تعیین نقطه کاری بهینه در سیستم تولید همزمان انرژی الکتریکی و گرمایی به همراه مخزن ذخیره گرمایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

سیدحمید فتحی[۱] مرتضی محمدی اردهالی[۲] محمدعلی فتاحی اردکانی[۳]

۱- دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
fathi@aut.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
ardehali@aut.ac.ir

۳- کارشناسی ارشد، گرایش مدیریت انرژی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
ardekani@aut.ac.ir

چکیده: در سالهای اخیر، سیستم‌های تولید همزمان جهت افزایش کارآیی و استفاده بهینه از منابع انرژی برای تولید انرژی الکتریکی و انرژی گرمایی مورد توجه قرار گرفته‌اند. با استفاده از سیستم‌های تولید همزمان انرژی الکتریکی و گرمایی دستیابی به بازده بالای ٪۷۰ میسر می‌گردد و بر اساس نرخهای واقعی و بدون سوبسید حاملهای انرژی، بهره‌برداری از این سیستم‌ها منافع بخش‌های عرضه و تقاضا را تامین می‌کند. در ایران که به علت مزیت نسبی، سوبسیدهای متفاوتی به حاملهای انرژی تعلق می‌گیرد، دستیابی به پتانسیل‌های بالقوه این سیستم‌ها مستلزم مدل‌سازی، انتخاب و ترکیب مناسب اجزای سیستم تولید همزمان و نیز بهره‌برداری خردمندانه از آنها می‌باشد. تغییرات در بارهای الکتریکی و گرمایی و تعرفه‌های انرژی الکتریکی در ساعات مختلف شبانه‌روز، تعیین نقطه کار بهینه سیستم‌های تولید همزمان را دشوار می‌سازد. تحقیقات انجام شده در این زمینه بیشتر معطوف به سیستم‌های فاقد مخزن ذخیره‌سازی انرژی گرمایی است و هزینه‌های راه‌اندازی و خروج سیستم نیز در نظر گرفته نشده است. لذا در این مطالعه،نقطه کار بهینه یک سیستم متشکل از چندین واحد مستقل، با قابلیت خرید و فروش انرژی الکتریکی،مبتنی بر مصرف سوختهای متنوع و بهره‌برداری از مخزن ذخیره انرژی گرمایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین گردیده و صحت مدلسازی در مقایسه با دیگر مراجع نیز انجام گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در فصول معتدل و فصل تابستان ، سیستم تولید همزمان در طی ساعات۱۳- ۲۲ به علت نرخ بالای انرژی الکتریکی شبکه تمامی نیازهای الکتریکی و حرارتی را برآورده می سازد و در پایان ۲۴ ساعت، هزینه کل سیستم تولید همزمان برای تقریبا تمامی فصول ۵۰ درصد کمتر از سیستم تولید متعارف است. همچنین نشان داده شده است که استفاده از چیلر جذبی نسبت بار الکتریکی و گرمایی متعادل‌تر شده و کارآیی سیستم تولید همزمان در مقایسه با حالت قبل افزایش یافته و اتلاف انرژی گرمایی نیز کاهش پیدا کرده است.

کلمات کلیدی: سیستم‌های تولید همزمان، بهینه‌سازی عملکرد سیستم، الگوریتم ژنتیک، ذخیره‌سازی انرژی گرمایی

تاریخ ارسال مقاله: ۸۵/۵/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۲/۱۳

نام نویسنده‌ی مسئول: مرتضی محمدی اردهالی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران- ایران

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers – Vol.6- No.1- Spring and Summer 2009

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]

۱- مقدمه

کارآیی سیستمهای تولید همزمان و برتری نسبی آنها نسبت به سیستمهای تولید مجزا، وابسته به نقطه‌کار سیستم و میزان استفاده از انرژی الکتریکی و گرمایی در یک ترکیب بهینه می‌باشد. مشخصات فنی سیستم تولید همزمان، منحنی‌های بار الکتریکی و گرمایی، دسترسی به شبکه توزیع انرژی الکتریکی، دسترسی به منابع دیگر انرژی گرمایی(بویلرهای کمکی، سیستم‌های گرمایش شهری) و هزینه‌های مربوط به تامین انرژی از هر کدام از این منابع درتعیین نقطه کار تاثیر دارند. همانطور که در شکل(۱) مشاهده می‌شود در حالت کلی، سیستم تولید همزمان قابلیت اتصال به شبکه توزیع انرژی الکتریکی و مبادله با آن را دارا می‌باشد. در این حالت کمبود انرژی الکتریکی از شبکه خریداری می‌شود و یا مازاد آن به شبکه فروخته خواهد شد. در این حالت نقطه کار سیستم می‌تواند بین نقطه مینیمم تا ماکزیمم توان نوسان داشته باشد. انرژی گرمایی مورد نیاز هم از طریق بویلر کمکی و سیستم تولید همزمان تامین می‌شود. در این حالت توان الکتریکی تولیدی سیستم بر اساس به حداقل رساندن هزینه‌های تامین انرژی الکتریکی و گرمایی و نیز میزان آلایندگی زیست محیطی سیستم تعیین می‌گردد. یکی از نکات حائز اهمیت در بهره‌برداری از سیستم‌های تولید همزمان تعیین نقطه کار بهینه سیستم با توجه به شرایط کاری سیستم است که در مقالات متعدد مورد بررسی قرار گرفته است. در مرجع[۱] نقطه کار بهینه یک سیستم تولید همزمان با محرکه اولیه توربین بخار با استفاده از برنامه‌ریزی تکمیلی تعیین شده است. از آنجا که زمان راه‌اندازی و خروج توربین بخار از سیستم طولانی است، در این مرجع هزینه‌های راه‌اندازی سیستم در بهینه‌سازی درنظر گرفته نشده است و فرض شده است که سیستم همواره به شبکه متصل می‌باشد. در مرجع[۲] نیز با استفاده از برنامه‌ریزی تکمیلی نقطه کار بهینه سیستم تولید همزمان تعیین شده است. در آن مطالعه علاوه بر هزینه تولید به میزان آلایندگی زیست محیطی سیستم تولید همزمان نیز توجه شده است و الگوریتمی جهت تعیین نقطه کار بهینه سیستم ارائه نموده است. در مرجع [۳] نحوه مدل‌سازی ریاضی سیستم تولید همزمان به منظور تعیین نقطه کار بهینه سیستم مورد بررسی قرار گرفته است، ولی روشی برای تعیین نقطه کار بهینه ارائه نشده است. مرجع [۴] با استفاده از برنامه‌ریزی خطی مختلط روشی برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم تولید همزمان با فرض ثابت بودن بازده مکانیکی محرکه اولیه در طولانی مدت ارائه نموده است. در مرجع [۵] یک سیستم تولید همزمان با قابلیت ذخیره‌سازی انرژی گرمایی مورد بررسی قرار گرفته و میزان انرژی الکتریکی تولیدی این سیستم توسط بهره‌بردار شبکه تعیین می‌شود. در آن تحقیق نحوه توزیع تقاضای انرژی الکتریکی بین ژنراتورهای مختلف به منظور کاهش هزینه نهایی تولید مورد بررسی قرار گرفته است.

در مراجع [۶] و [۷] تاثیر قابلیت ذخیره‌سازی انرژی گرمایی بر عملکرد و میزان آلایندگی زیست محیطی سیستم تولید همزمان بررسی گردیده است.

فعالیتهای انجام شده در بحث مربوط به تعیین نقطه کار بهینه، بیشتر معطوف به سیستم‌های فاقد مخزن ذخیره‌سازی انرژی گرمایی است و هزینه‌های راه‌اندازی و خروج سیستم نیز در نظر گرفته نشده است. در این مطالعه، برای یک سیستم با قابلیت خرید و فروش انرژی الکتریکی، مصرف سوختهای متنوع، مخزن ذخیره انرژی گرمایی و با در نظر گرفتن بازده سیستم به صورت یک تابع وابسته به نقطه کار و هزینه‌های مربوط به راه‌اندازی و خروج سیستم از شبکه نقطه کار بهینه سیستم تعیین شده است.

در مورد سیستم‌های تولید همزمان با مخزن ذخیره انرژی گرمایی، نکته حائز اهمیت نحوه عملکرد بویلر کمکی می‌باشد[۸]. در این مطالعه فرض شده است که بویلر کمکی با توان ثابت کار می‌کند. کاهش دمای سیال مخزن باعث روشن شدن بویلر کمکی خواهد شد. خاموش و روشن شدن بویلر کمکی، سیستم ذخیره‌سازی انرژی گرمایی، و نیز خاموش و روشن شدن هر واحد از سیستم‌های تولید همزمان، تابع هزینه تامین انرژی را به تابعی گسسته، غیرخطی و مشتق‌ناپذیر تبدیل می‌کند. با در نظر گرفتن این شرایط برای تعیین نقطه کار بهینه سیستم تولید همزمان از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

۲- مدلسازی عملکرد و تعیین نقطه کار بهینه

در این مطالعه، تابع هدف بر اساس به حداکثر رساندن درآمد و یا به حداقل رساندن هزینه‌های سیستم تولید همزمان با توجه به قابلیت مبادله انرژی الکتریکی با شبکه و امکان ذخیره و بازیابی انرژی گرمایی در مخزن تعریف شده است.

تابع هدف شامل دو قسمت درآمد و هزینه می‌باشد.

درآمد حاصل از فروش انرژی الکتریکی به شبکه:

$$J_1 = \sum_{t\varepsilon T} P_{EL,Sel}(t)\,Price(t) \qquad (1)$$

در این مطالعه فرض شده است سیستم تولید همزمان دارای چندین(U)واحد مستقل است و هر واحد قابلیت مصرف سوخت‌های متنوع مانند گاز طبیعی، نفت کوره، گازوئیل و... را دارد.

هزینه‌ها شامل هزینه سوخت واحدهای سیستم تولید همزمان وهزینه انرژی الکتریکی خریداری شده از شبکه می‌باشد.

هزینه سوخت واحدهای تولید همزمان:

$$J_2 = \sum_{t\varepsilon T}\sum_{u\varepsilon U}\sum_{r\varepsilon R} Cost_r P_{r,u}(t) \qquad (2)$$

هزینه انرژی الکتریکی خریداری شده:

$$J_3 = \sum_{t\varepsilon T} P_{EL,Buy}(t)\,Cost_e(t) \qquad (3)$$

هزینه سوخت بویلرکمکی:

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]

$$J_4 = \sum_{r\varepsilon R}\Big(\sum_{t\varepsilon T}\{[P_{th} - \sum_{u\varepsilon U} Q_u(t)]\times \\ ((sign(P_{th} - \sum_{u\varepsilon U} Q_u(t))+1)/2)\}\times Cost_r\Big) \quad (4)$$

هزینه خاموش وروشن شدن هر واحد سیستم تولید همزمان:

$$J_5 = \sum_{t\varepsilon T}\sum_{u\varepsilon U} Cost_{s,u}\times I_u \quad (5)$$

نهایتاً تابع هدف که متشکل از تمامی درآمدها و هزینه‌ها است به صورت زیر مطرح می‌گردد.

$$J = Max\{\sum_{t\varepsilon T} P_{EL,Sel}(t)Price(t)+ \\ \sum_{t\varepsilon T}\sum_{u\varepsilon U}\sum_{r\varepsilon R} Cost_r\, P_{r,u}(t)- \\ \sum_{t\varepsilon T} P_{EL,Buy}(t)Cost_e(t)- \\ \sum_{r\varepsilon R}\Big(\sum_{t\varepsilon T}\{[P_{th} - \sum_{u\varepsilon U} Q_u(t)] \\ ((sign(P_{th} - \sum_{u\varepsilon U} Q_u(t))+1)/2)\}\times Cost_r\Big) \\ -\sum_{t\varepsilon T}\sum_{u\varepsilon U} Cost_{s,u}\times I_u\} \quad (6)$$

۲-۱- قیود حاکم بر سیستم

۲-۱-۱ شرط تامین کامل بارهای الکتریکی و گرمایی

از آنجا که تمام انرژی الکتریکی و گرمایی مورد نیاز باید تامین شود. قید مربوطه به صورت زیر مطرح می‌شود.

$$P_{e,demand} = P_{e,co} - P_{EL,Sel} + P_{EL,Buy}$$
$$P_{Q,demand} = P_{Q,co} + P_{Q,B} - P_{Q,T} \quad (7)$$

۲-۱-۲ محدودیت توان تولیدی

توان الکتریکی و گرمایی تولیدی بوسیله سیستم تولید همزمان دارای محدودیت می‌باشد که به صورت قیود نامساوی در بهینه‌سازی لحاظ می‌شوند.

$$P_{ei,\min} < P_{ei,co} < P_{ei,\max}$$
$$P_{Qi,\min} < P_{Qi,co} < P_{Qi,\max} \quad (8)$$

بازده کاری سیستم تولید همزمان علاوه بر نامساوی فوق شامل صفر نیز می‌باشد که نمایانگر خروج سیستم از شبکه مصرف می‌باشد. با ورود و خروج سیستم هزینه راه‌اندازی و خروج سیستم نیز در تابع هدف لحاظ خواهد شد.

۲-۱-۳ محدودیت‌های مخزن سیال

مخزن سیال گرم دارای محدودیت دما و فشار می‌باشد. اگر سیال به صورت مایع باشد، دمای سیال همواره باید در بازه مشخصی قرار داشته باشد. در صورتی که سیال به صورت بخار باشد علاوه بر دما، فشار بخار نیز به صورت یک عامل محدود کننده مطرح خواهد بود.

$$P_{T,\min} < P_T < P_{T,\max}$$
$$T_{T,\min} < T_T < T_{T,\max} \quad (9)$$

در صورت کاهش دمای مخزن از مقدار مینیمم$T_{T,min}$، بویلر کمکی روشن شده و دمای مخزن را تا مقدار مشخصی $T_{T,b}$ افزایش می‌دهد و سپس خاموش می‌شود. در صورتیکه دمای مخزن از مقدار ماکزیمم بیشتر شود، بازیافت حرارت از مبدل متوقف شده و گازهای خروجی مستقیماً وارد محیط می‌شوند.

۲-۲- پیاده سازی الگوریتم

در ادامه به پیاده سازی مراحل مختلف الگوریتم ژنتیک، جهت تعیین نقطه کار بهینه سیستم تولید همزمان پرداخته می‌شود. همانطوریکه در مقدمه اشاره گردید، تابع هزینه تامین انرژی گسسته، غیر خطی و مشتق ناپذیر می باشد و با توجه به ویژگی‌های خاص الگوریتم ژنتیک که در ذیل به آنها اشاره شده است از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. به صورت کلی برنامه نویسی و پیاده سازی بهینه سازی نسبتاً ساده‌تر است وبا به کارگیری روش‌های مختلف کدگذاری کروموزوم‌ها در آن می‌توان مسئله را محدودتر نمود. این الگوریتم از سرعت همگرایی نسبتاً مناسب، محاسبات جانبی کمتر، توانایی مناسب در پیدا کردن بهینه مطلق برخوردار است و با محدود کردن نسل اولیه می‌توان نقاط بهینه محلی را نیز پیدا کرد.

۲-۲-۱ کد گذاری

اولین مرحله در الگوریتم ژنتیک کدگذاری فضای جستجوی می‌باشد. بازه کاری هر یک از واحدهای سیستم‌های تولید همزمان فضای جستجو را تشکیل می‌دهند. بدین ترتیب که هر کروموزم حاوی اطلاعات مربوط به توان تولیدی هر واحد سیستم تولید همزمان است. کد کردن فضای جستجو بر اساس رابطه زیر انجام شده است.

$$Step = \frac{P_{ei,\max} - P_{ei,\min}}{2^N - 2} \quad (10)$$

که N تعداد ژنهای هر کروموزوم می‌باشد. بازه بین مقدار مینیمم و ماکزیمم توان تولیدی هر واحد، به $2^N - 2$ قسمت تقسیم می‌شود. بر اساس رابطه فوق توان تولیدی به صورت روابط زیر کد و دی‌کد می‌شود.

$$n_i = \frac{P_{ei} - P_{ei,\min}}{Step} \quad \Leftrightarrow \quad P_{ei} = P_{ei,\min} + n_i \times Step \quad (11)$$

که n_i، به نزدیکترین عدد صحیح گرد می‌شود در این صورت تغییرات توان تولیدی هر واحد به صورت پله‌ای با طول یک $Step$ می‌باشد. مقدار باینری n_i به عنوان مقادیر کروموزم‌ها در نظر گرفته شده است. مزیت روش مذکور این است که نسل‌های جدید همواره در بازه توانی مجاز هر ژنراتور باقی می‌ماند و نیازی به اصلاح نسل جدید نیست. تنها استثنا در کد کردن، توان صفر (خاموش بودن یک سیستم) است که به صورت یک کروموزوم با مقادیر صفر مدل

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers – Vol.6- No.1- Spring and Summer 2009
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]

می‌شود.

۲-۲-۲ محاسبه تابع برازندگی

از آنجا که در الگوریتم ژنتیک کروموزومهای برگزیده بایستی دارای برازندگی بالایی باشند، از این‌رو میزان برازندگی به صورت عکس تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. چون مقادیر تابع هدف می‌توانند مثبت یا منفی باشند، از عدد M کسر می‌شوند تا حاصل همواره مثبت باشد.

$$Fitness_func = \frac{1}{M - obj.f} \qquad (12)$$

در بعضی از موارد به خصوص در سیستم‌هایی که دارای واحدهای مشابه هستند، ممکن است کار در بهینه مطلق مستلزم تغییرات زیادی در توان تولیدی هر کدام از واحدها باشد. برای مثال تغییرات توان هر واحد در سیستم که دارای دو واحد تولید است می‌تواند به صورت زیر تغییر کند.

$$\begin{aligned} P_L &= 5\ MW \quad & P_L &= 5.2\ MW \\ P_1 &= 3\ MW \quad & P_1 &= 1.5\ MW \\ P_2 &= 2\ MW \quad & P_2 &= 3.7\ MW \end{aligned} \qquad (13)$$

برای چنین سیستمی برای کار در بهینه مطلق لازم است توان واحد اول از ۳ MW به ۱/۵MW کاهش یافته و توان واحد دوم از ۲MW تا ۳/۷MW افزایش پیدا کند. می‌توان با محدود کردن فضای جستجو در همسایگی نقطه کار اول، بهینه محلی را برای بار جدید پیدا کرد. در صورتیکه اختلاف هزینه بین دو نقطه، ناچیز باشد می‌توان نقطه بهینه محلی را به عنوان نقطه کار جدید انتخاب نمود.

تغییرات توان تولیدی هر واحد را نیز می‌توان به صورت یک ضریب جریمه در محاسبات برازندگی لحاظ کرد.

$$penalty\ factor = k\ \frac{\sum_{i \varepsilon U} (P_i - P_i^{'})^2}{(P_L - P_L^{'})^2} \qquad (14)$$

k ضریب ثابت و $P_i^{'}$ و $P_L^{'}$ به ترتیب، توان تولیدی واحد i ام و توان الکتریکی موردنیاز است. در این صورت تابع برازندگی به صورت زیر تغییر پیدا می‌کند.

$$Fitness_func. = \frac{1}{A - obj.f + penalty\ factor} \qquad (15)$$

در این حالت، نقاط کار نزدیک به نقطه کار فعلی برای انتخاب شدن در اولویت خواهند بود.

۲-۳-۲ محاسبه تابع هدف

در هر نسل پس از رمزگشایی کروموزوم‌ها، مقدار تابع هدف مشخص شده و به تبع آن مقدار برازندگی برای هر کرموزوم محاسبه می‌شود. بعد از اعمال عملگرهای ژنتیکی بر نسل فعلی نسل جدید تولید خواهد شد. در اینجا برای توقف الگوریتم از دو روش فعال و غیرفعال کمک گرفته شده است.

۳- بررسی صحت مدل

به منظور بررسی صحت مدل، نتایج حاصل از مدلسازی انجام شده در این مطالعه با نتایج مرجع[۳] جهت مقایسه در شکل(۲)آورده شده است. تفاوت بین نتایج، ناشی از استخراج اطلاعات مرجع[۳] از روی نمودار است. همچنین در این مرجع توان گرمایی تولیدی سیستم تولید همزمان به صورت یک بازه در نظر گرفته شده است. در حالیکه در این مطالعه توان گرمایی سیستم به صورت یک تابع با مقدار مشخص در نظر گرفته شده است.

۴- مورد مطالعاتی

در پیوست (۱) اطلاعات مربوط به یک سیستم تولید همزمان داده شده است. با روش فوق، نقطه کار بهینه این سیستم، در ساعات مختلف تعیین گردیده است. میزان انرژی الکتریکی و گرمایی موردنیاز و میزان تولید انرژی الکتریکی و گرمایی سیستم تولید همزمان برای بار مصرفی در فصول معتدل و گرم سال در شکلهای (۱۲)-(۴) نشان داده شده است.

در فصول معتدل به دلیل متعادل بودن میزان انرژی الکتریکی و گرمایی، انرژی گرمایی حاصل از سیستم تولید همزمان به جزء در زمانهای اوج بار مازاد بر نیاز تولید نمی‌گردد. همانطوریکه در شکلهای (۴) و (۵) مشاهده می گردد، در فصول معتدل، در طی ساعات اولیه (۱-۶) سیستم همزمان خاموش می باشد و تولید انرژی الکتریکی و گرمایی برابر صفراست. از ساعت ۷ تا ساعت ۱۳ سیستم تولید همزمان بیش از نیمی از بارهای الکتریکی و گرمایی را تامین نموده و از آن به بعد تا ساعت ۲۲ به علت نرخ بالای انرژی الکتریکی شبکه تمامی بار الکتریکی و به صورت همزمان تمامی بار حرارتی را تامین می کند. در شکل (۶) مشاهده می شود که در پایان ۲۴ ساعت، هزینه کل سیستم تولید همزمان تقریبا ۵۰ درصد کمتر از سیستم تولید متعارف است. مقایسه عملکرد سیستمها در فصل تابستان در شکلهای (۷)-(۹) نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده می گردد، زمان بهینه کاری برای سیستم تولید همزمان از ساعت ۱۳ الی ۲۲ می باشد که تمامی نیازهای انرژی الکتریکی را برآورده می سازد و مقدار زیادی از انرژی گرمایی ایجاد شده را ذخیره می کند و در طی بقیه اوقات بهره برداری از سیستم متعارف انجام می پذیرد. نهایتا در طی فصل تابستان، بر اساس شکل (۹) مشاهده می گردد که هزینه کل سیستم تولید همزمان مانند فصول معتدل تقریبا ۵۰ درصد کمتر نسبت به سیستم تولید متعارف می باشد. در فصل تابستان با افزایش دما و در نتیجه افزایش نیازهای سرمایشی، میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز افزایش می‌یابد. افزایش بار الکتریکی و کاهش بار گرمایی باعث افزایش نسبت PHR مصرف می‌شود. بزرگتر بودن PHR مصرف از PHR تولید باعث تولید انرژی گرمایی اضافی می‌شود که در شکل(۱۲)کاملا مشهود می‌باشد. در این حالت به دلیل عدم تطابق تولید و نیاز انرژی گرمایی، سیستم تولید همزمان بیشتر به عنوان یک سیستم تولید محلی مطرح می‌باشد تا سیستم تولید همزمان.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.6- No.1- Spring and Summer 2009

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]

۵- استفاده از چیلرهای جذبی

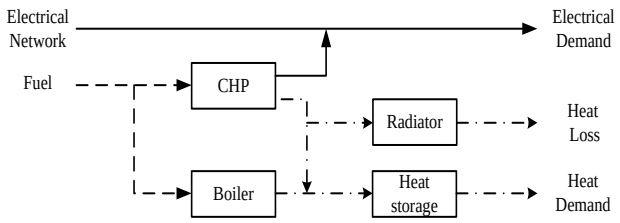
برای تامین نیازهای سرمایشی می‌توان از چیلرهای جذبی نیز استفاده نمود. چیلرهای جذبی از انرژی گرمایی به عنوان انرژی ورودی استفاده می‌کنند و نیازی به انرژی الکتریکی ندارند. برای مورد مطالعاتی بخش قبل فرض شده است که نیازهای سرمایشی بوسیله یک چیلر جذبی تامین شود. در این حالت میزان انرژی الکتریکی و گرمایی مورد نیاز و میزان تولید انرژی الکتریکی و گرمایی بوسیله سیستم تولید همزمان در شکلهای(۱۱)و(۱۲) نشان داده شده است. در این حالت نسبت بار الکتریکی و گرمایی متعادل‌تر شده و کارآیی سیستم تولید همزمان در مقایسه با حالت قبل افزایش یافته است و اتلاف انرژی گرمایی در مقایسه با حالت قبل کاهش پیدا کرده است.

جدول(۱): ضرایب تابع بازده توربین[۳]

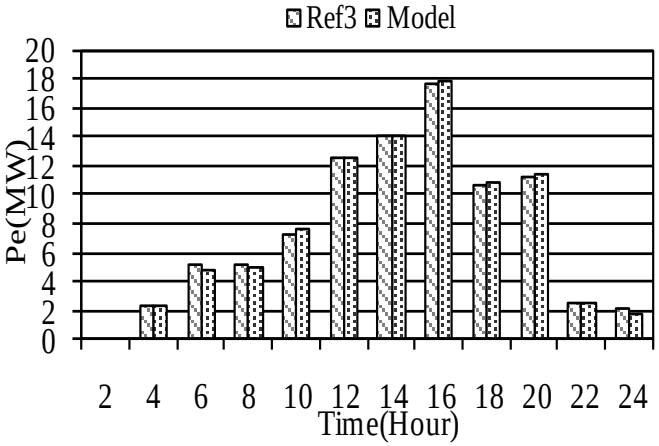
a	b	c
0.0051	3.2293	16.5098
A	B	C
-0.0246	3.1610	-5.3224

جدول(۲): تعرفه انرژی الکتریکی در ساعات مختلف

Hour	1-7	7-14	14-20	20-22
Price (R)	8.5	25	85	25



شکل(۱): مدل سیستم تولید همزمان



شکل(۲): نتایج مرجع[۳] و نتایج مدلسازی در این مطالعه

۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه نشان داده شد که کارآیی و بازده سیستم‌های تولید همزمان وابسته به نقطه کار سیستم و PHR تولید و مصرف می‌باشد. جهت بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های تولید همزمان لازم است حتی‌الامکان PHR تولید و PHR مصرف به یکدیگر نزدیک باشند. وجود بویلر کمکی، به ویژه در مواردی که PHR تولید از PHR مصرف بزرگتر باشد و سیستم تولید همزمان با تولید انرژی الکتریکی موردنیاز نتواند انرژی گرمایی مورد نیاز را تامین کند، تاثیر به سزایی در افزایش کارآیی سیستم تولید همزمان خواهد داشت.

مخزن ذخیره انرژی گرمایی به دلیل جلوگیری از اتلاف گرما، در مواردی که انرژی گرمایی مازاد بر نیاز تولید می‌شود باعث افزایش بهره‌وری سیستم تولید همزمان خواهد شد. همچنین نشان داده شد که به منظور متعادل ساختن بیشتر بار الکتریکی و گرمایی وافزایش کارآیی سیستم تولید همزمان و کاهش اتلاف انرژی گرمایی، استفاده از چیلر جذبی موثر واقع می گردد. نتیجه بدست آمده از این مطالعه نشان میدهد که در ایران سیستمهای تولید همزمان می تواند از نظر اقتصادی مفید واقع گردد و چنانچه تعرفه های انرژی الکتریکی و گاز طبیعی افزایش یابند و سوبسید آنها توسط دولت کاهش یابد می توان انتظار داشت که بهره برداری از این گونه سیستمها منجر به صیانت از ذخائر ملی گردد.

در حالت کلی می‌توان نقطه کار بهینه سیستم‌های تولید همزمان با بازده الکتریکی بیش از ٪۲۵ و بازده گرمایی بیش از ٪۵۰ را به صورت زیر تعیین کرد.

- تامین کامل بار الکتریکی از طریق شبکه برق شهر در ساعات بی‌باری.
- تامین کامل بار الکتریکی از طریق سیستم تولید همزمان در ساعات اوج بار الکتریکی.
- تامین کسری از بار الکتریکی از طریق سیستم تولید همزمان بطوریکه تمام بار گرمایی مورد نیاز تامین شود.

پیوست الف:

بازده مکانیکی توربین و میزان گرمای بازیافت شده از گازهای خروجی به صورت تابعی درجه دو از توان مکانیکی تولیدی توربین در نظر گرفته شده است[۳].

$$\eta_t = aP^2 + bP + c$$

$$Q = AP^2 + BP + C$$

در جدول(۱) ضرایب مربوط به تابع بازده ومیزان گرمای خروجی توربین داده شده است.

تعرفه انرژی الکتریکی در ساعات مختلف بر اساس تعرفه‌های انرژی الکتریکی برق منطقه‌ای تهران در سال ۱۳۸۳ در نظر گرفته شده است که در جدول(۲) نشان داده شده است.

قیمت گاز طبیعی بر اساس تعرفه شرکت ملی گاز ایران برابر با ۱۳۸/۵ ریال بر مترمکعب در نظر گرفته شده است.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers – Vol.6- No.1- Spring and Summer 2009
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]

پیوست ب:

جدول علائم

مقدار ثابت	--	A
ضریب ثابت	--	a
مقدار ثابت	--	B
ضریب ثابت	--	b
مقدار ثابت	--	C
ضریب ثابت	--	c
قیمت انرژی الکتریکی	Rial/kJ	$Cost_e$
قیمت سوخت	Rial/kJ	$Cost_r$
هزینه راه‌اندازی و خاموش شدن هر واحد	R	$Cost_{s,u}$
بازده توربین	--	η_t
پارامتر تعیین کننده خاموش و روشن شدن سیستم	--	I_u
ضریب ثابت	--	k
مقدار ثابت	--	M
تعداد ژنها در هر کروموزوم	--	N
توان الکتریکی تولیدی سیستم تولید همزمان	kW	$P_{e,co}$
توان الکتریکی مورد نیاز	kW	$P_{e,demand}$
توان الکتریکی تولیدی واحد i	kW	$P_{ei,co}$
حداکثر توان الکتریکی تولیدی واحد i	kW	$P_{ei,max}$
حداقل توان الکتریکی تولیدی واحد i	kW	$P_{ei,min}$
توا ن الکتریکی خریداری شده از شبکه	kW	$P_{EL,buy}$
توا ن الکتریکی فروخته شده به شبکه	kW	$P_{EL,sel}$
نسبت توان الکتریکی به توان گرمایی	--	PHR
توان گرمایی تولیدی بویلر	kW	$P_{Q,B}$
توان گرمایی تولیدی سیستم تولید همزمان	kW	$P_{Q,co}$
توان گرمایی مورد نیاز	kW	$P_{Q,demand}$
توان گرمایی منتقل شده به سیستم ذخیره انرژی گ	kW	$P_{Q,T}$
توان گرمایی تولیدی واحد i	kW	$P_{Qi,,co}$
حداکثر توان گرمایی تولیدی واحد i	kW	$P_{Qi,max}$
حداقل توان گرمایی تولیدی واحد i	kW	$P_{Qi,min}$
توان مصرفی واحدi ام	kW	$P_{r,u}$
قیمت فروش برق به شبکه	R	$Price$
فشار مخزن	kPa	P_T
حداکثر فشار مخزن	kPa	$P_{T,max}$
حداقل فشار مخزن	kPa	$P_{T,min}$
توان گرمایی مورد نیاز	kW	P_{th}
توان گرمایی محرکه اولیه	kW	Q
توان گرمایی تولیدی واحد u ام	kW	Q_u
دوره زمانی	s	T
دمای مخزن	K	T_T
حداقل دمای مخزن	K	$T_{T,max}$
حداکثر دمای مخزن	K	$T_{T,min}$
تعداد کل واحدهای تولید همزمان	--	U

مراجع

[1] Ming-Tong Tsay and Whei-Min Lin. "Application of evolutionary programming to optimal operation system under time-of-use rates". Electrical Power and Energy System 32(2000)367-373.

[2] M.T.Tsay,W.M.Lin." Interactive best-compromise approach for operation dispatch of cogeneration systems". IEE, Proceeding online No.20010163.

[3] S.Ashok and Rangan Banerjee. "Optimal operation of industrial cogeneration for load management".IEEE Transaction on power systems. Vol.18,No.2, MAY 2003.

[4] Eva Thorin, Heike Brand, Christoph Weber, "Long-term optimization of cogeneration systems in a competitive market environment". Applied Energy 81 (2005) 152-169.

[5] C.Maifredi, L.Puzzi, G.P.Beretta, "optimal power production scheduling in a complex cogeneration system with heat storage". IEEE 2000-2978.

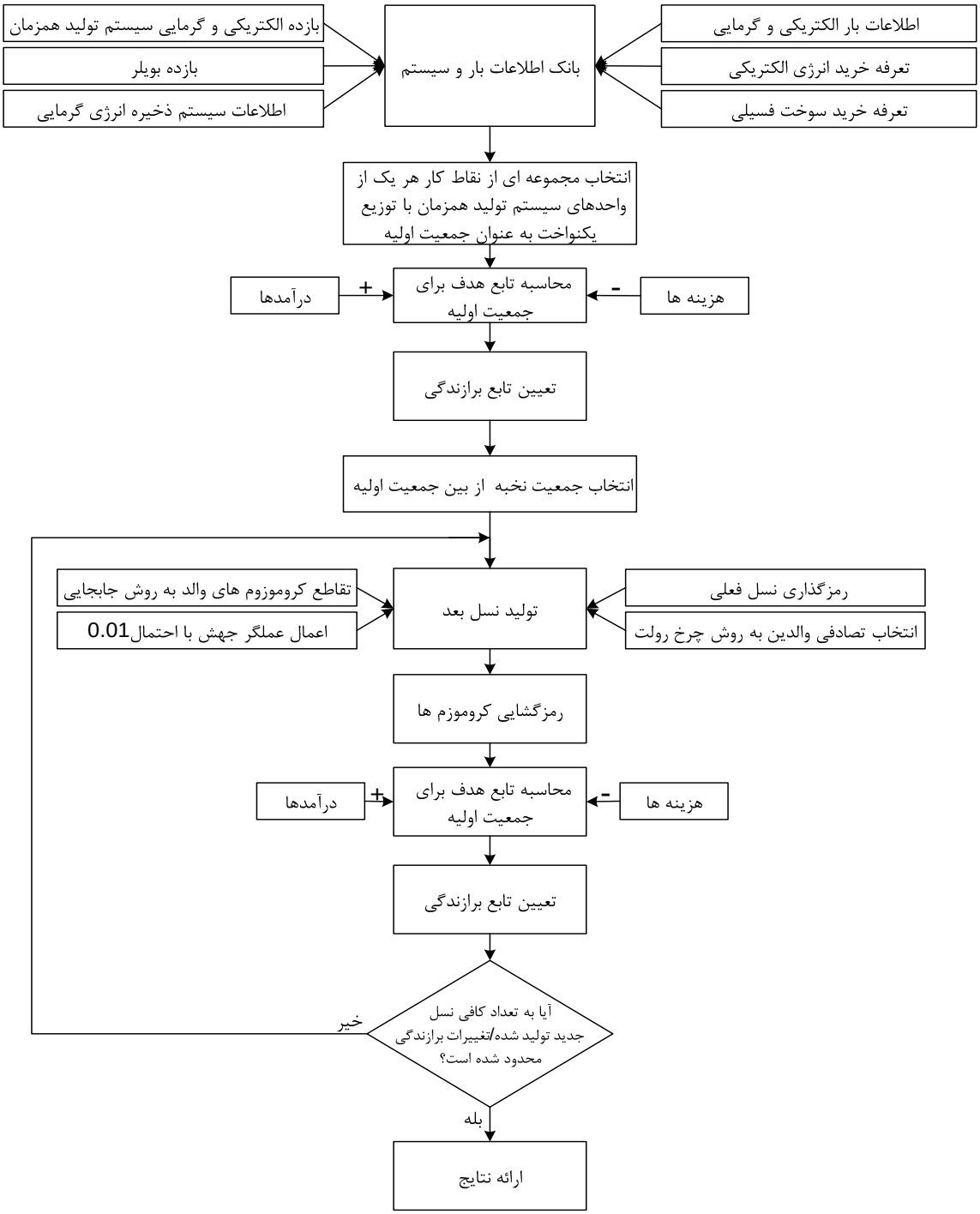
[6] Per J.Agrell, Peter Bogetoft " Economic and environmental efficiency of district heating plants" Energy Policy 33 (2005) 1351–1362.

[7] Dries Haeseldonckx, Leen Peeters, Lieve Helsen,William D'haeseleer "The impact of thermal storage on the operational behaviour of residential CHP facilities and the overall CO2 emissions" Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2005.

[8] Afzal S. Siddiqui1; Chris Marnay; Ryan M. Firestone; and Nan Zhou "Distributed Generation with Heat Recovery and Storage" Journal of Energy Engineering, 133

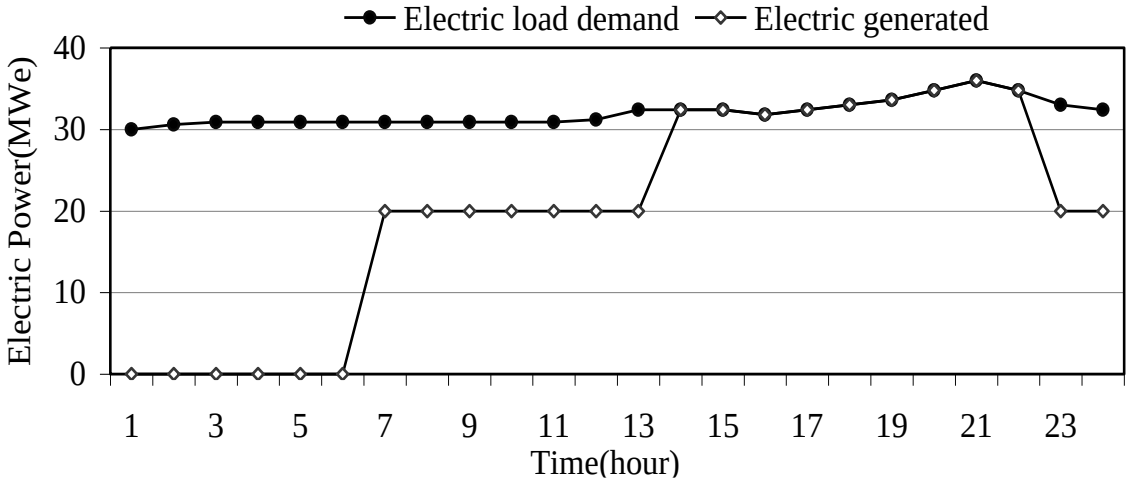
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]

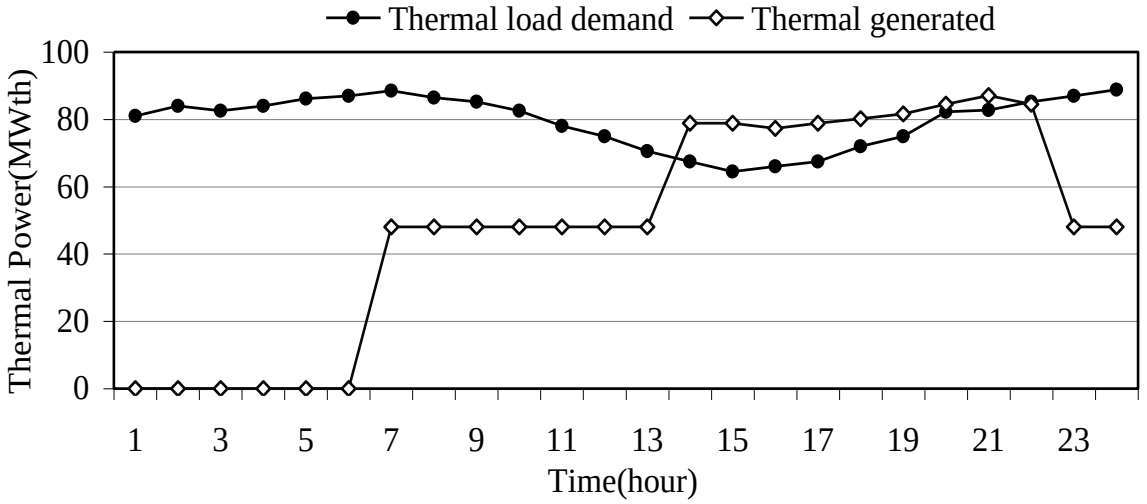


شکل(۳): فلوچارت الگوریتم بررسی عملکرد سیستم تولید همزمان

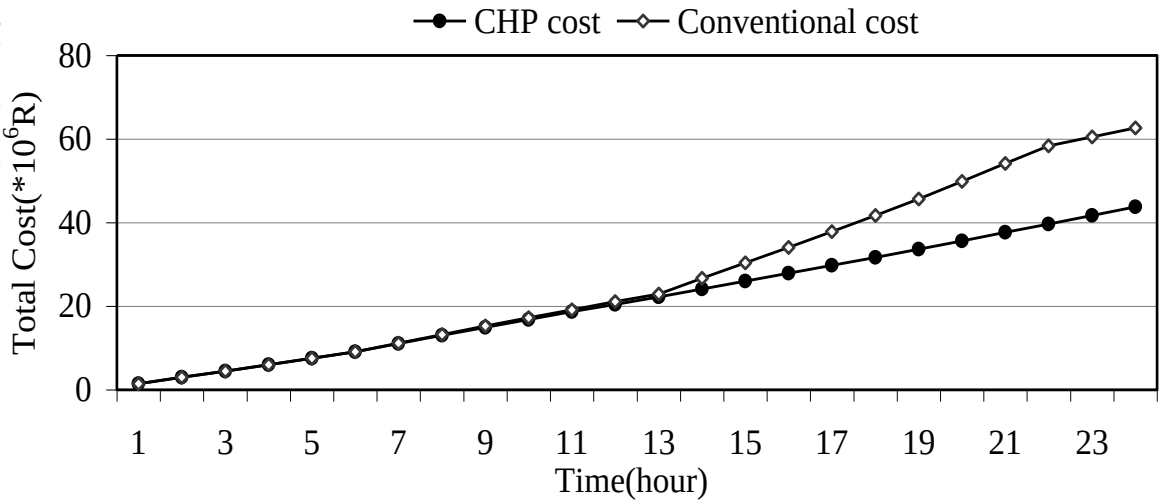
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]



شکل(۴): میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز و میزان تولید سیستم تولید همزمان در فصول معتدل

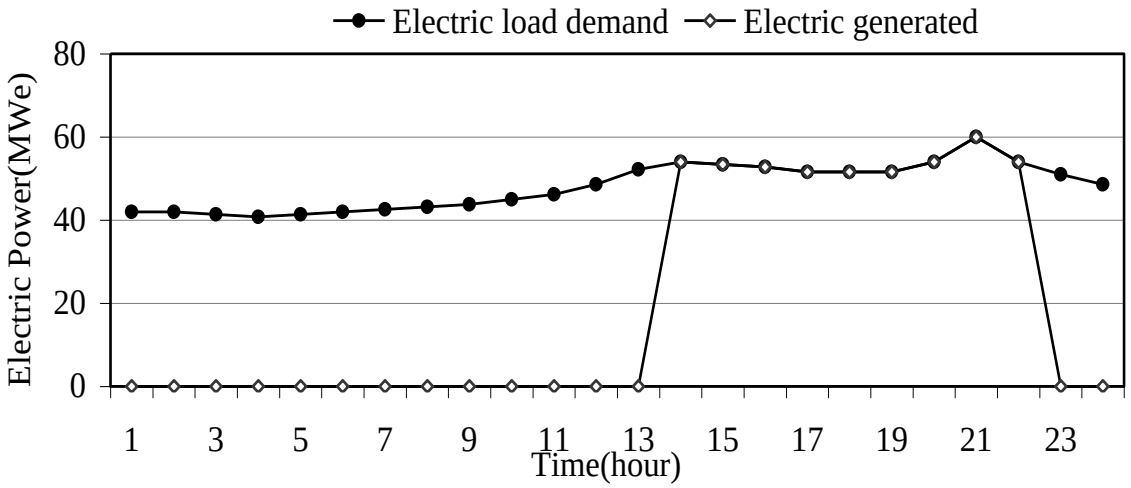


شکل(۵): میزان انرژی گرمایی مورد نیاز و میزان تولید سیستم تولید همزمان در فصول معتدل

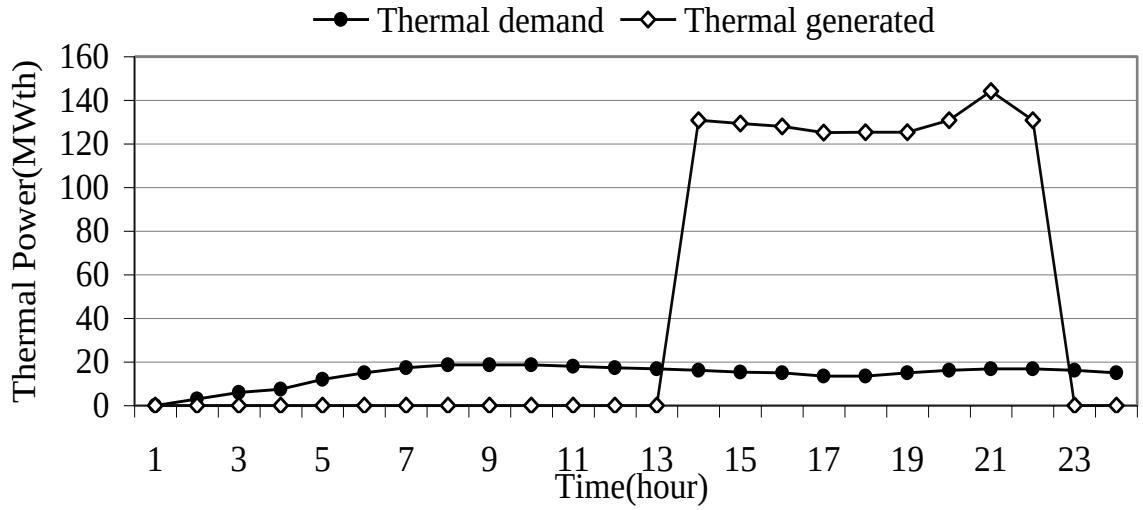


شکل(۶): هزینه تامین انرژی برای سیستم تولید همزمان و سیستم تولید متعارف در فصول معتدل

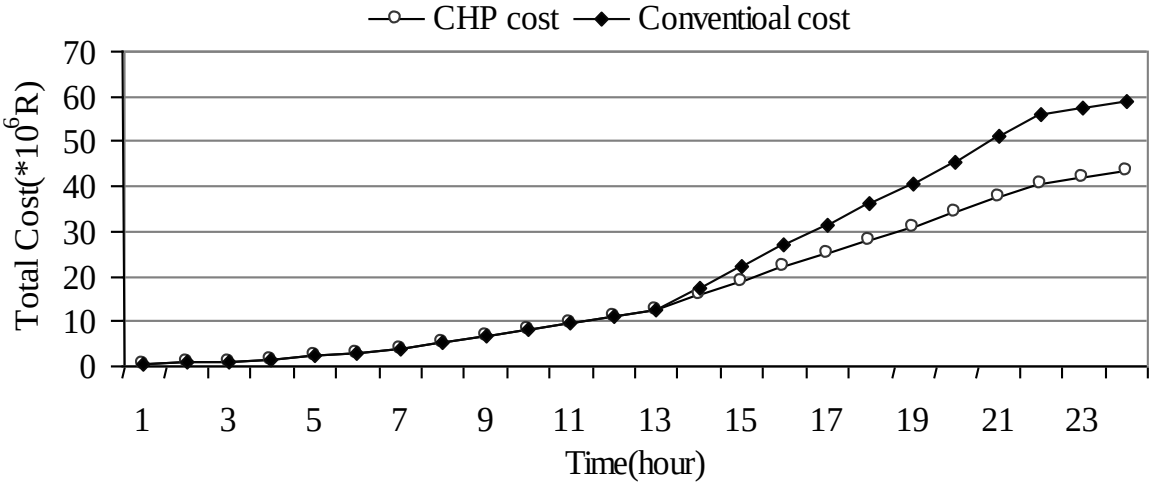
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers – Vo1.6- No.1- Spring and Summer 2009
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]



شکل(۷): میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز و میزان تولید سیستم تولید همزمان در فصل تابستان

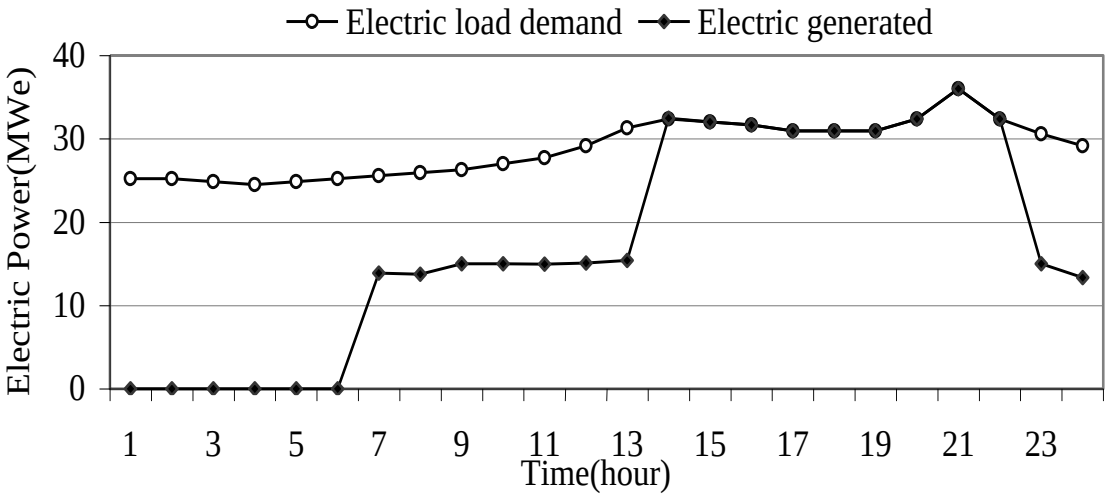


شکل(۸): میزان انرژی گرمایی مورد نیاز و میزان تولید سیستم تولید همزمان در فصل تابستان

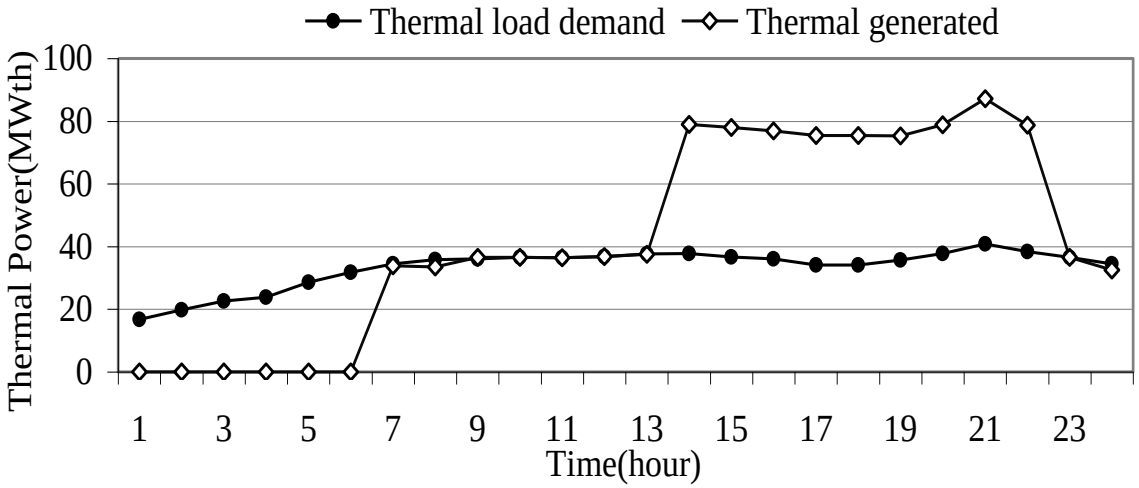


شکل(۹): هزینه تامین انرژی برای سیستم تولید همزمان و سیستم تولید متعارف در فصل تابستان

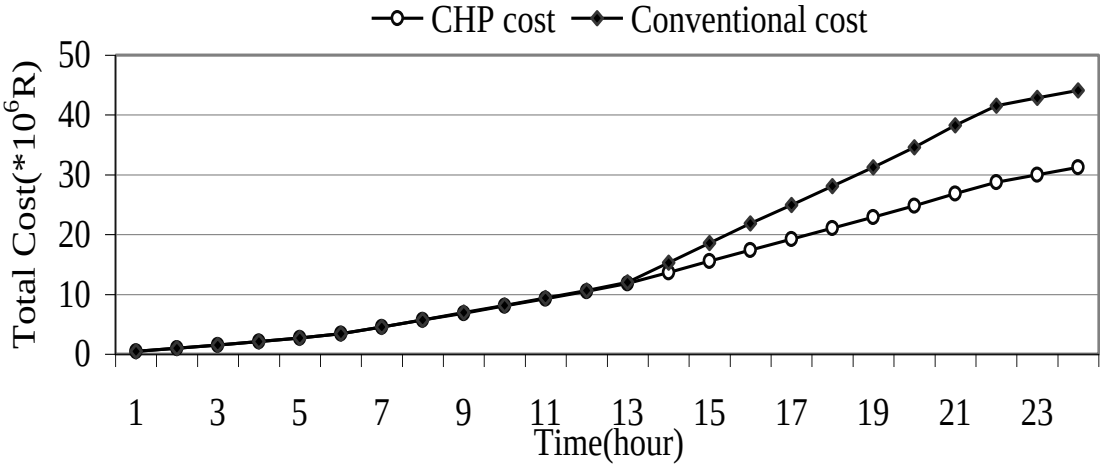
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]



شکل(۱۰): میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز و میزان تولید سیستم تولید همزمان در فصل تابستان(با چیلر جذبی)



شکل (۱۱): میزان انرژی گرمایی مورد نیاز و میزان تولید سیستم تولید همزمان در فصل تابستان(با چیلر جذبی)



شکل(۱۲): هزینه تامین انرژی برای سیستم تولید همزمان و سیستم تولید متعارف(با چیلر جذبی)

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-11]