بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی کلاغ

هادی تقی‌نسب*[۱]، حسن براتی[۲]

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، Hadi.71t@gmail.com
۲- استادیار، گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، Barati216@gmail.com

چکیده: بهره‌وری انرژی از نیروگاه‌های قدرت کمتر از ۶۰ درصد می‌باشد، در صورتی که بهره‌وری از واحدهای CHP می‌تواند به اندازه ۹۰ درصد باشد. علاوه بر بهره‌وری بالا واحدهای CHP دارای کاهش آلایندی زیست‌محیطی در حدود ۱۳ تا ۱۸ درصد است. در این مقاله با هدف استفاده بهینه از نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت برای رسیدن به مقصد مطلوب اقتصادی برای GENCO و برای به حداکثر رساندن سود اقتصادی و به حداقل رساندن انتشارهای محیطی بر اساس ادغام سیستم‌های CHP با واحدهای تولید گرما (TG) متعارف در شبکه قدرت از الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی کلاغ (CSA) جهت حل مسئله پخش بار اقتصادی (CHPED)و مسئله پخش بار اقتصادی/آلودگی (CHPEED) و همچنین مسئله پخش بار اقتصادی/آلودگی با مشارکت بازار خدمات برق در محیط نرم‌افزاری متلب شبیه‌سازی و نتایج آن برای هر سه حالت ارائه شده است. روش ارائه شده برای ده واحد نیروگاهی با مشخصه‌های متفاوت با بار متغیر مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از رویکرد CSA برای بهینه‌سازی، براساس مقایسه با نتایج الگوریتم کلونی مورچگان (ACO) و همچنین سایر الگوریتم‌هایی که در سایر مطالعات مورد بررسی قرار گرفته، معتبر هستند. هنگامی که واحدهای CHP با سیستم یکپارچه TG-۱۰ ادغام می‌شوند، نتایج حاصل از اجرای رویکرد CSA پیشنهادی بسیار امیدوار کننده است.

واژه‌های کلیدی: پخش بار اقتصادی/آلودگی، GENCO، نیروگاه CHP، الگوریتم CSA، الگوریتم ACO

۱- مقدمه

با افزایش نگرانی در زمینه انتشار گازهای زیست‌محیطی حاصل از تولید برق با کمک سوخت فسیلی، استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت با صرفه‌جویی در انرژی و به‌طور همزمان برای رفع نیازهای برق و حرارتی می‌تواند ازلحاظ اقتصادی سودمند باشد، درحالی‌که کمک به کاهش انتشار مواد زیست‌محیطی[۱] و استفاده

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

مناسب از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت نیازمند در نظر گرفتن ملاحظاتی برای طیف وسیعی از مسائل از قبیل فاکتورهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌منظور دستیابی به اهداف (i) مهندسی سیستم بهینه با هدف اندازه‌گیری[۲] و (ii) برنامه‌ریزی عملیات مطلوب و برنامه‌ریزی در تعامل با بازارهای انرژی برای شرکت-های تولید برق (GENCO) و مشتریان ضروری است. همچنین، سیستم‌های CHP می‌توانند توسط GENCO به منظور به حداکثر رساندن سود اقتصادی استفاده شوند که معمولا به عنوان PBC (تعهد واحد مبتنی بر سود) شناخته می‌شوند [۳].

در سال‌های اخیر محققان زیادی از روش‌های مختلفی برای حل مسئله پخش بار اقتصادی/آلودگی در سیستم‌های قدرت استفاده کرده اند، به عنوان مثال در یک تحقیق برای تعیین بازده هزینه نسبی سیستم‌های CHP، یک پراکندگی پویا بر اساس الگوریتم برنامه‌ریزی پیوندی برای مسئله UC (تعهد واحد) در برنامه‌ریزی تولید CHP [۴] ارائه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بهبود کلی ED (پخش بار اقتصادی) واحدهای CHP و تکنیک‌های ریاضی برای حل مسئله PBUC برای GENCO با واحدهای TG به عنوان برق معمولی نیروگاه ها (TG-PBUC) (تولید انرژی حرارتی) [۶،۵] مورد توجه قرار گرفته شده است. در این مقاله مشارکت GENCO صرفا در بازارهای برق[۸،۷] و همچنین فرصت‌های فروش گرما و خدمات جانبی به‌طور همزمان از طریق استفاده از CHP با واحد (TG-CHP-PBUC) به منظور به حداکثر رساندن سود اقتصادی و به حداقل رساندن انتشار آلودگی زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفته است، در یک تحقیق دیگر ماگو و همکاران[۹] یک استراتژی بهره‌برداری بار ترکیبی حرارت - برق را به عنوان یک راه کار خوب برای بهره برداری از سیستم‌های تولید همزمان در زمینه‌ی کاهش مصرف انرژی اولیه، هزینه‌ی بهره-برداری و انتشار کربن‌دی‌اکسید ارائه داده اند.

در ادامه مقاله در بخش دوم به بیان مسئله، فرمول‌بندی، معرفی قیود و محدودیت‌های موجود در سیستم قدرت برای مسئله مورد نظر ارائه شده است. روش و ساختار رویکرد CSA و کاربرد آن در مسئله TG-CHP-PBUC در بخش سوم توضیح داده شده است. در بخش چهارم حل مسئله مذکور و نتایج شبیه‌سازی مورد بحث قرار گرفته و نتیجه‌گیری از این پژوهش نیز در بخش پنجم بیان شده است. همچنین الگوریتم بهینه‌سازی فراشناختی الگوریتم کلونی مورچگان برای بررسی صحت رویکرد CSA مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جداول A1 تا A5 در ضمیمه مقاله اطلاعاتی را برای شبیه‌سازی برنامه‌ریزی رسمی تخمین اقتصادی به همراه مقادیر پیش‌بینی شده برای تقاضای برق و حرارت، قیمت بازار برق، داده‌های TG و CHP و ضرایب انتشار فراهم می‌کند.

۲- فرمول مسئله

شکل‌گیری توابع چند منظوره و محدودیت‌هایی برای به حداکثر رساندن سود اقتصادی و به حداقل رساندن انتشار زیست‌محیطی برای GENCO در این بخش ارائه شده است.

۴-

۲-۱- توابع هدف

توابع هدف جهت به حداکثر رسانی سود اقتصادی و به حداقل رساندن انتشار زیست‌محیطی برای GENCO:

۲-۱-۱- قدرت و گرما

در بازار برق برنامه‌ریزی شده، عملکرد موردنظر برای GENCO به منظور به حداکثر رساندن سود اقتصادی براساس تفاوت بین درآمد و هزینه کلی به صورت زیر تعریف شده است:

$$\text{Maximize} \quad PF = RV - TC \qquad (۱)$$

که PF: سود($)، RV:درآمد($)، TC:هزینه کل($) است.

در حالی که GENCO می‌تواند برق را در هر دو بازار انرژی و خدمات فرعی عرضه کند، گرمای تولید شده از سیستم‌های توزیع همزمان برق و حرارت برای فروش در بازار گرما عرضه می‌شود. هنگامی که ذخایر مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر اساس احتمال GENCO قیمت نقطه‌ای را برای ذخیره تولید را دریافت می‌کند [۱۰].

درآمد GENCO بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$RV = \sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}(P_{i,t}\,.\,).X_{i,t} + \sum_{=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\big((1\text{-}r).RP_t + r.SP_t\big).R_{i,t}.X_{i,t} + \sum_{=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\big(H_{i,t}\cdot \qquad (۲)$$

$Pi(MW)$ برق تولیدی از واحد ژنراتور i در طی یک ساعت است، SP_t ($) پیش‌بینی قیمت بازار برق در زمانt است، $X_{i,t}$ حالت تعهد واحد iام در ساعت t است، i شاخص واحد ژنراتور، N تعداد کل واحد تولیدی، r احتمال مربوط به تولید و ذخیره(بازار رزرو) است، $R_{i,t}$ ذخیره چرخان سیستم در هر ساعت برحسب(MW/h).

$H_{i,t}$ (MW) سطح گرمادهی واحد i در ساعت tth و HP_t ($) پیش-بینی قیمت گرما در زمان t است. در رابطه (۲) اولین اصطلاح نشان-دهنده درآمد مورد انتظار از میزان فروش رفته توسط GENCO است، اصطلاح دوم، درآمد پیش‌بینی شده از مقدار ذخیره را نشان می‌دهد و آخرین اصطلاح نشان دهنده درآمد مورد انتظار از فروش گرما است. هزینه کل عملیات برای GENCO شامل هزینه‌های سوخت و هزینه-های راه‌اندازی و خاموش شدن برای واحدهای بکارگیری شده‌ی TG و

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

سیستم‌های توزیع همزمان برق و حرارت است که توسط فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$TC=(1-r)\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}F(P_{i,t}.H_{i,t}).X_{i,t}$$
$$+r\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}F(R_{i,t}+P_{i,t}+H_{i,t})X_{i,t}+SU_{i,t}+SD_{i,t} \quad (۳)$$

رابطه $F(P_{i,t}.H_{i,t})$ عملکرد مصرف سوخت برای واحد i در زمان t($) و $SU_{i,t}$ و $SD_{i,t}$ هزینه‌های راه‌اندازی و خاموش شدن واحد حرارتی i($) در زمان t است.

$SU_{i,t}$و $SD_{i,t}$ براساس مساویات زیر تعیین می‌شود:

$$SU_{i,t} = ST_i \times X_{i,t} \times (X_{i,t} - X_{i,t-1}) \quad i \in N, t \in T \quad (۴)$$
$$SD_{i,t} = SH_i \times X_{i,t-1}(X_{i,t-1} - X_{i,t}) \quad i \in N, t \in T \quad (۵)$$

ST_i و SH_i هزینه‌های راه‌اندازی و خاموش شدن واحد i($) را به ترتیب نشان می‌دهد.

۲-۱-۲- انتشار آلودگی

هزینه انتشار به علت نیاز GENCOها برای کاهش میزان انتشار گازهای زیست‌محیطی در مقایسه با محدودیت‌های سالیانه برای واحدهای مبتنی بر سوخت فسیلی، مورد توجه قرار می‌گیرد. تابع هدف برای به حداقل رساندن انتشار به صورت زیر مطرح می‌گردد:

$$\text{Minimize } EF = h \times \sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}E(P_{i,t}) \quad (۶)$$

h فاکتور قیمت ($/ton) است و $E(P_{i,t})$ میزان انتشار واحد i در زمان t (تن در ساعت) است. به حداکثر رساندن سود اقتصادی و به حداقل رساندن انتشار زیست‌محیطی، با توجه به معادله. (۱) و معادله (۶)، هر دو به لحاظ مادی ارزشمند و قابل توجه هستند و بنابراین، می‌تواند به صورت ترکیبی به عنوان یک تابع هدف توسط فرمول زیر مطرح گردند:

$$\text{Minimize } OF = (1-w) \times EF - w \times PF \quad (۷)$$

OF ($) مربوط به تابع هدف کل است و w فاکتور وزن می‌باشد و مقادیر مرزی w=۱ و w=۰ به ترتیب به حداکثر رساندن عملکرد خالص و به حداقل رساندن انتشار خالص زیست‌محیطی هستند. توجه داشته باشید که اثرات تغییرات در توزیع سود اقتصادی و انتشار محصولات زیست‌محیطی در ادامه بررسی می‌گردند:

۳-۱-۲- واحد تولید حرارت (TG)

هزینه سوخت $F(P_{i,t})$ و انتشار $E(P_{i,t})$ ژنراتور i در زمان t برای واحد TG به صورت زیر مطرح می‌گردد[۸،۱۱].

$$F(P_{i,t}) = a_i + b_i.P_{i,t} + c_i.(P_{i,t})^2 \quad i \in N, t \in T \quad (۸)$$
$$E(P_{i,t}) = \alpha_i + \beta_i.P_{i,t} + \gamma_i.(P_{i,t})^2 \quad i \in N, t \in T \quad (۹)$$

a_i،b_i و c_i ضرایب هزینه‌های واحد TG و α_i، β_iو γ_i ضرایب مربوط به انتشار واحد i است. توجه داشته باشید که فرض بر این است که واحدهای TG با استفاده از هزینه‌های شناخته شده پایین و ضرایب ارزیابی برآورد شده زغال سنگ طبق جدول A5 محاسبه شده‌اند [۸].

۴-۱-۲- واحدهای توزیع همزمان برق و حرارت (CHP):

فرض براین است که واحدهای توزیع همزمان برق و حرارت برای استفاده، از چرخه‌های بخار آب و توربین گاز به کار برده می‌شوند. این مساله واقعیت دارد، اگرچه از نظر نوع عملیات آنها ممکن است که متفاوت باشند، هر دو حالت با استفاده از یک منطقه عملیاتی تعیین شده توسط ABCDEF مدل‌سازی می‌شوند که تولید برق و تولید گرما را هر دو در نظر می‌گیرند، همانطور که در شکل(۱) نشان داده شده است فرمول مربوطه می‌تواند به عنوان مجموعه‌ای از محدودیت‌های نابرابری خطی [۱۲] و به صورت زیر باشد:

$$H_{i,t} + P_{i,t} \geq Z_{i,t} \quad i \in N, t \in T \quad (۱۰)$$

بطوری که $Z_{i,t}$ ضریب منطقی برای اجرای قابل قبول نابرابری خطی برای واحد توزیع همزمان برق و حرارت در زمان t است. مشاهده شده است که عملکرد سیستم توزیع همزمان برق و حرارت با حداقل تزریق سوخت و حداکثر تولید گرما محدود می‌شود. یک روش برای مدل-سازی انواع مختلف واحدهای توزیع همزمان برق و حرارت با به کارگیری عملیاتی محدب و غیر محدب در مرجع [۱۳] ارائه شده است. در شکل (۱)، با توجه به مرجع (۱۳)، خط بین نقاط E و F تحت عنوان خط فشار است که در آن میزان مصرف خوب است. اگر گرما بیشتر مورد نیاز باشد، ممکن است یک شیر جهت کاهش آن باز گردد و بخشی از فشار بالای بخار وارد شده بر روی توربین کاهش یابد. این عملیات را به سمت نقاط D و E با بهره‌وری خوب می‌کشاند.

از طریق گردش به منطقه‌ی کنسانتره و حرکت به سمت نقطه ی C با نسبت مصرف نسبتا بالاتر و درنتیجه بازده‌ی مرزی کمتر، می‌توان بخار بیشتری را از توربین استخراج نمود. در نهایت اگر نیاز به برق بیشتری باشد، می‌توان به سمت نقطه A و B حرکت کرد. هزینه‌های عملیاتی و انتشار واحدهای توزیع همزمان برق و حرارت توسط مرجع [۱۲] به شکل (۱) بیان می‌شود:

$$F(P_{i,t})=a_i+b_i.P_{i,t}+c_i(P_{i,t})^2+d_i+H_{i,t}+$$
$$e_i(H_{i,t})^2+f_i.P_{i,t}.H_{i,t} \quad i\in N, t \in T \quad (۱۱)$$

$$E(P_{i,t})=(\alpha_i+\beta_i).P_{1,t} \quad i\in N, t\in T \quad (۱۲)$$

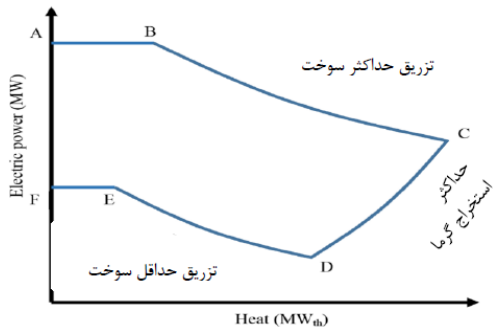
ai، bi، ci، di، ei و fi، ضریب هزینه واحد CHP است.

پس از ارایه توضیحات داده شده و تعیین مقدار ضرایب آنها واحدهای توزیع همزمان برق و حرارت بصورت شکل (۱) خواهد بود. از دیگر توابع هدفی که برای تولید همزمان برق و حرارت باید لحاظ گردد می-توان به واحدهای تک گرما اشاره کرد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]



شکل(۱) واحدهای توزیع همزمان برق و حرارت[۱۴]

۲-۱-۵- واحد های تک گرما

واحدهای تک گرمایشی، به صورت دیگ‌های بخاری هستند که برای انطباق با واحدهای توزیع همزمان برق و حرارت در رفع نیازهای گرمایشی استفاده می‌شوند. توابع هزینه و انتشار واحدهای گرما فقط توسط به صورت فرمول زیر بیان می‌گردند:

$$F(H_{i,t})=(a_i+b_i.H_{i,t}+c_1.(H_{i,t}).P_{1,t} \quad i\in N,\ t\in T \qquad (۱۳)$$

$$E(H_{i,t})=(\alpha_i+\beta_i).H_{i,t} \qquad (۱۴)$$

۲-۲- محدودیت‌ها

مسئله TG-CHP-PBUC با در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف است که در ادامه بحث می‌شود.

۲-۲-۱- تقاضای برق و تعادل گرمایی

محدودیت تقاضای برق طبیعی به عنوان محدودیت تقاضای برق امن‌تر تغییر اسم داده است. در این مطالعه، مجموع برق خروجی واحدهای تولیدی اختصاص داده شده همیشه یا کمتراست یا تقاضای پیش‌بینی شده برق برابر با مقادیر نشان داده شده در جدول A1 است[۱۰،۱۲].

$$\sum_{i=1}^{N} P_{i,t}X_{it} \le PD_t \quad t\in T \qquad (۱۵)$$

PD_t (MW) تقاضای کل سیستم در زمان t است و برای گرمایش، تولید کل حرارت در زمان t را نشان می‌دهد که کل حرارت را تامین کند(HD_t)

$$\sum_{i=1}^{N} H_{i,t}X_{it}=HD_t \quad t\in T \qquad (۱۶)$$

۲-۲-۲- بررسی ذخایر چرخان

فرض شده است که ذخایر چرخان از واحدهای در مدار در دوره t کمتر از مقادیر ذخایر در دوره t یا برابر آن است(RD_t) [۱۰].

$$\sum_{i=1}^{N} R_{i,t}X_{it} \le RD_t \quad t\in T \qquad (۱۷)$$

با توجه به رابطه بالا مقادیر ذخایر چرخان در سیکل ۲۴ ساعت برای ۱۰ واحد نیروگاهی محاسبه خواهیم کرد.

۲-۲-۳- محدودیت تولید

علاوه بر منطقه عملیاتی، ممکن برای واحدهای توزیع همزمان برق و حرارت، محدودیت‌های بالایی و پایین‌تر از TG و واحدهای گرمایشی به ترتیب زیر وجود داشته باشد[۱۰،۱۲].

$$P_{i\,min} \le P_{i,t} \le P_{i\,max} \qquad (۱۸)$$

$$0 \le R_{i,t} \le P_{i\,max}-P_{i\,min} \qquad (۱۹)$$

$$H_{i\,min} \le H_{i,t} \le H_{i\,max} \qquad (۲۰)$$

به‌طوری که $P_{i\,max}$ (MW) حداکثر تولید برق واحد i است ، (MW) $P_{i\,min}$ حداقل تولید برق واحدi و$H_{i\,max}$ (MWth) و$H_{i\,min}$ (MWth) حداکثر و حداقل خروجی گرمای واحد i است .

۲-۲-۴- حداقل زمان بالا و پایین

یک واحد باید حداقل تا زمان خاموش شدن یا راه‌اندازی مجدد آن، مرتبا روشن/خاموش در نظر گرفته شود[۱۰].

$$t_{up}(i)-t_i^{up}) (X_{i,\,t-1}-X_{i,t}) \qquad (۲۱)$$

$$t_{down}(i)-t_i^{down}) (X_{i,\,t-1}-X_{i,t}) \ge 0 \qquad (۲۲)$$

به طوری که t_{up}، t^{up}، t_{down} و t^{down} به ترتیب زمان بالا، حداقل زمان بیداری، زمان پایین و کمترین زمان واحد i است.

مشاهده شده است که مسئله TG-CHP-PBUC متغیرهای واقعی و باینری (Pi، t، Ri، t، Xi، t)، در ارتباط با توابع هدف غیرصریح (PF و EF) و محدودیت‌های مختلف نابرابری است. با توجه به محدودیت‌های حداقل و حداکثر زمان و ویژگی‌های توزیع همزمان برق و حرارت، مسئله TG-CHP-PBUC ترکیبی از طبیعت است. در بخش بعد، یک رویکرد جستجو با الگوریتم کلاغ برای حل مسئله TG-CHP-PBUC برای به حداکثر رساندن سود اقتصادی و به حداقل رساندن انتشار محیط‌زیست GENCO مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳- الگوریتم جستجوی کلاغ

در این مقاله، با توجه به رفتارهای هوشمندانه کلاغ‌ها، یک الگوریتم فرااکتشافی مبتنی بر جمعیت، یعنی الگوریتم جستجوی کلاغ توسعه داده می‌شود. الگوریتم جستجوی کلاغ توسط «علیرضا عسکرزاده» در سال ۲۰۱۶ بر اساس رفتار هوشمندانه کلاغ‌ها شکل گرفت [۱۴]. کلاغ‌ها می‌توانند چهره‌ها را تشخیص دهند و به یاد آورند، به‌طور موثری از ابزارها استفاده کنند، پازل‌ها را حل کنند، متدهای پیچیده را در ارتباط با یکدیگر به‌کار می‌برند، مواد غذایی خود را پنهان می‌کنند و بازی می‌کنند. CSA تلاش می‌کند تا این رفتار هوشمندانه از کلاغ‌ها را مدل‌سازی کند تا مشکلات بهینه‌سازی در فضای مهندسی را حل نماید. کلاغ‌ها، در حالت گروهی، نمودهای جالب‌توجهی از هوش را به نمایش گذاشته و اغلب، امتیازات بسیار بالایی را در آزمون‌های هوش کسب می‌کنند. آن‌ها می‌توانند چهره‌ها را به خاطر بسپارند، از ابزار استفاده کنند، به روش‌های پیشرفته با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

مواد غذایی را در طول فصول مختلف مخفی کرده و مجدداً بازیابند [۱۵].

۱-۳- پیاده سازی الگوریتم جستجوی کلاغ در مسئله بهینه سازی

فرض می‌کنیم که یک محیط d-بُعدی شامل تعدادی کلاغ وجود دارد. تعداد کلاغ‌ها (اندازه دسته) برابر N و موقعیت مکانی کلاغ شماره i در زمان (تکرار) $iter$ در فضای جستجو به وسیله بردار $x^{i,er}$ به ازای $(i = 1,2,\ldots,N;iter=1,2,\ldots,iter_{max})$ مشخص می‌کند که $x^{i,ir} = [x_1^{i,iter},x_2^{i,iter},\ldots,x_d^{i,iter}]$ و $iter_{max}$ تعداد کل تکرارها است. هر کلاغ دارای حافظه‌ای است که با استفاده از آن، موقعیت مکانی مخفیگاه خود را به خاطر می‌سپارد. در تکرار $iter$، موقعیت مکانی مخفیگاه کلاغ i با $m^{i,iter}$ نمایش داده می‌شود. این بهترین مکانی است که کلاغ i تاکنون کشف کرده است. در واقع، موقعیت مکانی بهترین تجربه هر کلاغ در حافظه آن ذخیره می‌گردد. کلاغ‌ها در محیط اطراف خود حرکت کرده و به جستجوی منابع غذایی (مخفیگاه‌ها) بهتر می‌پردازند. فرض کنید که در تکرار $iter$، کلاغ j بخواهد مخفیگاه خود، یعنی m^{jter} را بازرسی نماید. در این تکرار، کلاغ i تصمیم می‌گیرد که به منظور دستیابی به مخفیگاه کلاغ j، آن را تعقیب نماید. در این حالت، دو وضعیت ممکن است پیش آید:

وضعیت ۱: کلاغ j نمی‌داند که کلاغ i در حال تعقیب آن است. در نتیجه، کلاغ i مخفیگاه کلاغ j را می‌یابد. در این حالت، موقعیت مکانی جدید کلاغ i به صورت زیر بدست می‌آید:

$$X^{i,iter}=X^{i,iter}+r_i \times fl^{i,iter} \times (m^{j,iter}-X^{i,iter}) \quad (۲۳)$$

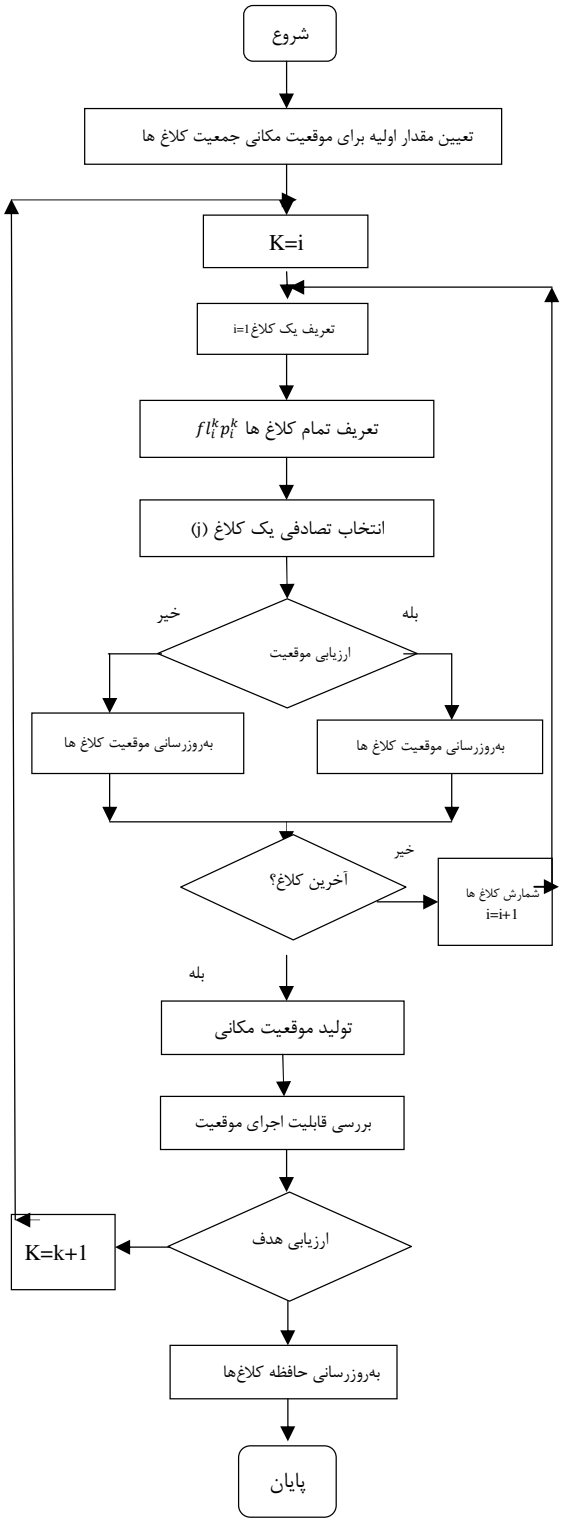
که r_i یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین دو عدد صفر و یک بوده و $l^{j,iter}$ نشان‌دهنده طول پرواز کلاغ i در تکرار $iter$ است.

وضعیت ۲: کلاغ j می‌داند که کلاغ i در حال تعقیب آن است. در نتیجه، کلاغ j به منظور پیشگیری از مورد سرقت واقع شدن ذخایر خود، کلاغ i را، با رفتن به مکانی دیگر از فضای جستجو، فریب می‌دهد. به طور کلی، وضعیت‌های ۱ و ۲ را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان نمود:

$$X^{i,iter+1}=\begin{cases} X^{i,iter} + r_i \times fl^{i,iter} \times (m^{j,iter} - X^{i,iter}) & r_i \geq AP^{j,iter} \\ \text{arandompositionotherwise} & \end{cases} \quad (۲۴)$$

که r_j عددی تصادفی با توزیع یکنواخت بین اعداد صفر و یک است و $AP^{i,iter}$ نشان‌دهنده احتمال آگاه شدن کلاغ j در تکرار $iter$ است.

الگوریتم جستجوی کلاغ، دو مشخصه تنوع‌بخشی و گسترده‌سازی، اساساً به‌وسیله مؤلفه‌ای به نام احتمال آگاهی (AP) کنترل و تنظیم می‌شوند. با کاهش مقدار احتمال آگاهی، الگوریتم جستجوی کلاغ به سمت انجام جستجوی محلی در مکانی که در آن پاسخی شایسته یافت شده، سوق‌داده‌می‌شود. در نتیجه، استفاده از مقادیرکوچک برای AP، میزان گسترده‌سازی را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، با افزایش احتمال آگاهی، احتمال جستجوی مکان‌های مجاور پاسخ‌های فعلی کاهش یافته و الگوریتم جستجوی کلاغ به سمت کاوش فضای جستجو به صورت سراسری (ایجاد آرایش تصادفی) هدایت می‌گردد. بنابراین، استفاده از مقادیر بزرگ برای AP، میزان تنوع‌بخشی را افزایش می‌دهد[۱۶].



شکل(۲)، روندنمای الگوریتم جستجوی کلاغ[۱۷].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

همانند الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم جستجوی کلاغ نیز شامل حافظه‌ای است که پاسخ‌های مناسب در آن ذخیره می‌شود. در الگوریتم بهینه‌سازی ذرات، هر ذره به سمت بهترین موقعیتی که تاکنون توسط آن ذره و همچنین بهترین موقعیتی که به وسیله کل گروه یافت شده جذب می‌شود. در نتیجه، در هر تکرار، بهترین پاسخ‌هایی که تاکنون یافت شده‌اند، به صورت مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر تکرار جستجوی کلاغ، هر کلاغ به صورت تصادفی یکی از اعضای دسته را انتخاب می‌کند (که حتی می‌تواند خودش را هم انتخاب کند) و به سمت مخفیگاه آن (بهترین پاسخ یافت شده توسط آن کلاغ) حرکت می‌کند. این یعنی اینکه در هر تکرار جستجوی کلاغ، بهترین موقعیت‌هایی که تاکنون یافت شده‌اند به صورت مستقیم برای یافتن بهترین مکان‌های ممکن، مورد استفاده قرار می‌گیرند[۱۷].

۳-۲- پیاده سازی الگوریتم CSA در حل مسئله

به منظور شبیه‌سازی مسئله بیان شده در بخش های قبلی، به شیوه زیر عمل می‌گردد:

۱- دریافت پایگاه داده ورودی شامل داده‌های مربوط به واحدهای سنتی، CHP و واحدهای حرارتی، داده‌های مربوط به پروفیل بار و قیمت ساعتی انرژی، تنظیم پارامترهای الگوریتم CSA شامل AP، طول پرواز (fl)، تعداد کلاغ‌ها و حداکثر تکرار.

۲- تعریف موقعیت اولیه حافظه کلاغ‌ها به صورت تصادفی در فاصله حد پایین تا حد بالای متغیرها. حافظه کلاغ‌ها (متغیرهای مسئله) به ترتیب شامل مقدار توان تولیدی واحدها برای ۲۴ ساعت و وضعیت روشن (صفر) یا خاموش بودن (یک) واحدها در هر ساعت می‌باشد.

۳- محاسبه مقدار شایستگی برای حافظه هر یک از کلاغ‌ها. در این مرحله، مقدار سود برای حافظه هر یک از کلاغ‌ها (x) محاسبه و به عنوان شایستگی کلاغ‌ها ذخیره می‌شود.

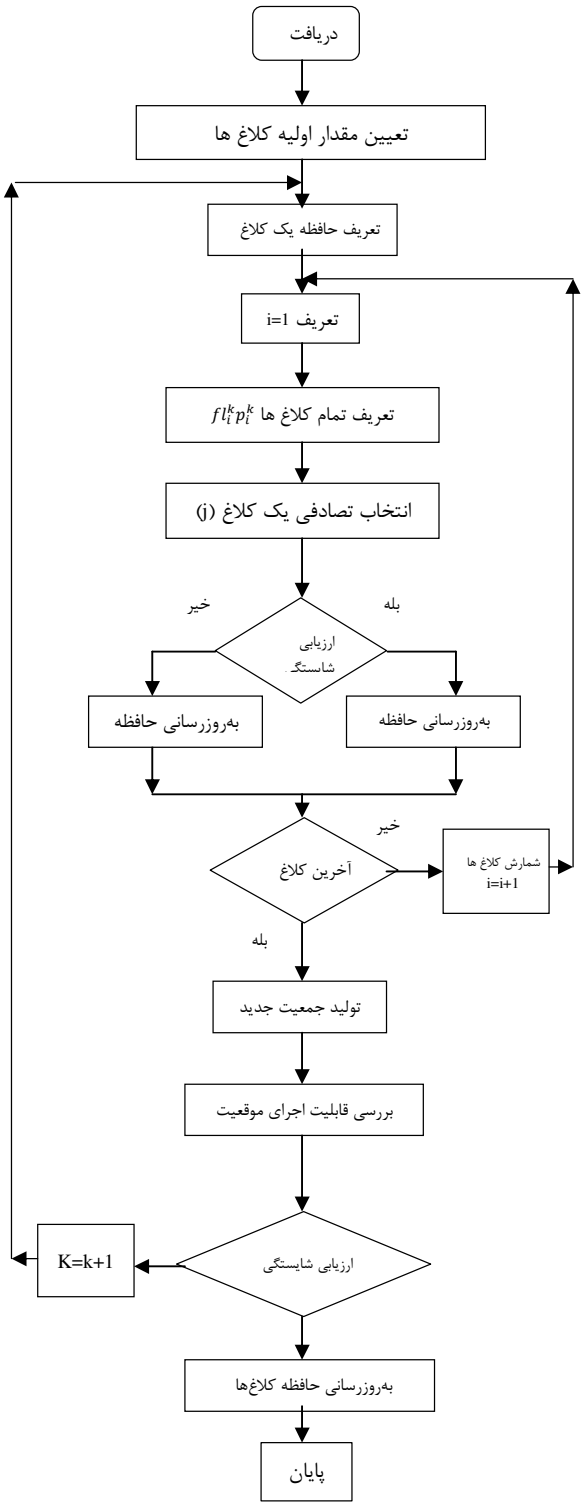
۴- تولید جمعیت (موقعیت) جدید. در این مرحله یک عدد تصادفی برای هر یک از کلاغ‌ها تولید می‌شود. اگر مقدار عدد تصادفی بزرگ تر از AP باشد، موقعیت جدید کلاغ تولید می‌شود. اگر مقدار عدد تصادفی کوچک تر از AP باشد، موقعیت جدید کلاغ به صورت تصادفی بین حد پایین و حد بالای متغیرها انتخاب می‌شود.

۵- محاسبه مقدار شایستگی برای موقعیت های جدید.

۶- ارزیابی مجاز بودن موقعیت جدید کلاغ‌ها. در این مرحله بررسی می‌شود که آیا موقعیت جدید کلاغ‌ها در محدوده حد پایین و بالای متغیرها هست یا خیر. در صورتی که موقعیت‌های جدید در محدوده حد پایین تا بالای متغیرها باشند و مقدار شایستگی آن از شایستگی حافظه کلاغ باشد، جایگزین حافظه کلاغ می‌شوند. این مرحله، به‌روزرسانی حافظه نام دارد.

۷- تکرار مراحل ۴ الی ۶ به تعداد حداکثر تکرار تنظیم شده است.

این فرآیندها به صورت روندنمایی در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل (۳) روندنمای پیاده‌سازی الگوریتم جستجوی کلاغ برای حل مسئله

۳-۳- اعتبارسنجی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

برای تایید عملکرد رویکرد CSA، نتایج حالت ۱ این مطالعه با آنهایی که از الگوریتم‌هایی که در سایر مطالعات مورد بررسی قرار گرفته‌اند، مقایسه شده است، علاوه‌براین، یک الگوریتم بهینه-سازی از جمله کلونی مورچگان برای بررسی صحت رویکرد CSA برای هر سه مورد به مسئله TG-CHP-PBUC اعمال می‌شود. اشاره شده که متغیرهای بهینه‌سازی شامل وضعیت واحد (Xi.t)، تولید برق (Pi، t) و خروجی تولید گرما (Hi، t) می‌باشند.

۳-۳-۱- الگوریتم کلونی مورچگان

الگوریتم کلونی مورچه الهام گرفته شده از مطالعات و مشاهدات روی کلونی مورچه هاست. این مطالعات نشان داده که مورچه‌ها حشراتی اجتماعی هستند که در کلونی‌ها زندگی می‌کنند و رفتار آن‌ها بیشتر در جهت بقاء کلونی است تا در جهت بقاء یک جزء از آن. یکی از مهم‌ترین و جالب‌ترین رفتار مورچه‌ها، رفتار آن‌ها برای یافتن غذا است و به ویژه چگونگی پیدا کردن کوتاهترین مسیر میان منابع غذایی و آشیانه. این نوع رفتار مورچه‌ها دارای نوعی هوشمندی توده‌ای است که اخیراً مورد توجه دانشمندان قرار گرفته‌است[۱۸].

۴- نتایج شبیه‌سازی

برای بررسی اثرات TG-CHP-PBUC و برای به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن انتشار های محیطی، سه حالت در این مطالعه در نظر گرفته شده است. در حالت اول،GENCO تنها واحد TG شرکتی در بازار برق است که توسط مقالات موجود نیزمورد تایید قرار گرفته است [۲۰,۲۱]. مساله TG-PBUC برای حالت اول و برای بررسی موارد زیر در نظر گرفته شده است: تنها به منظور به حداکثر رساندن سود اقتصادی (w=۱). به حداکثر رساندن سود اقتصادی همراه با به حداقل رساندن انتشارمحیطی (w=۰/۵).

توجه داشته باشید که با توجه به چرخش ذخیره سازی، حالت اول با توجه به اهداف اعتبارسنجی با کمک رویکرد CSA تعریف شده است و نتایج با مقادیر گزارش شده در پایگاه‌های اطلاعاتی دیگر و با الگوریتم‌های کار شده مختلف، مورد مقایسه قرار گرفته است. برای حالت دوم و سوم، GENCO که دارای واحدهای TG و CHP می-باشد در نظر گرفته شده است. با این حال، برای هر سه حالت، GENCO که دارای قدرت تولیدی مشابه در بازار برق است مورد بررسی قرار گرفته است.

برای حالت دوم، علاوه بر بازار برق، GENCO توانایی مشارکت در بازار گرما را نیز دارد. در حالت سوم، اثرات بازار خدمات فرعی در مورد مشکل TG-CHP-PBUC مورد بررسی قرار گرفته است، جایی که ذخایر چرخشی برای قیمت پیش‌بینی شده محاسبه شده است و مشکل TG-CHP-PBUC با توجه به انتشار محیطی حل شده است.

برای نشان دادن مقیاس‌پذیری روش پیشنهادی و حساسیت خروجی به مقیاس GENCO، برای هر سه مورد، سیستم واحد TG-۱۰ بزرگتر شده و مشکلات برای تعداد زیادی از GENCOها حل شده است. برای تأیید صحت رویکرد CSA، همان‌طور که قبلا ذکر شد، عملکرد پیشنهادی CSA برای هر سه مورد با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند ACO مقایسه شده است. کدهای منبع شبیه‌سازی برای هر سه مورد در محیط MATLAB توسعه داده شده و بر روی رایانه شخصی اجرا شده است. واحدهای تولیدی و اطلاعات تقاضا براساس منابع [۱۰,۸] مطرح شده است.

مقادیر پیش‌بینی شده برای تقاضای برق و گرما، قیمت بازار برق، داده‌های واحد TG و CHP و ضرایب انتشار برای واحدهای TG-۱۰ و واحد CHP نیز در بخش ضمیمه به استثنای مقدار 'r' در ۰/۰۰۵ برای مورد سه، مقادیر برای پارامترهای دیگر برای هر سه مورد یکسان هستند. بر اساس تقاضای پیش‌بینی شده و پیش‌بینی قیمت داده‌های بازار، از روش PBUC برای تعیین برنامه زمان‌بندی مطلوب برای یک افق زمانی ۲۴ ساعته با بار متغیر استفاده می‌شود.

۴-۱- حالت۱: پخش بار اقتصادی در سیستم‌های (TG)

در این سیستم برای حل مسئله پخش بار اقتصادی با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم جستجوی کلاغ، ده واحد نیروگاهی با ظرفیت توان مختلف در نظر گرفته شده است.با اجرای برنامه کامپیوتری و نتایج حاصل از آن برای پخش بار اقتصادی شامل سهم تولید هر واحد در سیکل زمانی ،هزینه‌ی سوخت،هزینه‌ی راه‌اندازی واحدها، درآمد و همچنین مقدار سودی می‌باشد که با استفاده از بهینه‌سازی سیستم برای هر ساعت از واحدها طبق جدول (۱) به دست می‌آید و مقادیر به دست آمده را با دیگر الگوریتم‌های تکاملی در جدول (۲) مقایسه شده است. نمودار مربوط به روند همگرایی و بهینه‌سازی نیز در شکل (۴) نشان داده شده است.

برتری رویکرد پیشنهادی CSA برای بهینه سازی در این مطالعه، نتایج حالت ۱ برای w= 1.0 با را با TS-RP (جستجوی ممنوعه با اختلال تصادفی)، TS-IRP (جستجوی ممنوعه با بهبود اختلال تصادفی)، روش مولر، ACO (کلونی مورچگان)، DMU (روش ریاضی قطعی)، IPPD (بهبود تقاضای نیروی پیش تهیه شده)، موجود در مقالات مورد مقایسه قرار می‌گیرد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

در حالت ۱ هزینه‌ی کلی سیستم در یک سیکل ۲۴ ساعت (۴۵۵۹۶($ و درآمد سیستم در این بازه زمانی (۵۷۱۲۶۷($ به دست آمده است که با توجه به مقادیر یاد شده مقدار سود به دست آمده (۱۰۵۳۰۶($ است. شایان ذکر است که ضریب احتمال مربوط به تولیدو ذخیره برابر (r=۰) و همچنین ضریب وزنی برای پخش بار اقتصادی برابر (w=1)، در نظر گرفته شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

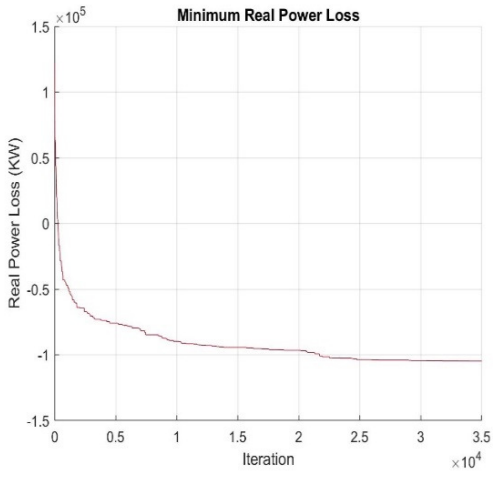
[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

جدول (۱) نتایج پخش بار اقتصادی با ده واحد نیروگاهی (TG)

Hr	Electric power(MW)																
	demand		TG unit										Monetary value ($)				
	required	committed	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	Fuel cost	Start up cost	Total cost	Revenue	Profit
۱	۷۰۰	۶۹۸/۵۵	۴۵۵	۲۴۰/۵۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸۲۸۱	۰	۱۳۶۰۶	۱۵۴۰۶	۱۸۰۰/۸
۲	۷۵۰	۷۴۰/۷۴	۴۵۳/۹۲	۲۸۶/۸۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۹۰۶۹	۰	۱۴۳۹۴	۱۶۲۹۶	۱۹۰۲/۴۰
۳	۸۵۰	۸۴۸/۲۳	۴۵۴/۶۷	۳۹۳/۵۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰۹۴۶	۰	۱۶۲۷۱	۱۵۲۹۴	۳۳۲۲/۹۰
۴	۹۵۰	۹۰۸/۵۱	۴۵۴/۱۲	۴۵۴/۳۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲۰۰۳	۰	۱۷۳۲۸	۲۰۵۷۸	۳۲۴۹/۸۰
۵	۱۰۰۰	۹۱۰	۴۵۵	۴۵۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲۰۲۸	۰	۱۷۳۵۳	۲۱۱۵۸	۳۸۰۴/۲۰
۶	۱۱۰۰	۹۰۷/۴۳	۴۵۲/۴۹	۴۵۴/۹۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۹۸۵	۰	۱۷۳۱۰	۲۰۸۲۵	۳۵۱۵
۷	۱۱۵۰	۹۰۵/۴	۴۵۳/۴۸	۴۵۱/۹۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۹۴۹	۰	۱۷۲۷۴	۲۰۳۷۱	۳۰۹۷/۵۰
۸	۱۲۰۰	۱۰۳۹/۷	۴۵۵	۴۵۵	۰	۱۲۹/۷۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴۲۰۴	۵۶۰	۲۰۷۶۹	۲۳۰۳۰	۲۲۶۰/۷۰
۹	۱۳۰۰	۱۱۸۸/۱	۴۵۲/۶۲	۴۵۵	۰	۱۲۹/۱۹	۱۵۱/۳۲	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷۲۲۸	۹۰۰	۲۴۵۸۳	۲۷۰۹۰	۲۵۰۶/۷۰
۱۰	۱۴۰۰	۱۳۲۸/۳	۴۵۳/۴۵	۴۵۴/۹۳	۱۲۸/۲۲	۱۲۹/۷۳	۱۶۲	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹۶۳۴	۵۵۰	۲۷۳۳۹	۳۸۹۸۶	۱۱۶۴۷
۱۱	۱۴۵۰	۱۳۲۹/۳	۴۵۵	۴۵۵	۱۳۰	۱۲۸/۴۲	۱۶۰/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹۶۴۷	۰	۲۶۸۰۲	۴۰۰۷۹	۱۳۲۷۷
۱۲	۱۵۰۰	۱۳۳۰/۵	۴۵۴/۹۷	۴۵۴/۹۶	۱۲۸/۷۲	۱۳۰	۱۶۱/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹۶۷۰	۰	۲۶۸۲۵	۴۲۱۰۹	۱۵۲۸۵
۱۳	۱۴۰۰	۱۳۳۰/۳	۴۵۴/۷	۴۵۴/۹۹	۱۲۸/۹۲	۱۲۹/۹	۱۶۱/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹۶۶۷	۰	۲۶۸۲۲	۳۲۷۲۶	۵۹۰۳/۷۰
۱۴	۱۳۰۰	۱۲۹۸/۳	۴۵۳/۹۶	۴۵۴/۲۲	۱۲۹/۹۳	۹۸/۶	۱۶۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹۱۲۳	۰	۲۶۲۷۸	۳۱۸۰۹	۵۵۳۰/۹۰
۱۵	۱۲۰۰	۹۰۸/۰۹	۴۵۳/۸۵	۴۵۴/۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۹۹۶	۲۰۱۰	۱۹۳۳۱	۲۰۴۳۲	۱۱۰۱/۲۰
۱۶	۱۰۵۰	۹۰۹/۵۲	۴۵۵	۴۵۴/۵۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲۰۲۰	۰	۱۷۳۴۵	۲۰۲۸۲	۲۹۳۷/۴۰
۱۷	۱۰۰۰	۹۰۷/۹۳	۴۵۵	۴۵۲/۹۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۹۹۲	۰	۱۷۳۱۷	۲۰۲۰۱	۲۸۸۴/۵۰
۱۸	۱۱۰۰	۹۰۲/۵۸	۴۵۲/۷۱	۴۴۹/۸۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۹۰۰	۰	۱۷۲۲۵	۱۹۹۰۲	۲۶۷۶/۷۰
۱۹	۱۲۰۰	۹۰۴/۱۱	۴۵۵	۴۴۹/۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۹۲۵	۰	۱۷۲۵۰	۲۰۰۷۱	۲۸۲۱/۳۰
۲۰	۱۴۰۰	۹۰۸/۹	۴۵۳/۹	۴۵۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲۰۱۰	۰	۱۷۳۳۵	۲۰۴۵۰	۳۱۱۵/۲۰
۲۱	۱۳۰۰	۹۰۸/۱۶	۴۵۵	۴۵۳/۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۹۹۶	۰	۱۷۳۲۱	۱۹۹۷۹	۲۶۵۸/۵۰
۲۲	۱۱۰۰	۹۰۹/۱۳	۴۵۴/۱۳	۴۵۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲۰۱۴	۰	۱۷۳۳۹	۲۱۰۰۱	۳۶۶۲/۲۰
۲۳	۹۰۰	۸۹۸/۸۲	۴۴۴/۶۹	۴۵۴/۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱۸۴۲	۰	۱۷۱۶۷	۲۰۳۵۸	۳۱۹۱/۵۰
۲۴	۸۰۰	۷۹۷/۱۵	۴۵۲/۴۱	۳۴۴/۷۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰۰۵۵	۰	۱۵۳۸۰	۱۸۵۳۴	۳۱۵۳/۹۰
	Total												۵۶۳۱۸۴	۴۰۲۰	۴۶۵۹۶۴	۵۷۱۲۶۷	۱۰۵۳۰۶

جدول(۲)، سود حاصل در الگوریتم‌های مختلف:

Method	Profit ($)
TS-RP [22]	۱۰۱۰۸۶.۰۰
TS-IRP [22]	۱۰۳۲۶۱.۰۰
Muller method [23]	۱۰۳۲۹۶.۰۰
ACO [24]	۱۰۳۸۹۰.۰۰
DMP [25]	۱۰۴۳۲۹.۰۰
IPPD [26]	۱۰۵۱۶۴.۰۰
CSA	۱۰۵۳۰۶.۰۰



شکل(۴)، روند همگرایی کل سیستم TG

۴-۲- حالت ۲: پخش بار اقتصادی/آلودگی (CHP)

با انجام برنامه‌ی کامپیوتری و نتایج بدست آمده پخش بار بر اساس توابع اقتصادی/آلودگی شامل سهم تولید توان نیروگاه‌ها برای هشت نیروگاه TG و دو نیروگاه CHP می‌باشد. سایر نتایج بدست آمده برای هزینه‌ی سوخت، درآمد، مقدار آلودگی و همچنین مقدار سود

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

حاصل با استفاده از بهینه‌سازی سیستم برای هر ساعت می‌باشد که در جدول (۳) تنظیم و نتایج حاصله را با الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان (ACO) در جدول(۴) مقایسه می‌شود. برای این بخش مقدار ضریب احتمال تولید و ذخیره را (r=۰) و مقدار ضریب وزنی را (w=۰/۵) در نظر می‌گیریم.

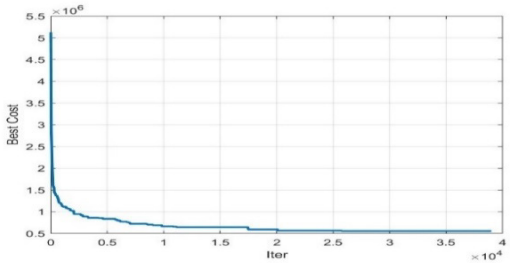
واحدهای CHP-5 و CHP-6 جایگزینی برای واحدهای U5 و U6 مربوط به پخش بار اقتصادی و یک واحد گرمایشی مستقیم بدون درنظرداشتن بازار خدمات فرعی معرفی شده است. ادغام سیستم‌های CHP با واحدهای TG فرصتی برای GENCO برای شرکت در بازار گرما در کنار بازار خدمات برق برای سود اقتصادی بالاتر از طریق فروش گرما به قیمت قابل توجه و تقاضا در کاهش انتشار مواد زیست محیطی است. در ادامه نیز نمودار روند همگرایی و بهینه‌سازی کل سیستم با استفاده از الگوریتم CSA در شکل (۵) نشان داده می‌شود

جدول(۳)، نتایج پخش بار اقتصادی/آلودگی

Hr	Electric power (MW)										Heat (MW_{th})			Monetary value ($)				Emission
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	CHP-5	CHP-6	Heat only	Fuel cost	Total cost	Revenue	Profit	
۱	۰	۱۷۳/۱۳	۱۲۹/۶۶	۰	۹۷/۱۴	۷۶/۹۳	۰	۳۵/۹۱	۲۸/۷۸	۵۵	۹/۷۳	۱۰۶/۸۸	۲۹۲/۹۲	۲۸۲۶۳	۲۸۲۶۳	۴۳۵۲۰	۱۵۲۵۷	۲۷۹/۳۳
۲	۲۰۳/۳۷	۳۱۰/۸۱	۰	۶۲/۴۴	۹۶/۴۴	۰	۰	۰	۳۶/۶۴	۰	۱۳/۹	۴۰/۴۷	۳۴۹/۸۵	۲۸۶۷۱	۳۴۵۱۱	۴۵۵۲۶	۱۱۰۱۵	۵۰۹/۵۰
۳	۳۳۲/۱۳	۰	۲۴/۶۵	۰	۹۸	۰	۳۵/۱۹	۴۱/۸۵	۱۱/۸۰	۰	۴/۷۱	۴۰/۴۷	۳۵۰	۲۶۱۲۳	۳۲۵۲۳	۴۱۸۰۲	۹۲۷۸	۴۵۴/۴۱
۴	۳۶۰/۳۷	۰	۹۱/۱۴	۰	۸۶/۷۴	۵۰/۴۹	۰	۰	۰	۱۷/۵۴	۷۰/۹۵	۸۴/۰۵	۲۷۹/۸۸	۲۶۵۰۳	۲۷۰۲۳	۴۵۹۱۵	۱۸۸۹۲	۵۳۵/۲۳
۵	۳۵۵/۰۱	۴۲۹/۹	۰	۰	۸۱/۲۶	۰	۵۷/۹۷	۰	۲۸/۳۵	۳۳/۴۴	۱۰۳/۲۷	۴۰/۴۷	۳۰۱/۴۳	۳۳۸۲۵	۳۹۸۳۵	۵۵۸۶۶	۱۶۰۳۱	۹۷۳/۸۹
۶	۴۰۱/۴۲	۰	۰	۱۳۰	۹۴/۲۳	۱۰۰/۳۷	۰	۰	۰	۲۹/۴۵	۲۶/۸۵	۱۲۷/۱۱	۲۸۸/۹۹	۳۰۵۹۷	۳۶۶۱۷	۵۰۱۱۷	۱۳۵۰۰	۶۴۸/۶۷
۷	۲۹۵/۷	۴۱۵/۱۲	۹۶/۲۲	۱۳۰	۸۶/۳۲	۰	۸۶/۲۷	۲۹/۳۰	۰	۰	۷۳/۴۶	۴۰/۴۷	۳۴۸/۵۸	۳۶۹۶۷	۴۳۰۰۷	۵۹۶۲۸	۱۶۶۲۱	۸۸۶/۲۵
۸	۲۴۴/۰۵	۴۵۴/۹۵	۶۸/۸۴	۱۳۰	۸۱	۰	۲۵	۵۲/۶۲	۱۴/۱۹	۵۵	۱۰۴/۸	۴۰/۴۷	۳۵۰	۳۷۷۵۸	۳۷۸۱۸	۶۱۵۸۴	۲۳۷۶۶	۸۸۱/۶۱
۹	۴۰۴/۳۹	۳۱۲/۸۴	۱۲۴/۸۸	۱۳۰	۹۱/۱۲	۴۸/۲۸	۶۹/۶۲	۱۸/۸۴	۱۰	۲۵/۶۱	۴۵/۱۹	۸۲/۱۵	۳۵۰	۳۹۸۸۷	۴۰۰۵۷	۶۳۴۹۵	۲۳۴۳۸	۸۹۹/۵۹
۱۰	۴۵۵	۴۳۱/۴۲	۷۳/۱۴	۴۴/۳۶	۹۳/۸۸	۹۲/۸۱	۸۱/۹۱	۲۲/۱۱	۵۱/۲۸	۳۵/۴۲	۲۸/۹۴	۱۲۰/۵۹	۳۳۷	۴۴۰۴۴	۴۴۰۴۴	۷۶۵۴۶	۳۲۵۰۲	۱۱۹۴/۷۰
۱۱	۴۵۲/۴۷	۴۲۵/۷۲	۱۲۱/۲	۵۰/۳۱	۸۳/۰۲	۵۴/۴۷	۸۴/۹۶	۰	۳۱/۱۹	۰	۹۲/۸۸	۸۷/۴۹	۳۰۴/۰۲	۴۰۴۵۱	۴۰۵۱۱	۷۵۱۴۲	۳۴۶۳۲	۱۲۱۸/۶۰
۱۲	۴۱۰/۷۵	۴۵۲/۷۳	۱۳۰	۱۲۷/۱۸	۸۶/۴	۸۸/۴۷	۳۲/۲۴	۰	۱۰	۰	۷۳	۱۱۶/۸۴	۲۸۹/۹۲	۴۰۸۰۴	۴۰۸۰۴	۷۷۸۴۳	۳۷۰۳۹	۱۲۲۵/۸۰
۱۳	۴۰۰/۳۵	۴۵۵	۱۰۵/۹۱	۶۱/۶۴	۹۶/۸۳	۱۰۲/۶۷	۰	۱۰	۰	۰	۱۱/۵۸	۱۲۹/۰۹	۳۳۷/۸۴	۳۹۸۷۶	۴۰۱۹۶	۶۵۷۲۷	۲۵۵۳۱	۱۱۶۰/۴۰
۱۴	۲۶۰/۰۱	۴۱۶	۱۱۴/۸۳	۸۷/۹۷	۸۹/۰۷	۴۳/۹۳	۶۵/۳۷	۴۹/۰۳	۵۱/۸۹	۰	۵۷/۲۸	۷۸/۳۹	۳۳۳/۰۸	۳۸۹۳۶	۳۹۲۲۶	۶۳۵۵۲	۲۴۳۲۶	۸۰۶/۶۰
۱۵	۴۵۱/۱۹	۲۶۹/۷۶	۰	۱۱۳/۹۱	۸۶/۴۴	۴۲/۸۷	۷۴/۱۶	۰	۲۸/۲۶	۴۶/۴۱	۷۲/۷۶	۷۷/۴۸	۳۱۵/۱۲	۳۷۲۳۸	۳۷۸۴۸	۵۹۴۸۱	۲۱۶۳۳	۹۰۵
۱۶	۴۳۳/۶	۱۵۰	۸۹/۶۲	۱۳۰	۸۴/۸۲	۰	۷۳/۲۴	۰	۰	۰	۸۲/۲۷	۴۰/۴۷	۳۱۹/۹۵	۳۲۹۴۷	۳۳۷۲۷	۵۴۱۹۷	۲۰۴۷۰	۷۶۶/۵۱
۱۷	۲۵۵/۷۷	۴۰۵/۲۴	۲۰	۰	۹۰/۲۰	۰	۸۱/۱۶	۴۳/۲۶	۳۷/۹۰	۱۶/۷۸	۵۰/۵۸	۴۰/۴۷	۳۴۷/۲۵	۳۴۴۸۵	۳۵۱۳۵	۵۳۵۸۰	۱۸۴۴۵	۷۴۴/۴۴
۱۸	۱۵۰	۴۱۴/۹۳	۰	۵۶/۷۹	۸۴/۲۱	۰	۰	۰	۲۰/۵۱	۵۵	۸۵/۹۰	۴۰/۴۷	۳۲۵/۵۳	۳۰۳۸۹	۳۱۷۸۹	۵۰۶۷۲	۱۸۸۸۲	۶۶۷/۲۰
۱۹	۴۲۱/۱۵	۲۲۷/۲۴	۱۳۰	۸۳/۴۴	۸۹/۲۵	۱۱۰	۴۲/۱۶	۰	۵۲/۶۶	۵۵	۵۶/۲۲	۱۳۵/۴۲	۳۰۳/۳۸	۳۹۹۸۹	۴۰۹۶۹	۶۲۶۵۷	۲۱۶۸۸	۷۷۵/۹۲
۲۰	۴۵۵	۴۴۵/۴۶	۱۳۰	۱۱۲/۷۷	۸۵/۴۳	۰	۶۴/۰۷	۱۰	۰	۴۵/۹۱	۷۸/۷۱	۴۰/۴۷	۳۲۵/۱۲	۴۰۲۴۵	۴۰۴۷۵	۶۳۲۲۳	۲۲۷۴۸	۱۲۹۷/۶۰
۲۱	۴۴۴/۸۶	۲۸۸/۱۷	۱۰۱/۸۵	۱۰۱/۶۵	۸۴/۳۲	۶۴/۷۴	۰	۰	۵۵	۴۹/۶۴	۸۵/۲۴	۹۶/۳۵	۲۸۸/۹۲	۳۸۱۸۳	۳۸۶۷۳	۶۱۰۰۴	۲۲۳۳۱	۹۲۲/۵۹
۲۲	۴۵۵	۴۵۳/۲۶	۰	۰	۹۱/۹۳	۰	۰	۴۳/۸۶	۰	۰	۴۰/۴۲	۴۰/۴۷	۳۵۰	۳۴۵۶۰	۳۵۹۳۰	۵۶۰۰۴	۲۰۰۷۴	۱۲۷۵/۳۰
۲۳	۳۴۱/۱۲	۲۴۲/۱۱	۶۹/۵۹		۹۲/۸۷	۰	۰	۰	۲۳/۱۴	۳۴/۱۲	۳۴/۸۸	۴۰/۴۷	۳۴۱/۹۴	۳۰۳۲۵	۳۰۹۶۵	۴۹۰۶۷	۱۸۱۰۲	۶۰۳/۴۴
۲۴	۴۵۰/۰۱	۰	۱۳۰	۰	۹۷/۹۲	۰	۰	۱۰	۲۸/۱۰	۱۰	۳۴/۳۳	۴۰/۴۷	۳۲۷/۳۶	۲۸۲۸۰	۳۳۳۱۰	۴۶۵۲۵	۱۳۲۱۶	۷۵۹/۰۶
	Total													۸۳۹۳۴۶	۸۸۳۲۵۶	۱۳۸۲۶۷۳	۴۹۹۴۱۷	۲۰۳۹۲

جدول (۴)، مقایسه نتایج بدست آمده با الگوریتم ACO

Method	Total cost ($)	Profit ($)	Emission(ton/hr)
ACO	۷۵۶۱۳۲	۳۵۱۰۱۲	۱۱۳۴۷
CSA	۸۸۳۲۵۶	۴۹۹۴۱۷	۲۰۳۹۲



شکل(۵)، روند همگرایی کل سیستم CHP

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

۳-۴- حالت ۳: پخش بار اقتصادی/آلودگی با مشارکت بازار خدمات برق

در این بخش PBUC برای واحدهای TG و CHP با مشارکت در بازار خدمات برق است. فرض بر این است که GENCO میتواند علاوه بر بازار حرارت و انرژی در بازار خدمات فرعی نیز مشارکت داشته باشد. با توجه به ساختار رقابتی در بازار برق، GENCO میتواند برای فروش انرژِی الکتریکی و ذخیره‌سازی بر اساس بخش های پیش بینی شده انتخاب شود. در این حالت GENCO نرخ ذخیره سازی برای هر واحد ذخیره برای گام زمانی که ذخیره تخصیص داده شده و مورد استفاده قرار نمی کیرد را دریافت کند. هنگامی که ذخایر استفاده می شود، GENCO قیمت نقدی برای فروش فوری ذخیره تولیدی را دریافت می کند. جدول(۵) نتایج مربوط به این بخش را نشان می دهد. در این بخش مقدار ضریب احتمال تولید و ذخیره را (r=۰/۰۰۵) و مقدار ضریب وزنی را(w=۰/۵) در نظر میگیریم که شامل ده واحد نیروگاهی TGو CHP می‌باشد که باهم ادغام شده است. کل درامد حاصل از تولید نیروگاه‌ها برابر $ ۱۲۲۹۴۴۰و مقدار کل آلایندگی برابر ۲۰۶۹۴(ton/hr)می‌باشد.

جدول (۵)، پخش بار اقتصادی/آلودگی با مشارکت بازار خدمات برق

Hr		Electric power (MW)										Heat (MWth)			Monetary value ($)				Emission
		Reserve (MW)																	
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	CHP-5	CHP-6	Heat only	Fuel cost	Total cost	Revenue	Profit	
۱	P	۱۷۲/۹۷	۰	۷۸/۰۸	۷۲/۷۹	۹۵/۷۹	۵۶/۴۳	۶۳/۹۳	۱۷/۴۷	۲۹/۸۷	۲۸/۸۷	۱۷/۷۰	۸۹/۱۸	۲۰۴/۰۴	۲۶۱۹۰	۲۶۱۹۰	۳۶۶۵۸	۱۰۴۶۸	۲۳۹/۴۶
	R	۱۶/۵۰	۰	۸/۲۹	۲/۲۳	۲/۹۷	۱۱/۷۰	۴/۶۴	۶/۹۰	۵/۵۳	۷/۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	P	۲۶۲/۱۱	۱۶۰/۲۴	۷۸/۰۸	۷۹/۷۲	۹۵/۷۹	۵۶/۴۳	۶۳/۹۳	۱۷/۴۷	۲۹/۸۷	۲۸/۸۷	۳۷/۴۷	۱۰۳/۲۷	۲۰۰	۲۶۳۲۷	۳۱۶۴۷	۳۹۹۲۲	۸۲۷۵	۳۹۱/۸۳
	R	۰	۱۴/۶۸	۸/۲۹	۲/۲۳	۲/۹۷	۱۱/۷۰	۴/۶۴	۶/۹۰	۵/۵۳	۷/۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	P	۱۵۰	۳۶۰/۳۹	۱۱۲/۹۹	۲۰	۹۸	۰	۰	۱۰	۵۳/۵۹	۰	۴/۷۱	۴۰/۴۷	۲۶۲/۶۶	۲۸۳۴۰	۲۸۵۴۰	۴۱۳۷۶	۱۲۸۳۵	۵۷۰/۶۹
	R	۵۹/۲۹	۳۷/۷۶	۰	۱۲/۶۶	۲/۹۷	۰	۰	۰/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	P	۲۱۹/۲۲	۴۵۵	۰	۰	۹۵/۷۸	۵۸/۰۲	۴۸/۲۱	۱۹/۷۰	۰	۲۰/۱۳	۱۷/۷۴	۹۰/۵۶	۲۴۲/۲۹	۳۱۷۰۶	۳۳۳۰۶	۴۶۶۹۳	۱۳۳۸۷	۸۲۹/۴۹
	R	۵۳/۱۰	۱۱/۷۰	۰	۰	۲/۷۲	۰	۹/۹۴	۳/۹۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	P	۱۵۰	۴۲۷/۵۲	۲۰	۰	۸۱	۹۰/۲۲	۰	۵۵	۲۲/۷۶	۵۵	۱۰۴/۸۰	۱۱۸/۳۵	۲۰۰/۸	۳۳۰۱۷	۳۳۸۵۷	۵۲۳۳۳	۱۸۴۷۶	۶۸۹/۸۹
	R	۷/۵۳	۵۳/۳۲	۱۷/۶۳	۰	۰	۰/۴۵	۰	۴/۹۰	۶/۰۵	۴/۹۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	P	۳۲۵/۷۶	۳۴۷/۸۴	۶۸/۳۴	۸۱/۳۰	۹۶/۰۲	۰	۷۷/۷۰	۵۵	۱۴/۸۳	۰	۱۶/۳۶	۴۰/۴۷	۲۹۷/۵۹	۳۴۴۱۳	۳۵۴۳۳	۵۰۷۱۰	۱۵۲۷۷	۷۴۴/۴۳
	R	۲۸/۷۹	۲۶/۸۳	۱/۹۶	۱۳/۳۴	۲/۹۵	۰	۰/۰۰۲	۳/۸۰	۷/۸۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	P	۱۷۶/۳۹	۷۳۳۹۱	۱۰۶/۸۸	۱۲۹/۵۶	۸۶/۸۹	۴۵/۴۰	۷۴/۰۳	۰	۰	۰	۷۰/۰۷	۷۹/۶۶	۳۱۱/۹۹	۳۴۸۴۳	۳۵۰۷۳	۵۶۹۱۳	۲۱۸۴۰	۶۹۹/۴۷
	R	۱۴/۷۳	۳۱/۸۵	۰	۱۹/۲۳	۰/۸۰	۴/۰۱	۳/۳۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	P	۴۲۵/۷۴	۲۸۴/۶۹	۰	۱۳۰	۹۲/۱۵	۱۰۶/۸۷	۰	۵۵	۰	۱۴/۶۲	۳۹/۱۳	۱۳۲/۷۲	۲۲۷/۹۹	۳۶۰۶۱	۳۶۹۳۱	۵۴۱۵۴	۱۷۲۲۲	۸۸۴/۱۳
	R	۴۹/۹۴	۱۵/۶۳	۰	۱۸/۹۱	۲/۳۲	۷/۵۷	۰	۷/۰۹	۰	۲/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹	P	۴۱۶/۳۴	۳۷۷/۹۶	۰	۱۰۴/۲۹	۸۱	۱۱۰	۲۵/۶۴	۲۱/۱۵	۵۵	۲۷/۷۳	۱۰۴/۸۰	۱۳۵/۴۲	۲۱۶/۵۷	۳۹۲۳۰	۳۹۵۲۰	۶۱۵۹۹	۲۲۰۷۹	۹۵۵/۵۰
	R	۴۱/۱۲	۳۲/۶۱	۰	۱/۷۴	۱/۱۵	۹/۹۵	۵/۳۲	۶/۰۳	۰/۴۹	۷/۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	P	۴۵۵	۴۵۵	۱۳۰	۱۲۴/۰۳	۸۶/۹۲	۶۱/۷۱	۰	۵۴/۷۴	۰	۱۰	۶۹/۹۰	۹۳/۷۴	۲۰۴/۳۸	۳۸۹۳۳	۳۹۷۷۳	۶۷۶۶۱	۲۷۸۸۸	۱۳۳۷/۸۰
	R	۳۲/۶۹	۲۴/۸۰	۱۷/۶۹	۱۴/۰۵	۰/۶۵	۵/۹۵	۰	۷/۶۴	۰	۱/۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۱	P	۴۴۹/۵۸	۴۲۶/۸۱	۴۴/۶۰	۹۴/۸۶	۸۶/۱۰	۶۹/۷۳	۳۲/۱۷	۲۶/۹۱	۴۸/۱۰	۰	۷۴/۷۵	۱۰۰/۶۶	۲۰۰	۳۷۹۵۵	۳۸۲۷۵	۶۶۳۳۹	۲۸۰۶۴	۱۱۷۹/۲۰
	R	۲۹/۵۷	۴۳/۵۹	۱۲/۴۷	۱۴/۰۹	۲/۷۷	۱۱/۸۸	۱/۳۸	۷/۷۹	۷/۳۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	P	۹/۴۳۳	۴۴۷/۴۱	۷۹/۱۰	۱۱۳/۸۶	۸۵/۶۹	۱۰۶/۲۲	۷۸/۴۷	۵۵	۲۲/۹۶	۰	۷۷/۱۷	۱۳۲/۱۶	۲۴۲/۲۲	۴۲۹۹۶	۴۲۹۹۶	۷۸۴۴۲	۳۵۴۴۶	۱۲۱۸/۳۰
	R	۳۹/۷۸	۳/۷۹	۰	۱۹/۲۳	۱/۱۷	۰/۸۸	۴/۸۱	۵/۵۶	۰/۹۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	P	۴۵۵	۴۵۵	۲۰	۱۳۰	۸۲/۷۲	۱۱۰	۷۵/۵۵	۵۵	۰	۰	۹۴/۶۳	۱۳۵/۴۲	۲۴۵/۳۲	۴۲۴۶۳	۴۲۴۹۳	۶۹۲۰۷	۲۶۷۱۳	۱۳۰۴/۶۰
	R	۳۸/۲۳	۳۳/۴۴	۱۹/۲۳	۳/۲۴	۱/۷۱	۱/۳۶	۹/۸۱	۱/۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۴	P	۳۵۵/۹۴	۴۵۵	۲۲/۹۵	۴۰/۱۱	۸۷/۰۸	۰	۷۵/۸۱	۵۵	۵۲/۰۴	۴۳/۱۲	۶۸/۹۸	۴۰/۴۷	۲۲۹/۳۱	۳۶۳۰۹	۳۶۵۳۹	۵۴۱۵۳	۱۷۶۱۵	۱۰۱۹/۸۰
	R	۷/۶۴	۰	۱۷/۹۳	۰/۷۱	۰/۴۶	۰	۱/۲۲	۰	۷/۸۶	۳/۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	P	۴۱۶/۹۱	۲۵۵/۹۹	۱۱۲/۵۵	۱۲۰/۱۸	۹۷/۳۲	۱۱۰	۸۵	۰	۰	۰	۸/۶۷	۱۳۵/۴۲	۲۱۵/۵۳	۳۷۴۴۶	۳۷۷۰۶	۵۳۵۶۶	۱۵۸۶۰	۸۴۴/۴۸
	R	۴/۶۴	۵۳/۳۲	۱۹/۲۳	۰/۰۲	۱	۱۱/۸۷	۳/۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶	P	۱۶۸/۶۸	۴۳۱/۷۴	۱۱۰/۶۲	۶۸/۳۳	۸۸/۹۷	۱۱۰	۶۸/۷۳	۰	۰	۰	۵۷/۸۵	۱۳۵/۴۲	۲۲۶/۵۳	۳۵۵۳۶	۳۵۵۳۶	۵۴۴۱۵	۱۸۸۷۹	۷۵۰/۴۴
	R	۲۰/۷۹	۹/۹۰	۱۲/۶۶	۰	۱/۰۱	۴/۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

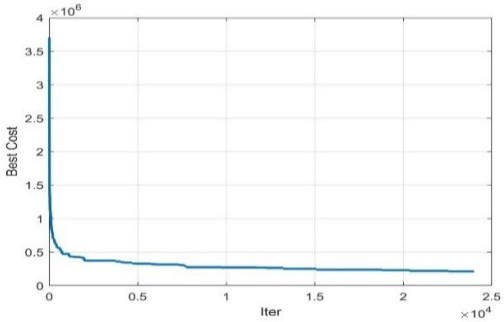
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

ادامه جدول (۵)

Hr		Electric power (MW)										Heat (MWth)			Monetary value ($)				Emission
		Reserve (MW)																	
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	CHP-5	CHP-6	Heat only	Fuel cost	Total cost	Revenue	Profit	
۱۷	P	۳۹۵/۹۵	۲۵۶/۶۴	۱۰۶/۰۶	۸۷/۴۳	۸۸/۱۱	۰	۲۵	۲۶/۵۵	۰	۰	۶۲/۹۳	۴۰/۴۷	۲۱۱/۵۵	۳۰۵۳۴	۳۰۷۳۴	۴۵۲۴۰	۱۴۵۰۶	۷۵۶/۸۹
	R	۲۰/۳۳	۳۲/۲۰	۲/۳۱	۱۴/۱۵	۲/۹۷	۰	۶/۷۶	۲/۶۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۸	P	۴۵۵	۲۸۳/۶	۰	۳۲	۹۶/۵۶	۰	۶۲/۵۱	۱۰	۱۵/۱۴	۵۵	۱۳/۱۶	۴۰/۴۷	۲۷۶/۴۴	۳۲۸۸۶	۳۳۴۹۶	۴۶۶۹۲	۱۳۱۹۷	۹۰۴/۶۳
	R	۵۳/۳۲	۰	۰	۱/۲۹	۲/۹۱	۰	۰	۰	۰/۱۲	۵/۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۹	P	۳۰۳/۳	۳۷۸/۲۷	۳۴/۵۳	۸۰/۵۰	۸۹/۵۷	۹۰/۶۹	۰	۵۵	۳۲/۶۶	۴۶/۶۱	۵۴/۲۹	۱۱۸/۷۵	۲۶۳/۴۰	۳۷۱۵۳	۳۸۱۳۳	۵۶۹۶۳	۱۸۸۳۰	۷۵۳/۷۳
	R	۳۹/۴۱	۳۲/۶۲	۰	۱۹/۲۳	۰/۰۳	۰	۰	۰	۴/۱۸	۷/۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۰	P	۳۰۲/۶۶	۴۴۸/۰۹	۱۰۰/۶۵	۸۵/۲۱	۸۲/۲۰	۴۰	۸۲/۴۲	۵۲/۵۵	۵۵	۰	۹۷/۷۳	۷۴/۹۹	۲۵۹/۰۶	۳۸۸۸۳	۳۹۱۷۳	۶۰۰۵۰	۲۰۸۷۷	۹۴۴/۱۴
	R	۱۲/۷۷	۴/۷۸	۱۷/۳۸	۱/۷۸	۱/۸۸	۰/۷۰	۹/۱۳	۰/۰۹	۴/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۱	P	۴۵۵	۴۰۴/۳۲	۹۴/۴۹	۱۳۰	۸۱	۱۰۰/۶۴	۲۵	۰	۰	۰	۱۰۴/۸۰	۱۲۷/۳۴	۲۱۱/۰۲	۳۸۹۰۰	۳۸۹۶۰	۶۱۱۸۴	۲۲۲۲۴	۱۱۹۷/۶۰
	R	۳/۱۳	۹/۹۷	۰/۴۵	۲/۷۱	۱/۹۰	۱۲/۲۳	۱۰/۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۲	P	۳۲۱/۱۳	۴۵۵	۲۰	۰	۸۶/۷۰	۱۰۴/۱۵	۳۳/۳۵	۵۴/۹۰	۰	۲۳/۹۱	۷۱/۲۳	۱۳۰/۳۷	۲۰۰/۷۵	۳۶۲۰۵	۳۶۸۲۵	۵۵۱۶۵	۱۸۳۴۰	۹۶۸/۱۹
	R	۳/۸۲	۰	۱۵/۱۶	۰	۰/۶۴	۱۲/۲۳	۳/۲۳	۵/۷۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۳	P	۴۱۷/۰۲	۱۶۸/۶۵	۸۶/۶۵	۰	۹۱/۴۶	۰	۸۴/۷۸	۰	۴۸/۸۴	۰	۴۳/۱۷	۴۰/۴۷	۲۲۰/۰۸	۲۹۹۰۴	۳۰۱۶۴	۴۲۸۰۲	۱۲۶۳۸	۷۰۱/۵۶
	R	۱۲/۳۸	۳۱/۵۷	۳/۲۱	۰	۰	۰	۱۰/۴۸	۰	۲/۷۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴	P	۰	۴۵۳/۶۲	۱۲۱/۰۴	۸۲/۴۳	۸۴/۷۸	۰	۰	۴۵/۵۱	۰	۰	۸۲/۵۳	۴۰/۴۷	۲۰۰	۲۷۴۰۷	۳۲۷۸۷	۴۲۲۰۹	۹۴۲۲	۷۶۷/۶۱
	R	۰	۳۹/۴۶	۵/۹۸	۱۶/۱۱	۰/۴۱	۰	۰	۷/۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Total															۸۳۳۶۴۷	۸۵۴۰۹۷	۱۲۹۴۴۶۰	۴۴۰۳۶۴	۲۰۶۹۴

نتایج حاصله را با الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان (ACO) در جدول(۶) مقایسه می‌شود. تمامی نتایج پخش بار سیستم و بهینه سازی آن مربوط به الگوریتم ACO با استفاده از برنامه‌ی کامپیوتری MATLAB در این مطالعه بدست آمده است. در ادامه نیز نمودار روند همگرایی و بهینه سازی کل سیستم با استفاده از الگوریتم CSA در شکل (۶) نشان داده می شود



شکل (۶)، روند همگرایی کل سیستم با مشارکت خدمات برق

جدول (۶)، مقایسه نتایج بدست آمده با الگوریتم ACO

Method	Total cost ($)	Profit ($)	Emission(ton/h)
ACO	۷۷۹۷۹۳	۳۴۰۳۹۵	۱۸۰۹۷
CSA	۸۵۴۰۹۷	۴۴۰۳۶۴	۲۰۶۹۴

۵- نتیجه‌گیری

در سه دهه اخیر پس از افزایش عمده بهای سوخت، اهمیت بحث سوخت جایگزین، افزایش کارایی انرژی و کاهش آلودگی زیست-محیطی، تمایل به استفاده از فن‌آوری‌های جدید از جمله تولید همزمان برق و حرارت افزایش یافته است. با بازیافت مقداری از حرارت در مبدل‌های حرارتی، بازدهی کل سیستم به مقدار قابل ملاحضه‌ای افزایش می‌یابد و در عین حال با تولید توان مورد تقاضا سیستم قدرت حرارت مورد نیاز مراکز تجاری صنعتی و عمومی نیز تامین می‌گردد. همچنین در سیستم‌هایی با حضور CHP نیروگاه‌ها آلودگی کمتری در حالت مشابه بدون حضور نیروگاه‌هایCHP دارند که علت ان تابع آلودگی این نیروگاه می‌باشد.

فرمول‌بندی مسئله پخش بار اقتصادی در واحدهای CHP با در نظر گرفتن محدودیت‌های مربوط به پخش بار الکتریکی و نیز بخش-های حرارتی به منظور بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی میزان آلودگی با استفاده از روش بهینه‌سازی جستجوی کلاغ و پیاده‌سازی روی سیستم‌های قدرت نمونه در محیط نرم افزاری MATLAB به عنوان یک راهکار جدید ارائه گردید.

در این مقاله برای حل مسئله بهینه‌سازی از الگوریتم CSA استفاده شده است. مسئله موجود برای سه حالت پخش بار CHPED، پخش بار CHPEED و همچنین پخش بار CHPEED با مشارکت

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

بازار برق تقسیم شده است که برای هر سه حالت توانستیم با استفاده از الگوریتم جستجوی کلاغ نتایج قابل قبولی را ارایه دهیم که این روش در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های مورد مطالعه عملکرد بهتری را نشان داد. در مسئله پخش بار برای هر سه حالت محدودیت‌های مختلفی از جمله محدودیت‌های تقاضای برق و تعادل گرمایی، ذخایر چرخان، محدودیت تولید و همچنین حداقل زمان روشن و خاموش شدن واحدها در نظر گرفته شده است.

ضمایم

جدول A1. پارامترهای ده واحد نیروگاهی TG [۱۱]

Hr	Forecasted electricity demand (MW)	Forecasted spinning reserve (MW)	Forecasted electricity price ($/MW)	Forecasted heat demand (MWth)	Hr	Forecasted electricity demand (MW)	Forecasted spinning reserve (MW)	Forecasted electricity price ($/MW)	Forecasted heat demand (MWth)
۱	۷۰۰	۷۰	۲۲.۱۵	۴۰۱	۱۳	۱۴۰۰	۱۴۰	۲۴/۶۰	۴۷۴
۲	۷۵۰	۷۵۰	۲۲.۰۰	۴۰۷	۱۴	۱۳۰۰	۱۳۰	۲۴/۵۰	۴۷۰
۳	۸۵۰	۸۵	۲۳/۱۰	۴۱۷	۱۵	۱۲۰۰	۱۲۰	۲۲/۵۰	۴۶۲
۴	۹۵۰	۹۵	۲۲/۶۵	۴۳۱	۱۶	۱۰۵۰	۱۰۵	۲۲/۳۰	۴۴۳
۵	۱۰۰۰	۱۰۰	۲۳/۲۵	۴۳۸	۱۷	۱۰۰۰	۱۰۰	۲۲/۲۵	۴۳۵
۶	۱۱۰۰	۱۱۰	۲۲/۹۵	۴۵۰	۱۸	۱۱۰۰	۱۱۰	۲۲/۰۵	۴۵۰
۷	۱۱۵۰	۱۱۵	۲۲/۵۰	۴۵۵	۱۹	۱۲۰۰	۱۲۰	۲۲/۲۰	۴۶۲
۸	۱۲۰۰	۱۲۰	۲۲/۱۵	۴۶۲	۲۰	۱۴۰۰	۱۴۰	۲۲/۵۰	۴۷۴
۹	۱۳۰۰	۱۳۰	۲۲/۸۰	۴۷۲	۲۱	۱۳۰۰	۱۳۰	۲۲/۰۰	۴۶۸
۱۰	۱۴۰۰	۱۴۰	۲۹/۳۵	۴۷۴	۲۲	۱۱۰۰	۱۱۰	۲۳/۱۰	۴۴۹
۱۱	۱۴۵۰	۱۴۵	۳۰/۱۵	۴۷۸	۲۳	۹۰۰	۹۰	۲۲/۶۵	۴۳۰
۱۲	۱۵۰۰	۱۵۰	۳۱/۶۵	۴۸۳	۲۴	۸۰۰	۸۰	۲۳/۲۵	۴۱۴

جدول A2. پارامترهای واحدهای متعارف TG [۱۱]

Unit	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
	۴۵۵	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۵۵	۵۵
	۱۵۰	۱۵۰	۲۰	۲۰	۲۵	۲۰	۲۵	۱۰	۱۰	۱۰
	۱۰۰۰	۹۷۰	۷۰۰	۶۸۰	۴۵۰	۳۷۰	۴۸۰	۶۶۰	۶۶۵	۶۷۰
	۱۶/۱۹	۱۷/۲۶	۱۶/۵	۱۶/۵	۱۹/۷	۲۲/۲۶	۲۷/۷۴	۲۵/۹۵	۲۷/۲۷	۲۷/۷۹
	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۱۱	۰/۰۰۳۹۸	۰/۰۰۷۱۲	۰/۰۰۰۷۹	۰۰۴۱۳	۰/۰۰۲۲۲	۰/۰۰۱۷۳
	۸	۸	۵	۵	۶	۳	۳	۱	۱	۱
	۸	۸	۵	۵	۶	۳	۳	۱	۱	۱
ST$SH	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰	۵۶۰	۹۰۰	۱۷۰	۲۶۰	۱۳۰	۳۰	۳۰
Ini. state	۸	۸	-۵	-۵	-۶	-۳	-۳	-۱	-۱	-۱

جدول A3. پارامترهای مربوط به واحدهای CHP [۶]

Unit								
CHP-5	۲۶۵۰	۱۴/۵	۰/۰۳۴۵	۴/۲	۰/۰۳۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۱۵۰
CHP-6	۱۲۵۰	۳۶/۰	۰/۰۴۳۵	۰/۶	۰/۰۲۷	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۱۵۰

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

جدول A4. ضرایب انتشار آلودگی [۱۰]

Unit	α (ton/h)	β (ton/MW h)	γ (ton/MW^2 h)
۱	۱۰/۳۳۹۰۸	-۰/۲۴۴۴۴	۰/۰۰۳۱۲
۲	۱۰/۳۳۹۰۸	-۰/۲۴۴۴۴	۰/۰۰۳۱۲
۳	۳۰/۰۳۹۱۰	-۰/۴۰۶۹۵	۰/۰۰۵۰۹
۴	۳۰/۰۳۹۱۰	-۰/۴۰۶۹۵	۰/۰۰۵۰۹
۵	۳۲/۰۰۰۰۶	-۰/۳۸۱۳۲	۰/۰۰۳۴۴
۶	۳۲/۰۰۰۰۶	-۰/۳۸۱۳۲	۰/۰۰۳۴۴
۷	۳۳/۰۰۰۵۶	-۰/۳۹۰۲۳	۰/۰۰۴۶۵
۸	۳۳/۰۰۰۵۶	-۰/۳۹۰۲۳	۰/۰۰۴۶۵
۹	۳۵/۰۰۰۵۶	-۰/۳۹۵۲۴	۰/۰۰۴۶۵
۱۰	۳۶/۰۰۰۱۲	-۰/۳۹۸۶۴	۰/۰۰۴۷۰

جدول A5. پارامترهای فقط واحد حرارتی [۶]

Heat only unit	۹۵۰/۰۰۰۰	۲/۰۱۰۹	۰/۰۳۸۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۰

مراجع

[1] Karki. S. Kulkarni, M. Mann, MD & Salehfar, H, 2007," Efficiency improvements through combined heat and power for on-site distributed generation technologies", Cogener Distributed Generation J 2007 vol 22–pp.19–34.

[2] Ahmadi. P. Dincer, I, 2010," Exergoenvironmental analysis and optimization of a cogeneration plant system usingmultimodal genetic algorithm (MGA)", Energy 2010 vol 35(12) –5161–72.

[3] Rong. A, Lahdelma, R, 2007," Efficient algorithms for combined heat and power production planning under the deregulated electricity market", Eur J Oper Res 2007 vol 176–pp.1219–45.

[4] Tsay. M-T, 2003," Applying the multi-objective approach for operation strategy of cogeneration systems under environmental constraints", Int J Electr Power Energy Syst 2003 vol 25(3) –pp.219–26.

[5] Rong. A, Hakonen. H, Lahdelma. R. 2009," A dynamic regrouping based sequential dynamic programming algorithm for unit commitment of combined heat and power systems", Energy Convers Manag 2009 vol 50–pp.1108–15

[6] Bahmani-Firouzi B, Farjah E, Seifi A," A new algorithm for combined heat and power dynamic economic dispatch considering valve-point effects", Energy 2013 vol 52–pp.320–32.

[7] Khorram. E, Jaberipour. M, 2011," Harmony search algorithm for solving combined heat and power economic dispatch problems", Energy Convers Manag 2011 vol 52(2) –pp.1550–4.

[8] Padhy NP, 2003," Unit commitment problem under deregulated environment-a review. In: Power Engineering Society General Meeting", IEEE 2003.

[9] P. J. Mago and L. M. Chamra, "Analysis and optimization of CCHP systems based on energy, economical and environmental considerations, "Energy Build., vol. 41, pp. 1099-1106, Oct. 2019.

[10] Venkatesan T, Sanavullah M, 2013," SFLA approach to solve PBUC problem with emission limitation," Int J Electr Power Energy Syst 2013 vol 46–pp.1–9.

[11] Attaviriyanupap. P, Kita H, Tanaka E, Hasegawa J, 2003," A hybrid LR-EP for solving new profit-based UC problem under competitive environment", Power Syst IEEE Trans 2003 vol 18–pp.229–37.

[12] Sharma D, Trivedi A, Srinivasan D, Thillainathan L, 2013," Multi-agent modeling for solving profit based unit commitment problem", Appl Soft Comput 2013 vol 13–pp.3751–61.

[13] Niknam T, Azizipanah-Abarghooee R, Roosta A, Amiri B, 2012," A new multiobjective reserve constrained combined heat and power dynamic economic emission dispatch", Energy 2012 vol 42–pp.530–45.

[14] Makkonen S, Lahdelma R, 2006," Non-convex power plant modelling in energy optimization", Eur J Oper Res 2006 vol 171(3) –pp.1113–26.

[15] Abdolmohammadi HR, Kazemi A, 2013," A Benders decomposition approach for a combined heat and power economic dispatch", Energy Convers Manag 2013 vol 71–pp.21–31.

[16] Ozy, S & Dogan, A, 2013,"Incremental arti ficial bee colony with local search to economic dispatch problem with ramp rate limits and prohibited operating zones", Energy Convers Manag 2013 vol 65–pp.397–407.

[17] Amjady, N & Ansari, R M, 2013,"Hydrothermal unit commitment with AC constraints by a new solution method based on benders decomposition", Energy Convers Manag 2013 vol 65–pp.57–65

[18] Frederick Ducatelle, Adaptive Routing in Ad Hoc Wireless Multi-hop Networks, Universita della Svizzera italiana, Lugano, Switzerland, 2007

[19] Almoataz Y. Abdelaziz, Ahmed Fathy, 2017,"A novel approach based on crow search algorithm for optimal selection of conductor size in radial distribution networks", Engineering Science and Technology, an International Journal 2017 vol 20–pp.391–402.

[20] Christopher Columbus C, Simon SP, 2012," Profit based unit commitment: a parallel ABC approach using a workstation cluster", Comput Electr Eng 2012 vol 38–pp.724–45.

[21] Chandram K, Subrahmanyam N, Sydulu M, 2009," Improved Pre-prepared power demand table and Muller's method to solve the profit based unit commitment problem", J Electr Eng Technol 2009 vol 4–pp.159–67

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[22] JA Victoire, TAA, 2005,"Unit commitment by a tabu-search based hybrid optimization technique", IEEE Proce Generation Transm Distribution 2005 vol 152–pp.563.570.
[23] Chandram K, Subrahmanyam N, Sydulu M, 2008,"New approach with Muller method for profit based unit commitment. In: Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century", IEEE 2008, p.1–8
[24] Columbus, CC & Chandrasekaran, K, 2012,"Simon SPNodal ant colony optimization for solving profit based unit commitment problem for GENCOs", Appl Soft Comput 2012 vol 12–pp.145–160
[25] Ni L & ZHANG, 2018,"Optimal operation of electricity, natural gas and heat systems considering integrated demand responses and diversified storage devices", Journal of Modern Power Systems and Clean Energy 2018 Vol 6–pp.3–423.
[26] Chandram, K. Subrahmanyam, N & Sydulu, M, 2009,"Improved Pre-prepared power demand table and Muller's method to solve the profit based unit commitment problem", J Electr Eng Technol 2009 vol 4–pp.159–167.

رزومه



هادی تقی نسب در آبدانان متولد شده است (۱۳۷۱). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر(۱۳۹۴)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول(۱۳۹۷) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت، تولیدات پراکنده و بهینه‌سازی و کنترل توان راکتیو است.



حسن براتی در دزفول متولد شده است (۱۳۴۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه صنعتی اصفهان(۱۳۷۱)، کارشناسی-ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه تبریز(۱۳۷۵) و دکتری مهندسی برق-قدرت از دانشگاه ازاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران(۱۳۸۷) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه بهره-برداری از سیستم‌های قدرت، ادوات FACTS، کیفیت توان است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می-باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017
[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

Optimal Operation of CHP Combined Heat Generation Systems Using the Crow Search Optimization Algorithm

H. taghinasab[1,*] , H. barati[2]

[1,*]MSc student, Electrical Power Department, Faculty of Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, Hadi.71t@gmail.com

[2]Assistant Professor of Electrical Power, Faculty of Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, barati216@gmail.com

Abstract:Energy efficiency of power plants is less than 60% However, the efficiency of the CHP units can be up to 90 %.CHP units in addition to high efficiency, They reduce environmental pollutants by 13 to 18 percent. The purpose of this thesis is to use the simultaneous power and power generation plants to reach the optimal economic destination for Genco And to maximize economic profit And to minimize environmental releases based on the integration of CHP systems with conventional heat generating units on the power grid The Crow Search Optimization algorithm (CSA) is used to solve the economic load distribution problem (CHPED) And the problem of the economic load distribution (CHPEED) as well as the problem of economic load distribution with the participation of electricity services market in MATLAB software simulation and its results for all three modes are presented. The proposed method is used for ten power plants with different characteristics with variable load The results of the Csa approach for optimization based on comparison with the results of the Ant colony algorithm as well as other algorithms considered in other studies are valid. When the CHP units are integrated with the integrated system of 10 TG, the results of the implementation of the proposed approach are very promising.

Keywords: Economic dispatch, Contamination, GENCO, CHP plant, CSA algorithm, ACO algorithm

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1396.6.1.4.1]

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 6-No. 1- spring & summer 2017