگرایی الگوریتم پیشنهادی برای یک بازه زمانی در شکل (۱۱) نشان داده شده است. ماکزیمم تکرار بر روی ۹۰ تکرار تنظیم شده است. همانطوری که از شکل مشاهده می‌شود، الگوریتم بعد از ۶۸ تکرار همگرا شده است. به منظور کیفیت حل ارایه‌شده توسط الگوریتم EMS-MABC برای سیستم تحت مطالعه، کارایی الگوریتم برای ۱۰۰ تکرار با نتایج به دست آمده از الگوریتم دیگر تحت مواردی از قبیل متوسط هزینه، مینیمم هزینه و انحراف استاندارد در جدول (۵) ارایه شده است. همانطوری که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، آشکار است که الگوریتم EMS-MABC پس از ۶۸ تکرار به مینیمم هزینه خود رسیده است در صورتی که الگوریتم EMS-MINLP پس از ۸۳ تکرار به مینیمم مقدار خود رسیده است. همانطوری که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، مقدار متوسط در الگوریتم EMS-MABC خیلی به مقدار مینیمم هزینه نزدیک بوده و انحراف معیار نیز به مراتب پایین‌تر از الگوریتم دیگر است.

MCP در هر بازه زمانی در هر دو الگوریتم در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همچنین، مقدار متوسط MCP در دوره‌های ۱ تا ۴ در جدول (۳) ارایه شده است. در دوره ۱ در تمامی بازه‌های زمانی مقدار  $P_t^{TCP}$  بزرگتر از  $P_t^{MCP}$  است. با توجه به اینکه در این بازه زمانی مقدار  $\lambda_t^{MCP}$  در ۸۵ درصد مواقع بزرگتر از مقدار  $\lambda_t^{MABC}$  است، بنابراین، الگوریتم EMS-MINLP بار بیشتری با هزینه بالاتر تغذیه کرده است. در دوره ۲ با کاهش  $\lambda_t^{MABC}$ ، تغییری در مقدار کل توان TCP در الگوریتم EMS-MINLP ایجاد نشده است. این در حالی است که در الگوریتم EMS-MABC، مجموع توان  $P_t^{TCP}$  در این بازه زمانی در حدود ۳۶ درصد افزایش یافته است. در دوره ۳ همچنان مجموع مقدار  $P_t^{TCP}$  افزایش نشان داده (در حدود ۴۲ درصد) در نتیجه الگوریتم EMS-MABC سعی در پایین نگاه‌داشتن مقدار MCP در طول این دوره کرده است. در دوره ۳ مجموع مقدار  $P_t^{TCP}$  در حدود ۴۶ درصد بیشتر از مجموع مقادیر در دوره ۲ شده است. با توجه به کاهش قابل ملاحظه  $\lambda_t^{MCP}$  در دوره ۳، عملکرد الگوریتم EMS-MINLP در کاهش هزینه با ملاحظه افزایش مصرف، بسیار مناسب بوده است. در دوره ۴ که مقدار MCP در هر دو الگوریتم ماکزیمم مقدار خود را در طول روز دارد، بهتر است که مصرف‌کنندگان کمتری توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی تغذیه شوند. در این راستا، الگوریتم EMS-MABC در حدود ۱/۵ درصد بار کمتری نسبت به الگوریتم EMS-MINLP تغذیه کرده است.



شکل (۱۰): MCP در هر بازه زمانی در طول عملکرد روزانه

الکتریسیته در حدود ۱۸ درصد در الگوریتم پیشنهادی است. علاوه بر این، الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به منظور مدیریت انرژی در نیروگاه‌های کوچک منطقه‌ای که در آنها از منابع انرژی تجدیدپذیر بهره می‌برند، استفاده شود. به عنوان ادامه پژوهش در این رابطه، بهینه‌سازی زمان حقیقی با در نظر گرفتن دیتای پیش‌بینی شده برای توان قابل دسترس منابع تجدیدپذیر در طول عملکرد روزانه سیستم، می‌تواند بررسی شود.



شکل (۱۱): مشخصه همگرایی الگوریتم پیشنهاد شده برای سیستم تحت مطالعه در یک بازه زمانی

## مراجع

- [1] Marzband M., Sumper A., Ruiz-Álvarez A., Domínguez-García J. L., Tomoiagă B., "Experimental evaluation of a real time energy management system for stand-alone microgrids in day-ahead markets", *Applied Energy*, Vol. 106, pp. 365-76, 2013.
- [2] Marzband M., Sumper A., Domínguez-García J. L., Gumara-Ferret R., "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. 314-22, 2013.
- [3] Pedrasa M. A. A., Spooner T. D., MacGill I. F., "A novel energy service model and optimal scheduling algorithm for residential distributed energy resources", *ELECTR POW SYST RES*, Vol. 81, No. 12, pp. 2155-63, 2011.
- [4] Khodr H., Halabi N. E., Gracia M. G., "Intelligent renewable microgrid scheduling controlled by a virtual power producer: A laboratory experience", *renew energy*, Vol. 48, pp. 269-75, 2012.
- [5] Alvarez E., Campos A. M., Arboleya P., Gutiérrez A., "Microgrid management with a quick response optimization algorithm for active power dispatch", *INT J ELEC POWER*, Vol. 43, No. 1, pp. 465-73, 2012.
- [6] Jahromi M. E., Ehsan M., Meyabadi A. F., "A dynamic fuzzy interactive approach for DG expansion planning", *INT J ELEC POWER*, Vol. 43, No. 1, pp. 1094-105, 2012.
- [7] Basu A. K., "Microgrids: Planning of fuel energy management by strategic deployment of CHP-based DERs- an evolutionary algorithm approach", *INT J ELEC POWER*, Vol. 44, No. 1, pp. 326-36, 2013.
- [8] Peik-Herfeh M., Seifi H., Sheikh-El-Eslami M., "Decision making of a virtual power

جدول (۵): مقایسه کیفیت راه‌حل برای سیستم تحت مطالعه

نام الگوریتم	مینیمم هزینه	متوسط هزینه	انحراف معیار
EMS-MABC	۰/۲۲	۰/۲۲۷۹	۰/۰۰۶۶
EMS-MINLP	۰/۲۳	۰/۲۷۴۵	۰/۰۴۲۵

## ۷- نتیجه‌گیری

الگوریتم EMS-MABC در این مطالعه، به منظور تخمین عملکرد بهینه یک MG در دو حالت عملکرد (مستقل و متصل به شبکه) با توجه به تقاضای بار و قیود مربوط به منابع تولید انرژی تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر، پیشنهاد شده است. مدیریت سمت تقاضا با کمک پاسخ تقاضا و با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از بارهای قابل قطع برای سیستم تحت مطالعه انجام شده است. در نهایت، به منظور نشان دادن سرعت پاسخگویی الگوریتم پیشنهادی به وقوع هر رویدادی در سیستم و بررسی قابلیت نصب و سازگاری، سناریوهای مختلفی اعمال شده، سپس، بر روی سیستم میکروگرید IREC به شکل عملی نیز آزمایش شده‌اند. روشن است که روند بهینه‌سازی بر اساس نتایج به دست آمده به خوبی عمل کرده و می‌تواند مقدار توان بهینه منابع تولید را پس از در نظر گرفتن تابع هزینه هر یک از آنها با مینیمم‌نمودن هزینه کل تولید الکتریسیته تعیین کند. نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم مدیریت انرژی برپایه روش EMS-MINLP مقایسه شده، و نتایج به دست آمده گویای کاهش بیشتر هزینه کل تولید

- Cuevas Figuerola F, Gomis-Bellmunt O, Sudria-Andreu A. "Operation of a utility connected microgrid using an IEC 61850-based multi-level management system", IEEE Trans Smart Grid, Vol. 3, No. 2, pp. 858–65, 2012.
- [14] Colet-Subirachs A., Ruiz-Alvarez A., Gomis-Bellmunt O., Alvarez-Cuevas-Figuerola F., Sudria-Andreu A., "Centralized and distributed active and reactive power control of a utility connected microgrid using IEC 61850". IEEE Syst J, Vol. 6, No. 1, pp. 58–67, 2012.
- [15] Marzband M., Ghadimi M., Sumper A., Domínguez-García J. L., "Experimental validation of a real-time energy management system using multi-period gravitational search algorithm for microgrids in islanded mode", Applied Energy, Vol. 128, pp. 164–74.
- plant under uncertainties for bidding in a day-ahead market using point estimate method", INT J Elec Power, Vol. 44, No. 1, pp. 88-98, 2013.
- [9] Liao X., Zhou J., Ouyang S., Zhang R., Zhang Y., "An adaptive chaotic artificial bee colony algorithm for short-term hydrothermal generation scheduling", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 53, pp. 34–42, 2013.
- [10] Rezaei-Adaryani M., Karami A., "Artificial bee colony algorithm for solving multi-objective optimal power flow problem", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 53, pp. 219–230, 2013.
- [11] Kilic U., Ayan K., "Optimizing power flow of AC-DC power systems using artificial bee colony algorithm", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 53, pp. 592–602, 2013.
- [12] Basu M., "Artificial bee colony optimization for multi-area economic dispatch", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 49, pp. 181–187, 2013.
- [13] Ruiz-Alvarez A, Colet-Subirachs A, Alvarez-

## پیوست ۱

علائم اختصاری	
ABC	Artificial Bee Colony
DER	Distributed Energy Resource
DGU	Dispatchable Generation Unit
DR	Demand Response
EMS	Energy Management System
ES	Energy Storage
MG	Microgrid
LEM	Local Energy Market
MABC	Multi-period Artificial Bee Colony
MINLP	Mixed Integer Non Linear Programming
MCP	Market Clearing Price
MT	Micro Turbine
NRL	Non-Responsive Load
PV	Photovoltaic
RLD	Responsive Load Demand
SOC	State Of Charge
SSA	Single Side Auction
UC	Unit commitment
UP	Undelivered Power
WT	Wind Turbine

واحد	تعریف متغیر	نام متغیر
-	تعداد دوره‌های شبیه‌سازی در بازه زمانی $t$	$M$
€	پیشنهاد قیمت انرژی تولید شده توسط منابع $A$ در دوره $t$	$\pi_t^A$
kW	توان تولیدشده/مصرف شده توسط منابع $A$ در بازه زمانی $t$ $A \in \{WT, PV, MT, ES-, ES+, GRID-, GRID+, RLD\}$	$P_t^A$
kW	توان ورودی ES در طول عملکرد شارژ	$P_t^{ES+}$
kW	توان خروجی ES در طول عملکرد دشارژ	$P_t^{ES-}$
kW	توان خریداری شده از شبکه سراسری توسط MG	$P_t^{GRID-}$
kW	توان فروخته شده به شبکه سراسری توسط MG	$P_t^{GRID+}$
€	هزینه پناهی ناشی از توان نامین نشده (UP) در طول دوره زمانی $t$	$\Omega_t$
€/kWh	مقدار متوسط قیمت تسویه بازار در الگوریتم EMS-MINLP	$\lambda_t^{MCP}$
€/kWh	مقدار متوسط قیمت تسویه بازار در الگوریتم EMS-MABC	$\lambda_t^{MCP}$

