



## مدیریت هزینه و مصرف انرژی با استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت

عباس علی آبادی

استادیار

محمدحسین زندانی

کارشناس ارشد

کارشناس ارشد

موتورهای احتراق داخلی حدود ۳۰-۴۰٪ انرژی سوخت ورودی را به کار مفید تبدیل و بقیه انرژی سوخت ورودی را بصورت گرما تلف می‌کنند. لذا با بازیافت گرمای تلف شده، موتورهای احتراق داخلی دارای پتانسیل مناسب جهت استفاده در سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت هستند. هدف از نصب این سیستم‌ها، افزایش بازده تبدیل انرژی و در نتیجه کاهش هزینه‌های تحمیلی بر مشترک و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در این مقاله یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت با یک محرکه موتور احتراق داخلی گازسوز برای استفاده در یک مجتمع در نظر گرفته شده و نتایج نشانگر افزایش بازده کل سیستم تا حدود ۸۰٪، صرفه جویی انرژی اولیه بین ۲۱-۲۸٪ و میزان کاهش هزینه‌های برق و حرارت ساختمان بین ۲۱-۳۰٪ است.

واژه‌های راهنما: تولید همزمان، موتور احتراق داخلی، Micro-CHP، آنالیز اقتصادی، مولد مقیاس کوچک

### ۱- مقدمه

استفاده از سیستم‌های تولید همزمان در بخش خانگی به دلیل توانایی آن‌ها در تولید انرژی گرمایی و الکتریکی از یک منبع سوخت نظیر گاز طبیعی و همچنین کاهش هزینه کلی انرژی به علت بازده تبدیل انرژی بالاتر نسبت به سیستم‌های رایج تبدیل انرژی در حال رشد و توسعه است. در سیستم‌های تولید همزمان، بازده تبدیل انرژی تا حدود ۸۰٪ افزایش می‌یابد (بر اساس ارزش حرارتی پائین سوخت، LHV) در حالی که در نیروگاه‌های رایج تولید برق متوسط مقدار بازده در حدود ۳۰-۳۵٪، و در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی تا حدود ۵۵٪ است. این افزایش بازده انرژی در مقایسه با سیستم‌های رایج تامین برق و حرارت، منجر به کاهش هزینه‌های انرژی و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود [۱].

پیشوند Micro (میکرو) در Micro-CHP بدین معنی است که تولید برق سیستم تولید همزمان در دامنه ۳۵-۱۵ kW یا کمتر است [۲]. البته در دستورالعمل سیستم تولید همزمان اروپا، مبنای تعریف Micro-CHP بر پایه سیستم تولید همزمان با حداکثر ظرفیت کمتر از ۵۰ kWe است [۳]. سیستم‌های

<sup>۱</sup> دکترای مکانیک، عضو هیات علمی دانشگاه امام حسین (ع)، تهران aliabadi@mapna.com

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد نیرو محرکه، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، لویزان، تهران mz.zendani@gmail.com

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد نیرو محرکه، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، لویزان، تهران

Micro-CHP مناسب و موجود در بخش خانگی شامل سیستم‌های تولید همزمان با محرکه موتورهای احتراق داخلی، میکروتوربین، پیل سوختی و موتور استرلینگ هستند. به دلیل توسعه تکنولوژی، طبیعت سازگار، دسترس‌پذیری و قابلیت اعتماد مناسب و هزینه کم، موتورهای احتراق داخلی محرکه مناسبی برای کاربردهای خانگی تولید همزمان هستند [۴]. آغاز استفاده از تکنولوژی تولید همزمان برق و حرارت به دهه ۱۸۸۰م. باز می‌گردد، هنگامی که بخار منبع اولیه انرژی در صنعت و استفاده از برق برای تولید توان و روشنایی در آغاز راه بود [۵و۶].

یک سیستم Micro-CHP می‌تواند با چند استراتژی بکار گرفته شود. استراتژی دنباله روی بار الکتریکی یا حرارتی، استراتژی تولید بار الکتریکی یا حرارتی ثابت و استراتژی هیبرید نمونه‌هایی از سناریوهای عملکرد سیستم‌های Micro-CHP هستند. وقتی یک سیستم بر اساس دنباله روی بار الکتریکی کار می‌کند، توان الکتریکی تولید شده از مولد برق دائماً مطابق با بار الکتریکی مورد نیاز ساختمان تنظیم می‌شود. با توجه به دقت مورد نیاز در مدل، زمان تناوب برای هر تنظیم می‌تواند به اندازه چند ثانیه کوچک یا به اندازه چند ساعت بزرگ باشد. در کل، در تناوب دو ماه مختلف متوسط مصرف بار الکتریکی تغییر قابل توجهی ندارد. دو روش برای دنبال کردن بار الکتریکی، استفاده از محرکه سرعت-متغیر یا تنظیم پیوسته دریچه گاز است که میزان سوخت ورودی را تنظیم می‌کند. یک سیستم همچنین می‌تواند طوری کار کند که محرکه توان الکتریکی ثابت تولید کند. سرعت موتور، دبی سوخت، توان الکتریکی خروجی و همچنین مقدار گرمای تلف شده نیز در این سیستم همگی ثابت هستند [۲]. استراتژی هیبرید بهترین خصوصیات استراتژی‌های دنباله روی بار الکتریکی و دنباله روی بار حرارتی را مورد استفاده قرار می‌دهد. مطابق نام پیشنهادی، استراتژی عملکرد حالت هیبرید، بکارگیری استراتژی‌های دنباله روی بار الکتریکی و دنباله روی بار حرارتی به صورت متناوب و به منظور کمینه سازی هزینه‌های عملکرد و کوتاه کردن بازگشت سرمایه است. استراتژی بار پیک الکتریکی، تولید در محل برق در طی تناوب‌های تقاضای پیک برق است. این روش، تولید همزمان برق و حرارت نبوده و در آن هیچگونه تجهیزات بازایابی گرما نصب نمی‌شود. این استراتژی ارزان ترین گزینه موجود بوده و اغلب به منظور کاهش هزینه های ناشی از برق شبکه بکار میرود [۷].

در این مقاله، شبیه‌سازی یک سیستم Micro-CHP با محرکه یک نمونه موتور احتراق داخلی گازسوز انجام و نتایج حاصل از آن با سیستم رایج تامین برق و حرارت مقایسه شده است. برای شبیه‌سازی مذکور، برنامه‌ای در محیط نرم افزار EXCEL تهیه شده که قابلیت کار با محرکه‌های مختلف و انجام آنالیز اقتصادی را دارا است. ورودی‌های این برنامه شامل مشخصات محرکه سیستم Micro-CHP، سیستم رایج تامین برق و حرارت، پروفیل‌های ساعتی بار الکتریکی و حرارتی ساختمان، شرایط خود سیستم Micro-CHP و قیود تعیین شده توسط وزارت نیرو می‌باشد.

## ۲- روابط تئوری حاکم بر سیستم

### ۲-۱- دسترس‌پذیری و قابلیت اعتماد

دسترس‌پذیری نشان دهنده تعداد ساعاتی است که سیستم می‌تواند برای تولید برق یا گرما مورد استفاده قرار گیرد. در کل، دسترس‌پذیری به شرایط کارکرد سیستم بستگی دارد. میزان دسترس‌پذیری موتور با

سوخت گاز طبیعی به نوع موتور، سرعت و کیفیت سوخت بستگی دارد. مقدار دسترس پذیری برای موتور احتراق داخلی با سوخت گاز طبیعی در کاربردهای تولید همزمان تقریباً ۹۵٪ است. قابلیت اعتماد میزان خرابی‌های ناگهانی است که در نتیجه شکست ناگهانی قطعات به وجود می‌آیند. این خرابی‌ها برای مشترک سیستم Micro-CHP مطلوب نبوده و باید اثرات این خرابی‌ها را با تعمیر و نگهداری زمان بندی شده و مناسب به حداقل رساند. در روابط ۱ و ۲، به ترتیب دسترس پذیری و قابلیت اعتماد آورده شده است [۴].

$$Availability = \frac{T - (S + U)}{T} \times 100 \quad (1)$$

$$Reliability = \frac{T - (S + U)}{T - S} \times 100 \quad (2)$$

در روابط فوق، S مدت تعمیر زمان بندی شده، U مدت تعمیر زمان بندی نشده و T مدت زمان کارکرد سیستم است.

## ۲-۲- بازده

سه بازده مختلف که مشخصات مهم سیستم‌های Micro-CHP را بیان می‌کنند عبارتند از بازده حرارتی، بازده الکتریکی و بازده کل سیستم. این سه بازده نشان دهنده کمیت و چگونگی توزیع انرژی سوخت در سیستم تولید همزمان هستند. انرژی در یک سیستم Micro-CHP از طریق تشعشع، اگزوز و جابجایی از کلیه مولفه‌ها تلف می‌شود.

طبق روابط ۳، ۴ و ۵، به ترتیب بازده حرارتی سیستم، نسبت کل انرژی (توان) گرمایی بازیافت شده به کل انرژی (توان) ورودی به سیستم و بازده الکتریکی سیستم، نسبت انرژی الکتریکی تولید شده به کل انرژی ورودی به سیستم و بازده کل سیستم، نسبت کل انرژی (توان) مفید تولید شده توسط سیستم به کل انرژی (توان) ورودی به سیستم تعریف می‌شوند.

$$\eta_{thermal} = \frac{\dot{Q}_{thermal}}{\dot{Q}_{in}} \quad (3)$$

$$\eta_{electrical} = \frac{\dot{W}_{elec}}{\dot{Q}_{in}} \quad (4)$$

$$\eta_{total} = \eta_{elec} + \eta_{them} = \frac{\dot{Q}_{thermal} + \dot{W}_{elec}}{\dot{Q}_{in}} \quad (5)$$

بر اساس ابلاغیه ۱۳۶۶۰۳/۳۵۰ شرکت مادر تخصصی توانیر، پیش فرض بازده الکتریکی مؤثر مولدهای مقیاس کوچک برای عقد قرارداد خرید تضمینی برق ۴۲٪ است. بازده الکتریکی مؤثر طبق رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$\eta_E = \frac{\eta_{electrical}}{1 - \eta_{thermal} \cdot \mu} \quad (6)$$

که  $\eta_{electrical}$  بازده الکتریکی مولد پس از کسر مصارف داخلی مولد،  $\eta_{thermal}$  بازده حرارتی مولد در حالتی که بخش بازیافت حرارت مورد استفاده قرار گیرد و  $\mu$  ضریب استفاده از بخش بازیافت حرارت است. طبیعتاً در صورتی که بخش بازیافت حرارت احداث نشود و یا این بخش مورد استفاده قرار نگیرد، بازده الکتریکی مؤثر همان بازده الکتریکی مولد خواهد بود.

در مورد مولد تولید همزمانی که در مرکز توسعه‌ی تولید پراکنده استقرار می‌یابد، حرارت بازیافت شده به توانیر تعلق خواهد داشت؛ در این صورت در قراردادهای تبدیل انرژی، ضریب استفاده از بخش بازیافت حرارت ( $\mu$ ) برابر یک منظور می‌شود. میزان کمینه بازده الکتریکی مؤثر قابل قبول برای اتصال به شبکه‌ی توزیع، هرساله توسط دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو اعلام می‌شود [۸].

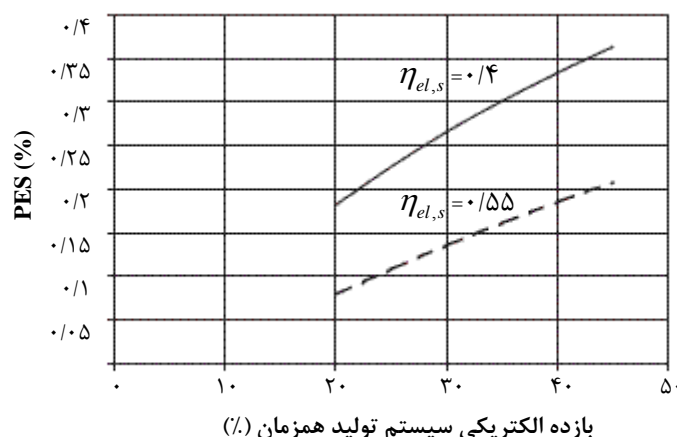
## ۲-۳- صرفه‌جویی انرژی اولیه

تجارت انرژی به دو شاخص اصلی مصرف انرژی اولیه کم، که دلالت بر فرآیندهای با بازده بالا دارد، و انتشار آلاینده‌های کم نیازمند است. روشن است که در سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت نسبت به سیستم‌های تولید مجزای برق و حرارت، بازده تبدیل سوخت بالاتر است. در مقایسه با سیستم‌های تولید مجزای برق و حرارت، تولید همزمان باعث بقای انرژی می‌شود. مقدار صرفه‌جویی انرژی اولیه فراهم شده توسط سیستم تولید همزمان طبق رابطه ۷ محاسبه می‌شود [۹]:

$$PES = 1 - \frac{1}{\eta_{th}/\eta_{th,s} + \eta_{el}/\eta_{el,s}} \quad (7)$$

در رابطه فوق،  $\eta_{th}$  بازده حرارتی سیستم تولید همزمان،  $\eta_{el}$  بازده الکتریکی سیستم تولید همزمان،  $\eta_{th,s}$  بازده حرارتی بویلر سیستم رایج و  $\eta_{el,s}$  بازده الکتریکی سیستم رایج تولید برق است.

محدوده مقدار PES معمولاً بین ۱۰-۳۰٪ است. شکل ۱، مقدار PES را به صورت تابعی از بازده الکتریکی سیستم تولید همزمان نشان می‌دهد. در این شکل، بازده کل سیستم تولید همزمان برابر ۰/۸۵،  $\eta_{th,s} = ۰/۹$  و دو مقدار  $\eta_{el,s} = ۰/۴$  و  $\eta_{el,s} = ۰/۵۵$  برای بازده الکتریکی تولید مجزا لحاظ شده‌اند. می‌توان مشاهده کرد که حتی با مقدار بازده الکتریکی بالاتر در تولید مجزا ( $\eta_{el,s} = ۰/۵۵$ ) که حاکی از تکنولوژی بالاتر آن است (مانند سیکل ترکیبی توربین گاز)، سیستم تولید همزمان می‌تواند به کاهش قابل توجهی از مصرف سوخت منجر شود [۹].

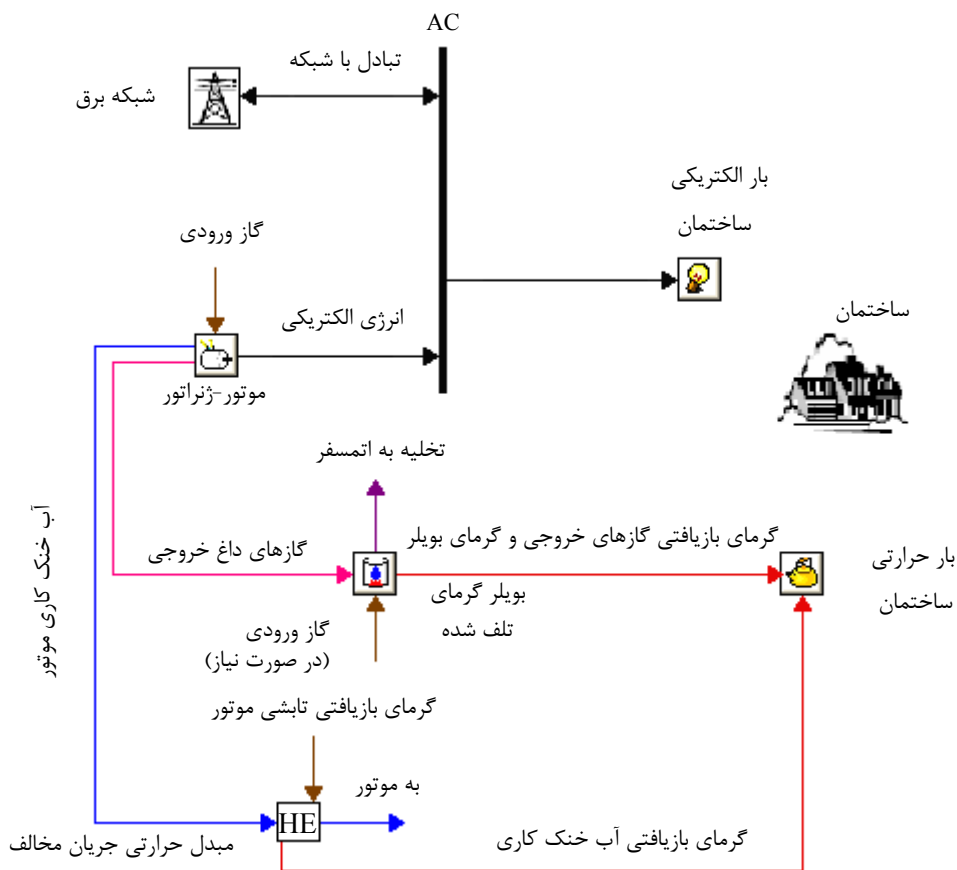


[ ] CHP

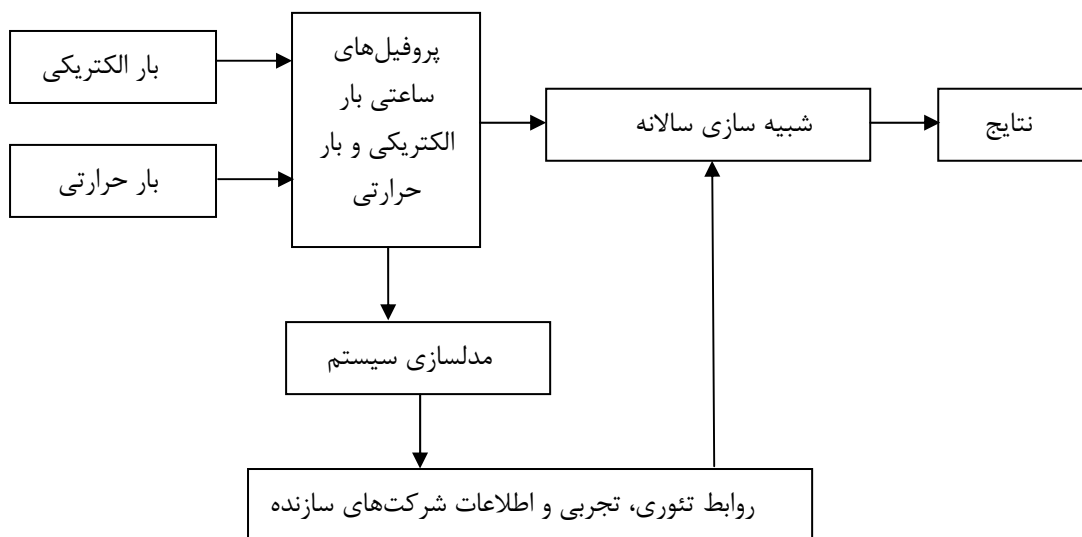
CHP PES - شکل ۱

### ۳- شبیه‌سازی سیستم Micro-CHP

در این مقاله فرض بر این است که سیستم Micro-CHP با محرکه موتور احتراق داخلی، نیازهای گرمایش فضا، آب گرم بهداشتی و برق یک مجتمع مسکونی را تامین کند. در اینجا بارهای سرمایشی در نظر گرفته نشده است. در این مدل‌سازی از استراتژی تولید توان الکتریکی ثابت استفاده شده است. چنانچه نیاز برق مجتمع از برق تولیدی سیستم بیشتر باشد، مقدار کمبود برق از شبکه خریداری می‌شود و چنانچه برق تولیدی سیستم از نیاز برق مجتمع بیشتر باشد، این مقدار مازاد با توجه به ضوابط وزارت نیرو در دستورالعمل مولدهای مقیاس کوچک به شبکه صادر می‌شود. مقدار گرمای بازیافتی حاصل از گازهای خروجی و آب خنک کاری موتور برای تامین نیازهای حرارتی مجتمع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که نیازهای حرارتی مجتمع بیشتر از حرارت بازیافتی موتور باشد، مقدار کمبود گرما توسط بویلر کمکی جبران و در صورتی که مقدار گرمای بازیافتی موتور بیشتر از نیازهای حرارتی مجتمع باشد، این مقدار مازاد به اتمسفر تلف می‌گردد. مدل شماتیک مذکور در شکل (۲) نشان داده شده است. از پروفیل بار الکتریکی و حرارتی یک مجتمع مسکونی فرضی برای شبیه‌سازی سالانه مجتمع استفاده شده است. فلوجارت نحوه انجام کار در این مقاله در شکل (۳) آمده است.



شکل ۲- مدل شماتیک سیستم تولید همزمان برق و حرارت.



شکل ۳- فلوجارت نحوه انجام کار در این مقاله

#### ۴- ورودی‌های برنامه

در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مشخصات محرکه سیستم Micro-CHP، سیستم رایج تامین برق و حرارت، شرایط خود سیستم Micro-CHP و قیود تعیین شده توسط وزارت نیرو آمده است.

### جدول ۱- مشخصات کامل محرکه سیستم Micro-CHP.

انرژی انتقالی به آب خنک کاری (%)	۳۰٪
تلفات تابشی (%)	۳٪
انرژی انتقالی به روغن روانساز (%)	۴٪
درصدی از گرمای گازهای خروجی که قابل بازیافت است (باتوجه به خطرات چگالش)	۶۰٪
مصرف سوخت موتور ( $g / kWh$ )	۱۹۰
بازده موتور احتراق داخلی (%)	۴۱٪
توان مکانیکی خروجی موتور در دور مورد نظر در حالت تمام بار ( $kW$ )	۳۰

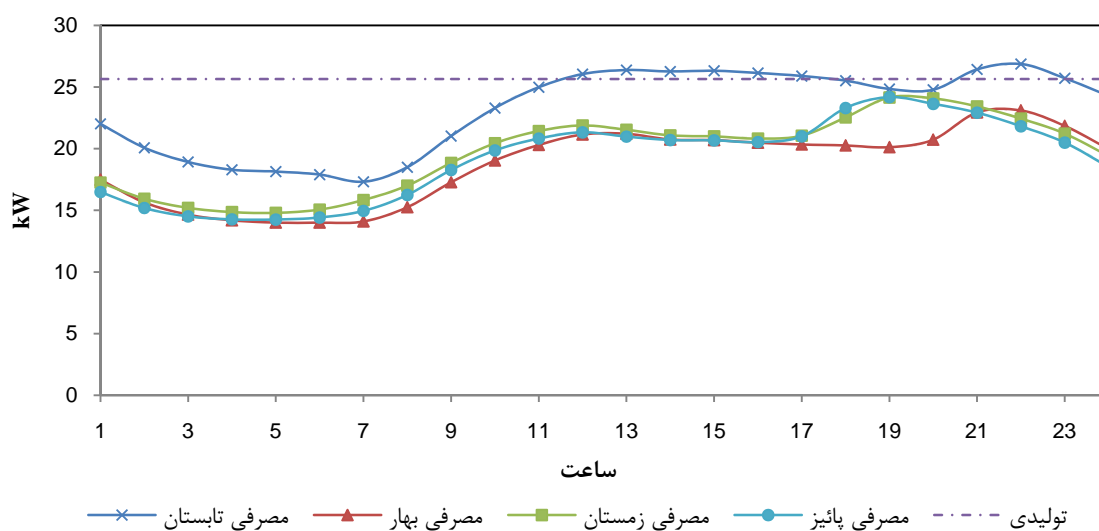
### جدول ۲- شرایط سیستم رایج تامین برق و حرارت. (کلیه نرخها مربوط به سال ۱۳۸۹ است)

متوسط نرخ برق در ماه‌های غیر گرم ( $Rial / kWh$ )	۱۵۸/۹۱
متوسط نرخ برق در ماه‌های گرم ( $Rial / kWh$ )	۱۴۲/۹
متوسط نرخ گاز طبیعی شبکه ( $Rial / m^3$ )	۱۰۰
ارزش حرارتی گاز شبکه ( $Btu / ft^3$ )	۹۲۰
دانسیته گاز طبیعی ( $kg / m^3$ )	۰/۷
بازده الکتریکی برای سیستم تولید برق مجزا (%)	۳۰
بازده بویلر (%)	۸۵

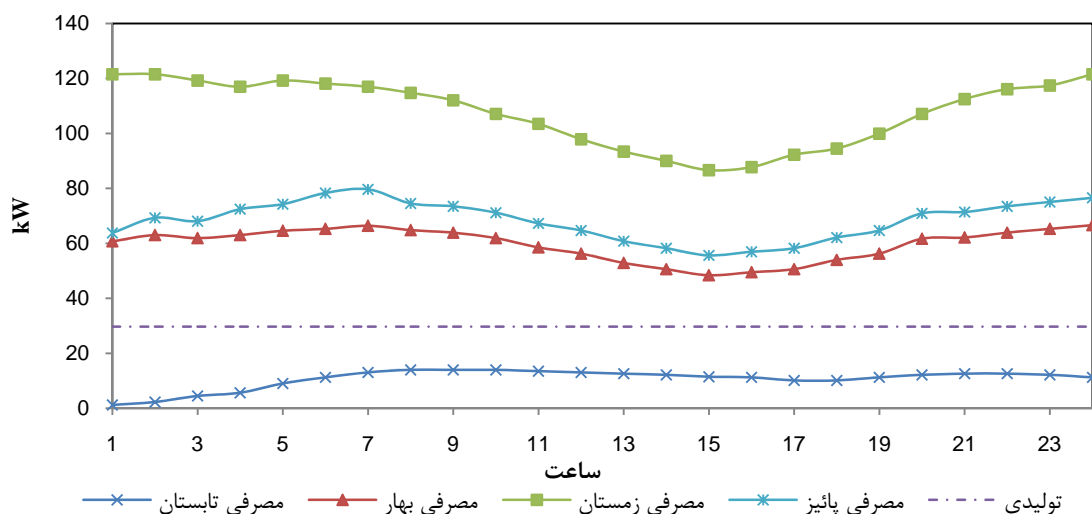
### جدول ۳- شرایط سیستم Micro-CHP. (کلیه نرخها مربوط به سال ۱۳۸۹ است)

نرخ فروش برق به مشترک Micro-CHP در ماه‌های غیر گرم ( $Rial / kWh$ )	۱۵۸/۹۱
نرخ فروش برق شبکه به مشترک Micro-CHP در ماه‌های گرم ( $Rial / kWh$ )	۱۴۲/۹
نرخ گاز طبیعی تحویلی شبکه به سیستم Micro-CHP ( $Rial / m^3$ )	۲۹/۲۸
نرخ گاز طبیعی تحویلی شبکه به بویلر کمکی سیستم Micro-CHP ( $Rial / m^3$ )	۱۰۰
نرخ برق خریداری شده از سیستم Micro-CHP ( $Rial / kWh$ )	۳۰۳/۵
ضریب دسترس پذیری در قابلیت اعتماد (%)	۹۵
بازده الکتریکی ژنراتور (%)	۹۰
بازده مبدل حرارتی مورد استفاده (%)	۹۵
ضریب استفاده از بخش بازیافت حرارت (توسط توانیر تعیین می‌شود)	۱
هزینه سرمایه گذاری کل سیستم (ریال)	۱۳۰,۰۰۰,۰۰۰
هزینه تعمیر و نگهداری سالانه سیستم (ریال)	۶,۰۰۰,۰۰۰
هزینه استهلاک سالانه سیستم (ریال)	۱۳,۰۰۰,۰۰۰
عمر اقتصادی سیستم (سال)	۱۰

در شکل‌های (۴) و (۵)، به ترتیب پروفیل بار الکتریکی و حرارتی مورد نیاز ساختمان برای فصول و ساعات مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود پروفیل بار الکتریکی فصول پائیز و زمستان تقریباً بر هم منطبق است. در این شکل‌ها همچنین میزان توان الکتریکی و حرارتی تولیدی سیستم که مقداری ثابت است نیز نشان داده شده است. مطابق شکل (۴)، مقدار برق مصرفی در بعضی ساعات تابستان بیشتر از مقدار برق تولیدی است که این مقدار کمبود از شبکه جبران می‌شود. در بقیه ساعات تابستان و فصول دیگر برق اضافی به شبکه صادر می‌شود. مطابق شکل (۵)، مقدار حرارت تولیدی برای نیازهای حرارتی مجتمع کافی است در حالی که در بقیه فصول برای تامین نیاز حرارتی مجتمع به بویلر کمکی نیاز است. قابل ذکر است که مقدار گرمای اضافی تولیدی در تابستان تلف می‌شود که در صورت وجود چیلر جذبی، می‌توان این مقدار گرمای اتلافی را نیز بازیافت کرد.



شکل ۴- بار الکتریکی مصرفی ساختمان و تولیدی سیستم



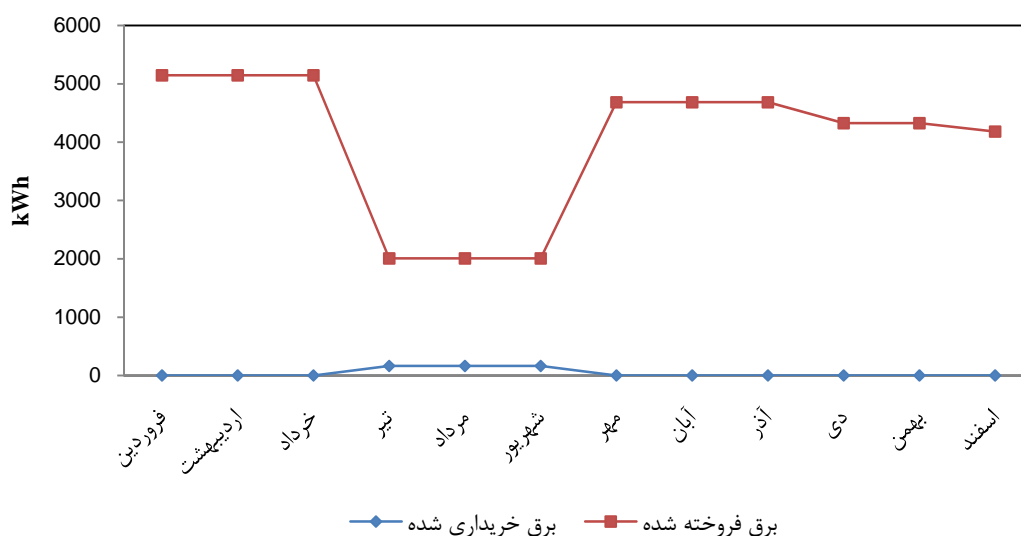
شکل ۵- بار حرارتی مصرفی ساختمان و گرمای تولیدی سیستم



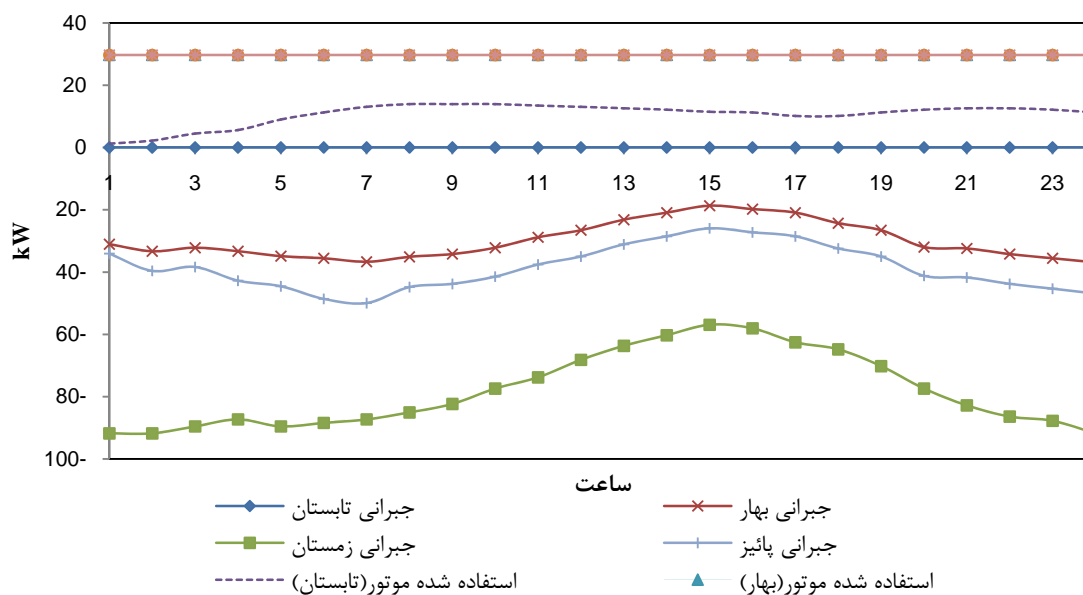
تنها کسری از گرمای گازهای خروجی قابل بازیافت است زیرا دمای گازهای خروجی باید بالاتر از دمای تقطیر نگه داشته شوند. بسیاری از واحدهای بازیابی گرما بمنظور جلوگیری از اثرات خوردگی برای دمای خروجی  $170^{\circ}\text{C}$  -  $150^{\circ}\text{C}$  طراحی می‌شوند [۴].

## ۵- نتایج شبیه سازی

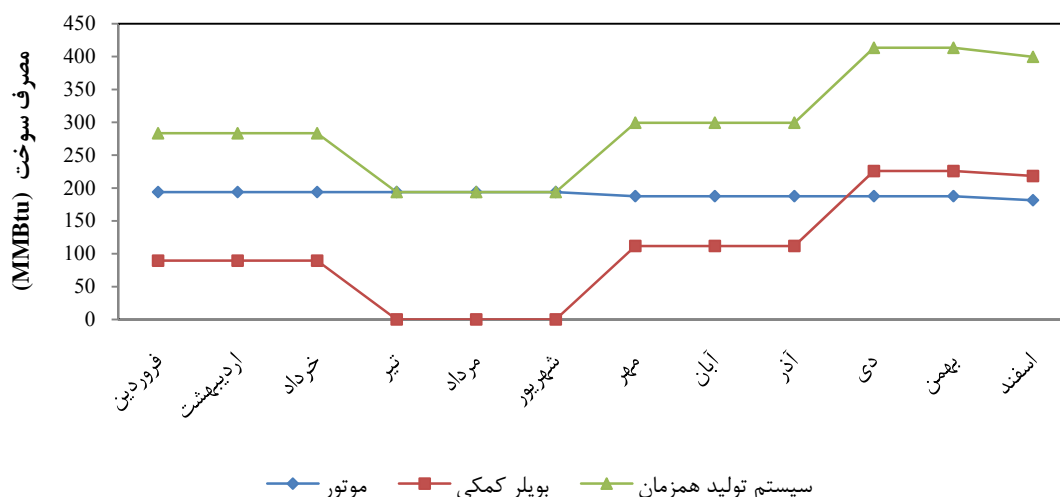
شکل (۶)، تبادل سیستم Micro-CHP با شبکه را به صورت میزان خرید و فروش ماهانه برق نشان می‌دهد. خرید برق از شبکه فقط در تابستان اتفاق می‌افتد در حالی که در کلیه ایام سال می‌توان برق به شبکه صادر نمود. شکل (۷)، مقدار گرمای بازیافت شده موتور و همچنین مقدار گرمای جبرانی توسط بویلر کمکی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، در تابستان گرمای مورد نیاز ساختمان توسط موتور تامین می‌شود و نیازی به بویلر کمکی نیست ولی در بقیه فصول، گرمای بازیافت شده از موتور برای تامین نیازهای گرمایشی ساختمان کافی نیست و مقدار کمبود گرما توسط بویلر کمکی جبران خواهد شد. در فصول بهار، پائیز و زمستان کل گرمای بازیافتی موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل (۸)، مصرف سوخت ماهانه موتور و بویلر کمکی آمده است. همانطور که قبلاً ذکر شد، در فصل تابستان مقدار گرمای بازیافت شده از موتور برای نیازهای گرمایشی ساختمان کافی است و به بویلر کمکی نیاز نیست و لذا مصرف سوخت آن در فصل تابستان برابر صفر است.



شکل ۶- تبادل سیستم Micro-CHP با شبکه



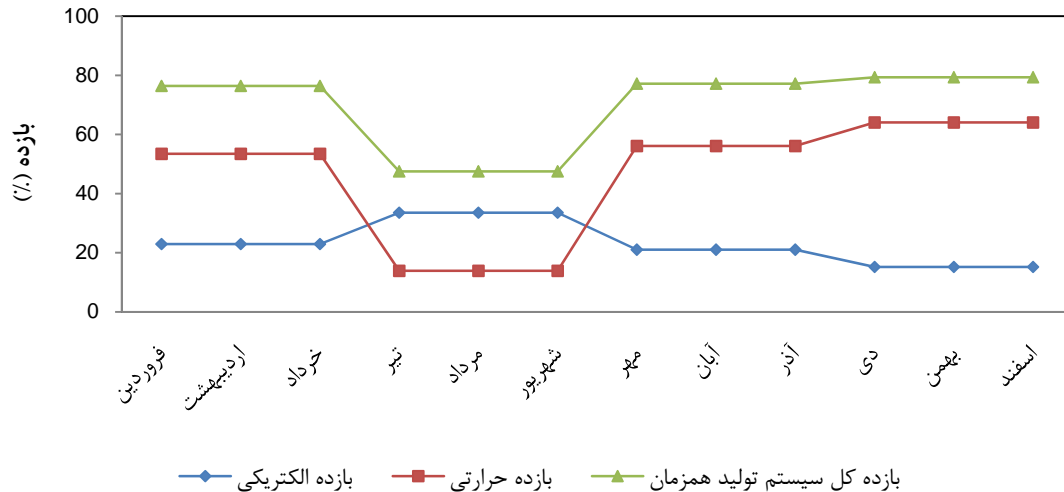
شکل ۷- گرمای استفاده شده موتور و جبرانی بویلر کمکی



شکل ۸- مصرف سوخت موتور، بویلر و سیستم Micro-CHP

بازده‌های الکتریکی، حرارتی و کل برای این سیستم در شکل ۹ نشان داده شده است. بازده حرارتی سیستم بین ۱۴٪ و ۶۴٪، و بازده الکتریکی سیستم بین ۱۶٪ و ۳۴٪ است. بازده الکتریکی سیستم در ماه‌های غیر گرم به دلیل کارکرد بویلر کمکی برای تامین نیازهای گرمایش ساختمان افت می‌کند. در صورت استفاده از چیلر جذبی در ماه‌های گرم ممکن است بازده الکتریکی سیستم نیز کاهش یابد زیرا گرمای مورد نیاز چیلر جذبی در صورت کمبود باید از بویلر کمکی تامین گردد. دلیل افت بازده حرارتی در ماه‌های گرم، نیاز گرمایشی پایین ساختمان است. بیشترین بازده کلی سیستم در حدود ۸۰٪ است که در ماه‌های سرد رخ

می‌دهد. قابل ذکر است که در اینجا، کل سیستم Micro-CHP به عنوان یک حجم کنترل در نظر گرفته شده است که ورودی آن سوخت گاز طبیعی و خروجی مفید آن برق و گرما می‌باشند و بازده به صورت نسبت فایده به خرج تعریف شده است.

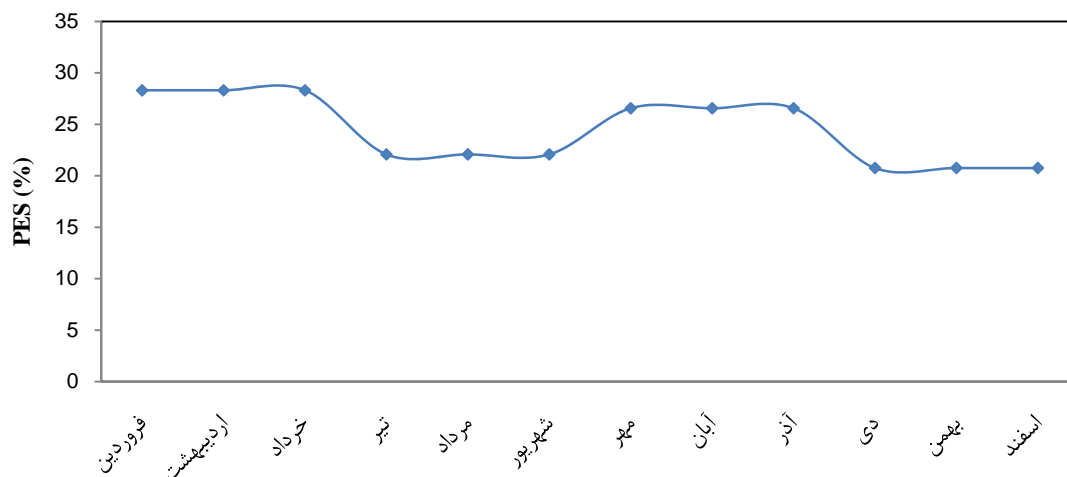


شکل ۹- بازده‌های الکتریکی، حرارتی و کل سیستم Micro-CHP.

هزینه‌های ماهانه انرژی برای سیستم Micro-CHP و سیستم رایج تامین برق و حرارت در شکل (۱۰) مقایسه شده است. هزینه‌های پرداختی در سیستم Micro-CHP در مقایسه با سیستم رایج کاهش یافته و برای مشترک منجر به صرفه‌جویی شده است. شکل (۱۱)، میزان صرفه‌جویی انرژی اولیه (PES) را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. مطابق این شکل در کلیه ماه‌های سال مقداری صرفه‌جویی انرژی وجود دارد ( $PES > 0$ ). در بهترین شرایط شرایط مقدار PES در حدود ۲۸٪ است که در فصل بهار و کمترین مقدار PES در حدود ۲۱٪ است که در فصل زمستان اتفاق می‌افتد.



شکل ۱۰- مقایسه هزینه‌های سیستم رایج تامین برق و حرارت با سیستم Micro-CHP.



شکل ۱۱- مقدار PES در ماه‌های مختلف.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شد که، سیستم‌های Micro-CHP باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت و در نتیجه افزایش بازده انرژی تا حدود ۸۰٪ می‌شوند. بازده کل سیستم Micro-CHP مورد مطالعه، بین ۴۸٪ تا ۸۰٪ است که بیانگر صرفه‌جویی بالای انرژی در این سیستم‌ها است زیرا از بیشترین مقدار انرژی سوخت ورودی برای تولید توان (گرمایی و مکانیکی) استفاده می‌شود. در واقع در این سیستم‌ها با تولید برق در محل، از تلفات ناشی از توزیع و انتقال جلوگیری می‌شود. مقدار صرفه‌جویی انرژی اولیه (PES) که توسط سیستم Micro-CHP فراهم می‌شود در فصل بهار بیشترین مقدار که برابر با ۲۸٪ و کمترین مقدار در فصل زمستان که برابر با ۲۱٪ است. با توجه به بازده الکتریکی پایین نیروگاه‌های تولید برق و همچنین تلفات زیاد ناشی از انتقال و توزیع برق در ایران، میزان صرفه‌جویی انرژی اولیه بالا است که نشانگر اهمیت طرح استفاده از سیستم‌های Micro-CHP در ایران است.

## مراجع

- [1] Onowwiona, H. I., "Modeling of Internal Combustion Engine Based Cogeneration Systems for Residential Applications", Applied Thermal Engineering, Vol. 27, pp. 848-861, (2007).
- [2] Moran, A., "Micro-CHP Modeling and Simulation using Thermodynamic Cycles", Master of Science Thesis, Mississippi State University, (2006).
- [3] Pehnt, M., Cames, M., Fischer, C., Praetorius, B., Schneider, L., and Schumacher, K., "Micro Cogeneration Towards Decentralized Energy Systems", Springer, New York, (2006).

- [4] Onovwiona, H.I., and Ugursal, V.I., "Residential Cogeneration Systems: Review of the Current Technology", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 10, pp. 389-431, (2006).
- [5] Charma, L.M., and Mago, P.J., "*Micro-CHP Power Generation for Residential and Small Commercial Buildings*", Nova Science Publisher, Inc., New York, USA, (2009).
- [6] Aussant, C. D., Fung, A. S., Ugursal V. I., and Taherian H., "Residential Application of Internal Combustion Engine Based Cogeneration in Cold Climate-Canada", *Energy and Buildings*, Vol. 41, pp. 1288-1298, (2009).
- [7] Thumann, Albert and Mehta, D. Paul, "*Handbook of Energy Engineering*", 5<sup>th</sup> ed., the Fairmont Press, Georgia, USA, (2001).
- [۸] دستورات العمل توسعه‌ی مولد مقیاس کوچک، دفتر خصوصی سازی صنعت برق، معاونت برق و انرژی، وزارت نیرو، بهمن ماه (۱۳۸۷).
- [9] Badami, M., Casetti, A., Campanile, P., and Anzioso, F., "Performance of an Innovative 120kWe Natural Gas Cogeneration System", *Energy*, Vol. 32, pp. 823-833, (2007).

### فهرست نمادهای انگلیسی

- T: مدت زمان کارکرد سیستم  
 S: مدت تعمیر زمان بندی شده  
 U: مدت تعمیر زمان بندی نشده  
 $\dot{Q}_{thermal}$ : کل انرژی گرمایی بازیافت شده توسط سیستم  
 $\dot{Q}_{in}$ : کل انرژی ورودی به سیستم  
 $\dot{W}_{elec}$ : انرژی الکتریکی کل تولید شده توسط سیستم  
 Availability: دسترس پذیری  
 Reliability: قابلیت اعتماد  
 PES: صرفه جویی انرژی اولیه

### نمادهای یونانی

- $\eta_{thermal}$ : بازده حرارتی سیستم تولید همزمان  
 $\eta_{electrical}$ : بازده الکتریکی سیستم تولید همزمان  
 $\eta_{total}$ : بازده کل سیستم تولید همزمان  
 $\eta_E$ : بازده الکتریکی موثر  
 $\mu$ : ضریب استفاده از بخش بازیافت  
 $\eta_{el,s}$ : بازده الکتریکی سیستم رایج تولید برق  
 $\eta_{th,s}$ : بازده حرارتی بویلر سیستم رایج

**Abstract**

Internal combustion engines convert about 30-40% of fuel energy to useful work and the rest of fuel energy lost as heat. Thus internal combustion engines have good potential for cogeneration applications with recovery of waste heat energy. By using of these systems, the efficiency of energy conversion is increased and thus expenditures of the facility and emission of greenhouse gases are reduced. In this paper a gas engine based cogeneration system is considered for a facility and the results show that the total efficiency is increased to about 80%; primary energy saving of the system is between 21-28% and the expenditures of the facility are reduced between 21-30%.