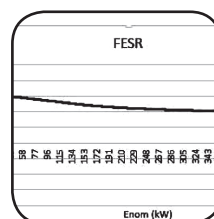
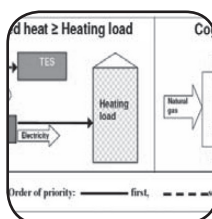
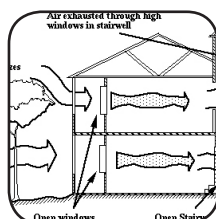
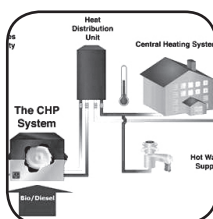


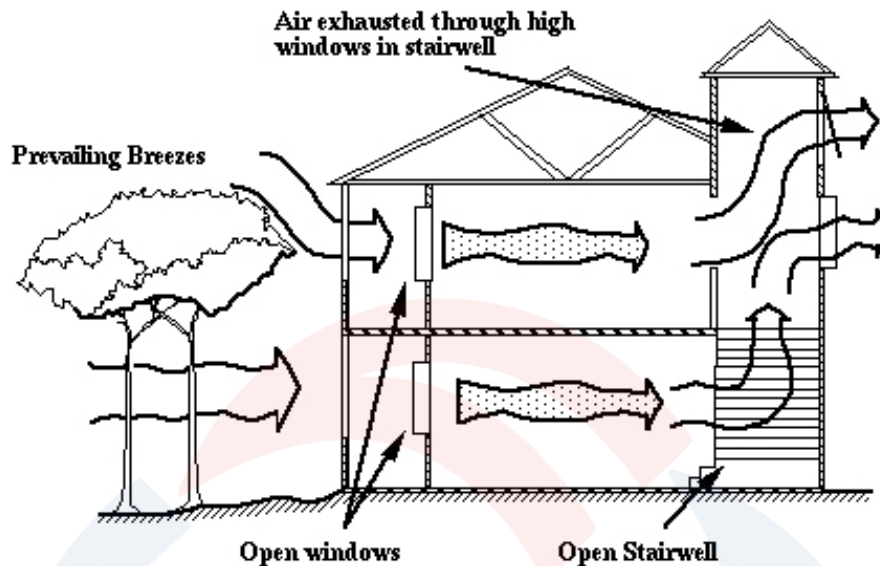
مطالعه مطالب بیشتر در کانال صنعت تهویه و تاسیسات
<https://telegram.me/hvacmag>

بررسی تأثیر حضور ذخیره‌ساز حرارتی بر تأمین آب گرم و بار حرارتی یک سامانه تولید همزمان برق، گرما و سرما خانگی (BCCHP)

نویسندگان:

محمد تقی زاده گنجی، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی
خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی
علی کشاورز، دانشیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،
دانشکده مهندسی مکانیک، گروه تبدیل انرژی
مسعود ابراهیمی، استادیار، دانشگاه کردستان، دانشکده فنی مهندسی،
گروه مهندسی مکانیک





CO_2 و CO نیز برای ارزیابی محیطی سیکل CCHP، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در نهایت با مقایسه تأثیر حضور سامانه‌های مکمل، اندازه بهینه محرک اصلی را ارائه داده می‌شود.

کلمات کلیدی: تولید همزمان (CCHP)، مخزن ذخیره حرارتی (TES)، روش تعیین اندازه چند معیاری (MCSM)، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

چکیده

این پژوهش به بررسی و مقایسه تأثیر حضور سامانه مکمل مخزن ذخیره‌سازی حرارتی (TES) در تأمین آب گرم مصرفی ساختمان و مشارکت این سامانه مکمل در تأمین بارحرارتی ساختمان در یک سامانه تولید همزمان برق، گرما و سرما (CCHP) می‌پردازد.

این تحقیق با استفاده از روش تعیین اندازه چند معیاری (MCSM)^۲ به تعیین اندازه محرک اصلی سامانه CCHP و با استفاده از استراتژی مشابهی به بررسی بار ساختمان پرداخته است. برای این منظور، یک ساختمان مسکونی فرضی و مشابه برای شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. MCSM سه معیار اصلی و هشت معیار فرعی را مورد بررسی قرار داده است. برای هر معیار، مطابق شرایط خاص و قیود و محدودیت‌ها یک اندازه موتور پیشنهاد شده است. علاوه بر این، میزان و وزن هر معیار و معیار فرعی نسبت به سایر معیارها و معیارهای فرعی توسط روش AHP^۳ محاسبه شده است. به منظور تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی، آنالیزهای اکسرژی و انرژی انجام شده است. ارزیابی اقتصادی نیز با استفاده از NPV و IRR برای یافتن قابلیت سوددهی، ریسک و دوره بازپرداخت سرمایه‌گذاری در CCHP صورت گرفته است. خروجی‌های NO_x

۱- مقدمه

سامانه‌های ترکیبی خنک‌سازی، گرمایش و توان الکتریکی (CCHP)، فن‌آوری‌های مختلفی را دارا بوده و به‌عنوان جایگزینی برای حل مشکلات مرتبط با انرژی، از قبیل کمبود انرژی، تأمین امنیت انرژی، صرفه‌جویی و بقای انرژی و ... به کار می‌روند.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری بر روی سامانه‌های CHP و CCHP در اندازه‌های مختلف به‌خصوص سامانه‌های در سطح خانگی (میکرو) صورت گرفته است. در این پژوهش‌ها سامانه‌هایی با محرک‌های اصلی و سامانه‌های ضمیمه مختلف از نظر فنی، محیطی و ... مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های صورت گرفته، میکرو CHP‌ها می‌توانند تا بالای ۶۰ درصد بیشتر از سامانه‌های رایج، توان تولیدی داشته باشند. با استفاده از این سامانه‌ها تلفات خطوط و انتقال برق، اغلب کاملاً حذف می‌شود و همچنین این

1- Combine cooling, heating and power

2- Multi-Criteria Sizing Method

3- analytic hierarchy process

کونگ^۶ و همکارانش [۵] مسائل مربوط به سنجش بازدهی انرژی و تجزیه و تحلیل اقتصادی یک سامانه سه محصولی (CCHP) با اندازه کوچک را با موتور استرلینگ مورد بررسی قرار می‌دهند.

مگو^۷ و همکارانش [۶] عملکرد یک سامانه ترکیبی -CHP-ORC (ترکیب یک سیکل رنگین ارگانیک با یک سامانه CHP) در زمینه انرژی، اقتصادی و محیطی مورد مطالعه قرار می‌دهند. نتایج بیانگر این است که به‌طور کلی، استفاده از CHP-ORC در مقایسه با CHP، هزینه‌ها، PEC (مصرف انرژی اولیه) و CDE (انتشار دی‌اکسید کربن) را برای تمامی شهرهای مورد بررسی از طریق تولید الکتریسیته بیشتر، کاهش می‌دهد.

الیویرا^۸ و همکارانش [۷] به بررسی یک سامانه CCHP که از طریق انرژی خورشیدی به انضمام یک مشعل گازی راه‌اندازی می‌شود، پرداخته‌اند. نتایج مدل‌سازی کامپیوتری این سامانه، آزمایش‌های مرغوبیت و تحلیل‌های اقتصادی آن در این پژوهش گزارش شده است. در این پژوهش به بررسی آلاینده‌های خروجی نیز پرداخته است. مطابق نتایج به‌دست آمده بازدهی تولید برق را می‌توان با اصلاح توربو ژنراتور و نیز با افزایش فشار بویلر (افزایش دما) افزایش داد.

وانگ^۹ و همکارانش [۸] جریان انرژی یک سامانه متداول تولید مستقل (تولید تفکیکی-SP) و یک سامانه BCHP مزاد بر نیاز را تجزیه و تحلیل نموده‌اند. چهار مورد از متغیرهای تصمیم‌گیری (ظرفیت واحد تولید نیروی برق-PGU)، ظرفیت مخزن حرارتی، ضریب on-off مربوط به PGU و نرخ خنک‌سازی الکتریکی برای بار سرمایی که باید بهینه‌سازی شوند برای طراحی و استراتژی عملیاتی سامانه BCHP انتخاب شده‌اند. الگوریتم بهینه‌سازی PSO^{۱۰} برای جستجوی راه‌حل‌های بهینه به کار گرفته شده است.

رن^{۱۱} و همکارانش [۹] مدلی ریاضی برای بهینه‌سازی یک سامانه CHP از نظر اقتصادی و ظرفیت در شرایط مختلف بیان می‌کنند. با استفاده از این مدل، تحقیق و پژوهشی برای رسیدن به سرمایه‌گذاری بهینه CHP برای نمونه اصلی یک ساختمان مسکونی صورت گرفته است.

ابراهیمی و کشاورز [۱۰] در تحقیق خود با معرفی ۴ معیار اصلی و ۱۶ زیرمعیار به مقایسه سامانه‌های متداول در بخش خانگی در کشور ایران می‌پردازد که شامل سامانه تولید جداگانه (CSP)، موتور رفت و برگشتی (IC)، موتور استرلینگ (STR) و میکرو

سامانه‌ها مصرف انرژی اولیه را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند. انتشار دی‌اکسید کربن تا بیش از ۶۰ درصد کاهش می‌یابد و علاوه بر آن هزینه انرژی مصرفی به طور محسوسی افت می‌کند. این پژوهش، با استفاده از متدی که به بررسی انرژی، جنبه‌های انرژی و محیطی پروژه می‌پردازد به انتخاب تعیین اندازه و استراتژی محرک اصلی سامانه CCHP می‌پردازد. با ترکیب خطی این معیار و محاسبه وزن و میزان هر معیار، تابعی به نام MCSF^۱ به دست می‌آید. این معیار برای تعیین اندازه بهینه محرک اصلی از نقطه نظر یک معیاری یا چند معیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۱ - مروری بر پژوهش‌های پیشین

پاگلارینی و راینیری^۲ [۱] شبیه‌سازی سامانه دو محصولی (CHP) در کنار یک سامانه ذخیره انرژی حرارتی مورد بحث و بررسی قرار داده است. به منظور شناسایی و تعیین اعتبار چنین راه‌حلی، یک نمونه عملی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج تجزیه و تحلیل انرژی بیانگر این است که TES (ذخیره‌ساز انرژی حرارتی) می‌تواند به‌طور موثری مشارکت بویلر کمکی و گرمای تلف شده را کاهش دهد.

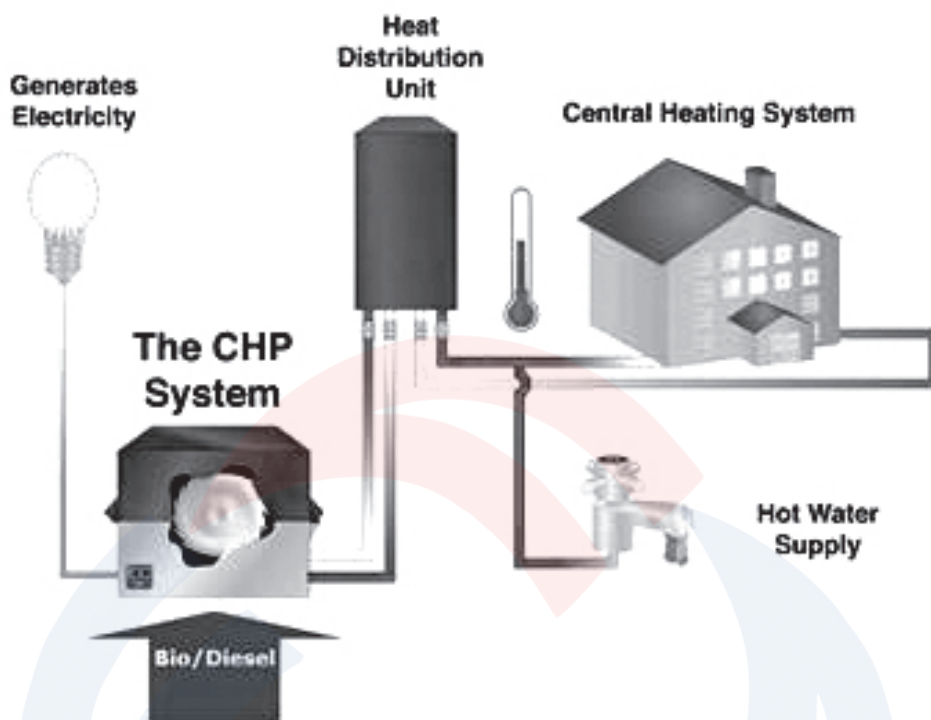
من لای و وای هوی^۳ [۲] بر روی طراحی یک سامانه تولید انرژی حرارتی اقتصادی و انعطاف‌پذیر با ادغام تکنیک‌های سه محصولی و ذخیره‌ساز سرما تمرکز کرده است. نتایج نشان می‌دهد، هزینه بالای سرمایه‌گذاری، این سامانه را از نظر اقتصادی در شرایطی که هزینه برق از تخفیف برخوردار باشد، غیر جذاب نموده است.

ابراهیمی و کشاورز [۳] به بررسی پنج ساختمان مشابه در پنج شهر مختلف کشور ایران که در مناطق آب و هوایی مختلف حضور دارند پرداخته و ظرفیت محرک اصلی سامانه CCHP را برای این ساختمان‌ها تعیین می‌نماید. در این پژوهش بار ساعتی و زمانی که موتور با ظرفیت کامل کار کند بیان شده است. آنالیز حساسیت صورت گرفته نشان‌دهنده این است که بار ساعتی ساختمان کمترین حساسیت را به دمای کمینه حباب مرطوب دارد.

آلان^۴ و همکارانش [۴] یک سامانه میکرو-دو محصولی مبتنی بر موتور استرلینگ در ساختمان‌های مسکونی را بهینه کردند و با یک سامانه مرجع، یعنی گرمایش هیدرونیکی^۵ و یک بویلر گازی با درجه حرارت پایین در ساختمان‌هایی در شرایط آب و هوایی مختلف مقایسه می‌کند.

6- X.Q. Kong
 7- Pedro J. Mago
 8- A.C. Oliveira
 9- Jiangjiang Wang
 10- Particle swarm
 11- Hongbo Ren

1- Multi-criteria sizing function
 2- Giorgio Pagliarini, Sara Rainieri
 3- Sau Man Lai, Chi Wai Hui
 4- Kari Alanne
 5- hydronic



درحالی که قیود و شرایط ترمودینامیکی، محیطی و اقتصادی را تأمین می کند، تعیین کند.

با توجه به بررسی صورت گرفته بر روی پژوهش های انجام شده، مشخص شد که تحقیقات بسیار کمی بر روی سامانه های تولید همزمان برق، گرما و سرما همراه با سامانه ذخیره ساز انرژی انجام شده است. همچنین با بررسی تحقیقات محدود صورت گرفته در این زمینه، تأثیرات بسزای سامانه های ذخیره ساز انرژی بر کاهش هزینه های سرمایه گذاری و هزینه های آتی سامانه های تولید همزمان و همچنین نقش مؤثر این سامانه در کاهش آلاینده ها خروجی سامانه های تولید همزمان، روشن می شود. پژوهش پیش رو، در راستای ادامه تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، به بررسی تأثیر یک سامانه مکمل ذخیره ساز انرژی^۲ بر یک سامانه CCHP در سطح خانگی و تعیین ظرفیت تجهیزات مورد استفاده همراه با بررسی و بهینه سازی اقتصادی، فنی و محیطی سامانه CCHP مد نظر می پردازد. سیکل مد نظر این سامانه از یک موتور رفت و برگشتی به عنوان محرک اصلی به همراه استفاده از سامانه ذخیره ساز حرارتی در تأمین بار حرارتی ساختمان تشکیل شده است.

علت انتخاب موتور رفت برگشتی به عنوان محرک اصلی، تحقیق

توربین گازی (MGT) می باشد و در نهایت به این نتیجه رسید که موتور رفت و برگشتی بهترین انتخاب می باشد.

مگو و چامرا^۱ [۱۱] به بهینه سازی سامانه های CCHP بر اساس ملاک های بهینه سازی مختلفی از قبیل، ذخایر انرژی، کاهش هزینه عملیاتی، یا کمترین اثرات زیست محیطی پرداخته است. در این پژوهش، سامانه های CCHP که با توجه به استراتژی های بار الکتریکی (FEL) و بار حرارتی (FTL) عمل می کنند بر اساس مصرف انرژی اولیه (PEC)، هزینه عملیاتی و خروجی های دی اکسید کربن (CDE) ارزیابی و بهینه شده اند. نتایج نشان می دهد که سامانه های CCHP که با استفاده از هریک از ملاک های بهینه سازی فعالیت می کنند، کارایی بهتری از سامانه های CCHP ای دارند که بدون توجه به معیارهای بهینه سازی عمل می کنند.

ابراهیمی و کشاورز [۱۲] یک روش تعیین اندازه چند معیاری برای تعیین اندازه محرک اصلی سامانه CCHP معرفی شده است. این روش از معیارهای ترمودینامیکی، اقتصادی و محیطی استفاده می کند. MCSF برای تعیین اندازه محرک اصلی CCHP مسکونی در پنج منطقه آب و هوایی مورد استفاده قرار می گیرد. تجزیه و تحلیل ها نشانگر این است که این روش قادر است اندازه موتور را

$$Fuel^j = \sum_{t=1}^{8760} (F_P^j + F_C^j + F_H^j + F_D^j)_t \quad (3)$$

در این تحقیق به بررسی و مقایسه دو روش در تأمین آب گرم مصرفی و مشارکت مخزن ذخیره‌ساز حرارتی می‌پردازد. روش اول استفاده از گرمای بازیابی شده جهت آماده‌سازی آب گرم درخواستی ساختمان استفاده می‌باشد، که در آن $0 = D_{dem}$ و $H_{dem} = (\text{heatingload} + \text{DHWload})$ می‌باشد و روش دوم این که آبگرمکن جداگانه‌ای نصب شود، که $D_{dem} = \text{DHWload}$ و $H_{dem} = \text{heating load}$ خواهد بود. علاوه بر این، مجموع مطالبات حرارتی ساختمان توسط $ATD = H_{dem} + C_{dem} / COP_{abc}$ محاسبه می‌شود و متقابلاً $ATD' = H'_{dem} + C'_{dem} / COP_{abc}$ مجموع کمبود حرارتی سامانه CCHP را نشان می‌دهد که باید توسط یک بویلر کمکی جبران شود.

در آنالیز اکسرژی، بردارهای اکسرژی بهبود یافته و عرضه شده برای CSP و CCHP محاسبه شده‌اند و به صورت زیر برای محاسبه بازدهی اکسرژی در طول یک سال مورد استفاده قرار می‌گیرند:

$$\dot{\phi}_s^j = (\dot{\phi}_{s,P}^j, \dot{\phi}_{s,C}^j, \dot{\phi}_{s,H}^j, \dot{\phi}_{s,D}^j) \quad (4)$$

$$\dot{\phi}_r^j = (\dot{\phi}_{r,P}^j, \dot{\phi}_{r,C}^j, \dot{\phi}_{r,H}^j, \dot{\phi}_{r,D}^j) \quad (5)$$

$$\pi^j = \sum_{t=1}^k (\dot{\phi}_r^j)_t / \sum_{t=1}^k (\dot{\phi}_s^j)_t \quad (6)$$

که در آن k تعداد مراحل زمانی در یک سال است که برای محاسبه بار^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۱-۲- آنالیزهای اقتصادی

در آنالیزهای اقتصادی، سامانه‌های NPV، IRR و PB سامانه CCHP برآورد می‌شود. سرمایه‌گذاری اولیه یک پارامتر کلیدی در محاسبه NPV و IRR است. معادله زیر برای محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (I) برای سامانه‌های CSP و CCHP پیشنهاد می‌شود:

$$I^j = ii_P^j + ii_C^j + ii_H^j + ii_D^j \quad (7)$$

که در آن ii هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای هر بخش از سامانه‌های CSP و CCHP است. همچنین طول عمر پروژه $n = 30$ سال در نظر گرفته شده است.

رادیاتورهای پانلی فولادی

صورت گرفته توسط دکتر ابراهیمی [۱۰] است، که در تحقیق خود بازدهی بیشتر و سودبخش بودن این محرک اصلی را اثبات می‌کند.

۲- آنالیز

۲-۱- محاسبه معیارها معیارهای فرعی

در این تحقیق، معیارهای ترمودینامیکی (C_1)، اقتصادی (C_2) و محیطی (C_3) برای یافتن بهترین اندازه محرک اصلی و استراتژی سامانه CCHP و همچنین تأثیر اضافه شدن تجهیزاتی مانند مخزن ذخیره حرارتی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی، آنالیزهای اکسرژی و انرژی انجام شده است. ارزیابی اقتصادی نیز با استفاده از NPV، IRR و PB برای یافتن قابلیت سوددهی، ریسک و دوره بازپرداخت سرمایه‌گذاری در CCHP صورت گرفته است. خروجی‌های CO_2 ، NO_x و CO نیز برای ارزیابی محیطی سیکل CCHP، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه، مقدار این زیرمعیارها برای سیکل CCHP و نیز محصول جداگانه متداول گرمایشی، سرمایشی و توان محاسبه می‌شود (CSP). علاوه بر این، سامانه سرمایشی در هر دو CCHP و CSP یک چیلر جذبی می‌باشد. یک بویلر کمکی و نیز گرمای بازیافت شده از سیکل CCHP برای تهیه بار گرمایشی ساختمان و آب داغ خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یونیت‌های فن کویل (FCU) برای انتقال گرما و سرما به کاربران نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سامانه، سامانه مورد استفاده در مرجع [۱۲] می‌باشد.

۲-۱-۱- آنالیزهای Thermodynamical

آنالیزهای ترمودینامیکی شامل آنالیزهای اکسرژی و انرژی است. در آنالیز انرژی، مصرف سوخت CCHP با CSP مقایسه می‌شود. اما در آنالیز اکسرژی بازدهی کلی اکسرژی CCHP با بازدهی کلی اکسرژی CSP مقایسه می‌شود.

در آنالیز انرژی، بردار مصرف سوخت (F) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F^j = (F_P^j, F_C^j, F_H^j, F_D^j) \quad (2)$$

که در آن P، C، H و D نشانگر توان (برق)، خنک‌سازی، گرمایش و آب داغ خانگی بوده و برای CSP و CCHP نیز به ترتیب $j=0$ و $j=1$ می‌باشد. برای محاسبه مصرف سوخت در طول یک سال با توجه به این که در یک سال ۸۷۶۰ ساعت داریم، از این رو:

۳-۲- شرایط و محدودیت‌هایی برای یافتن E_{nom}^j

برای تولید MCSF، ما نیازمند محاسبه سائز موتور (Enom) هستیم که توسط هر ضابطه و معیاری توصیه می‌شود. برای این منظور، دستورالعمل زیر برای محاسبه Enom متناظر برای هر ضابطه‌ای به کار می‌رود. برای زیرمعیار ترمودینامیکال و محیطی:

$$E_{nom}^{ij} = \{E_{nom} | S_{ij}^N \text{ is max}, i = 1, 3, \} \quad (12)$$

علاوه بر این، برای زیرمعیار اقتصادی، اندازه موتور برای شرایطی انتخاب می‌شود که در آن پروژه سودآور و ایمن بوده و بازگشت سرمایه اصلی کمتر از ۶ سال باشد. از این رو:

$$E_{nom}^{ij} = \{E_{nom} | S_{ij}^N > 0, i = 2, j = 1, 2, \} \quad (13)$$

$$E_{nom}^{ij} = \{E_{nom} | S_{ij}^N > \frac{100}{6}, i = 2, j = 3, \} \quad (14)$$

۳-۳-۱- محاسبه ماتریس وزنی نرمال شده

میزان اهمیت هر زیرمعیار نسبت به سایر زیرمعیارها با محاسبه وزن هر زیرمعیار بررسی می‌شود. بدین منظور، ماتریس مقایسه دو به دو (PC) به صورت زیر ساخته می‌شود:

$$PC = [PC_{ij}]_{n \times n} \quad (15)$$

که در آن PC_{ij} اهمیت i th را نسبت به j th نشان می‌دهد. در الگوریتم فازی مقایسه دو به دو زبانی برای تهیه ماتریس PC مورد استفاده قرار گرفته است (مرجع [۱۲] جدول (۱)).

۳-۴-۲- فرمولاسیون سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی (TES)

در حال حاضر، ذخیره‌سازی انرژی حرارتی آشکار^۲ بیشتر برای کاربردهای عملی مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان انرژی حرارتی ذخیره شده توسط یک دستگاه ذخیره‌سازی انرژی حرارتی آشکار، متناسب با اختلاف بین دماهای ذخیره‌سازی ورودی و خروجی، حجم مخزن ذخیره‌سازی^۳ و گرمای ویژه مواد^۴ می‌باشد. معادله اصلی برای محاسبه گرمای ذخیره شده در یک جرم مادی عبارت است از:

$$Q = mc_p \Delta T = \rho V c_p \Delta T \quad (16)$$

سومین ملاکی که معمولاً برای آنالیزهای اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد دوره بازپرداخت پروژه می‌باشد. این معیار سال‌هایی که برای بازیابی هزینه اصلی سرمایه‌گذاری اولیه لازم است را محاسبه می‌کند.

۳-۱-۲- آنالیزهای محیطی

در آنالیزهای محیطی، یک بردار محیطی برای CO، CO₂ و NO_x تولید شده توسط سامانه‌های CSP و CCHP به صورت زیر تعریف شده است:

$$X^j = (X_P^j, X_C^j, X_H^j, X_D^j) \quad (8)$$

که در آن X می‌تواند CO، CO₂ و یا NO_x باشد. از این رو، تولید و انتشار محیطی برای هر آلایند در طول یک سال برای سامانه‌های CSP و CCHP می‌تواند توسط معادله زیر محاسبه شود:

$$Em_X^j = \sum_{t=1}^{8760} (X_P^j + X_C^j + X_H^j + X_D^j)_t \quad (9)$$

۳-۲-۲- نرمال‌سازی معیارها

برای نرمال‌سازی زیرمعیار^۱ S، اگر این مقدار مربوط به هزینه و یا موردی مانند مصرف سوخت باشد که میزان کمتر آن بهتر است، در این صورت ضریب کاهش S می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$S_j^N = 100(S^0 - S^1) / S^0 \quad (10)$$

اما اگر S، سود و منفعت و یا موردی باشد که هرچه بیشتر باشد بهتر است، در این صورت ضریب افزایش S می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

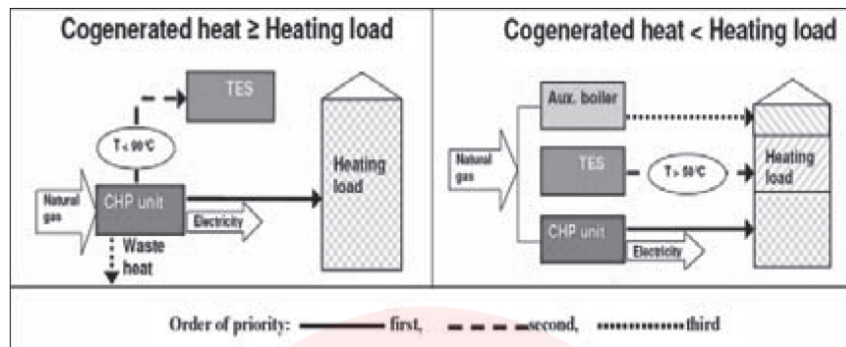
$$S_j^N = 100(S^1 - S^0) / S^1 \quad (11)$$

برای نرمال‌سازی زیرمعیارهای اقتصادی NPV، IRR و PB تکنیک‌هایی که در ادامه می‌آید مورد استفاده قرار می‌گیرد.

NPV تولید مجزا، همواره منفی است، به این دلیل که این سامانه هرگز جریان نقدی مثبتی برای مالک ندارد، از این رو تنها پروژه‌های CCHP با NPV مثبت از نظر اقتصادی قابل قبول می‌باشند. برای یک پروژه اقتصادی، IRR نشانگر ریسک سرمایه‌گذاری است، و باید از نرخ بهره (i) بیشتر باشد. به علت NPV 0 منفی، میزان IRR0 همیشه کمتر از i است. سومین معیار و ضابطه اقتصادی، PB، نمی‌تواند برای سامانه تولید مجزا تعریف شود، زیرا گردش وجوه مثبتی برای تولید مجزا وجود ندارد.

2-sensible
3-mass of the storage medium
4-specific heat of the material

1-sub-criteria



شکل ۱: کارکرد سامانه تولید همزمان و ذخیره‌ساز حرارتی [۱]

محاسبه بار الکتریکی ساختمان، مصرف توان پمپ سردکن و پمپ چیلر جذبی و پمپ گردش دوباره آب^۱ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳- نتایج

ساختمان توصیف شده در بخش بررسی موردی برای محاسبه سرمایش، گرمایش، آب گرم مصرفی و بار الکتریکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سرمایش، گرمایش، آب گرم مصرفی و بار الکتریکی که در مرجع [۱۲] محاسبه شده بودند در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند.

۳-۱- نتایج وزن‌دار کردن

میزان هر معیار نسبت به سایر معیارها با استفاده از روش AHP محاسبه شده و در جدول ۱ نشان داده شده است.

مطابق این جدول، معیار اقتصادی دارای بزرگترین میزان (۰/۴۳۴) بوده و بعد از آن نیز معیار ترمودینامیکی (۰/۳۶۶) و در نهایت معیار محیطی (۰/۲۰۰) می‌باشند.

۳-۲- تعیین اندازه تک معیار

تعیین اندازه تک معیار به یافتن E_{nom}^{ij} برای هر معیار با توجه به شرایط و قیود تعریف شده در بخش قبل اشاره دارد. نتایج تعیین اندازه تک معیاری در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

همان‌گونه که دیده می‌شود، E_{nom} های پیشنهادی توسط معیارهای مختلف، متفاوت بوده و استفاده از یکی از آن‌ها به عنوان مرجع برای یافتن اندازه بهینه موتور بسیار دشوار است. از این رو، باید راه حلی برای پیشنهاد یک اندازه موتور برای استفاده از تمامی

که در آن m برابر با جرم ماده، C_p گرمای ویژه مواد در یک فشار ثابت، ΔT اختلاف دمایی، Q چگالی و V حجم مخزن حرارتی می‌باشد. شارژ حرارتی مخزن زمانی آغاز می‌شود که تولید حرارت بیشتر از مصرف حرارت باشد. در طول تخلیه حرارتی مخزن، یک فرایند معکوس اتفاق می‌افتد.

۴-۱- اتصال و کوپلینگ CHP با TES

TES شامل یک حمام آب می‌باشد که سطح آزاد آن در فشار اتمسفر ۰ باقی می‌ماند. برای سادگی، فرض می‌شود که حمام آب کاملاً مخلوط شده و بین مینیمم و بیشینه دمای ۵۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد فعالیت می‌کند. از این رو، ظرفیت تاسیسات مخزن حرارتی تنها با استفاده از حجم آن توصیف می‌شود. وقتی گرمای تولید از گرمای مصرفی کمتر باشد، مخزن حرارتی گرمای ذخیره کرده را به سامانه می‌دهد، تا زمانی که درجه حرارت مخزن حرارتی به ۵۰ درجه برسد. هنگامی که بار گرمایشی به میزانی کمتر از مقدار گرمای تولیدی تنزل یافته و یا این که به صفر می‌رسد، گرمای مازاد در تاسیسات مخزن حرارتی ذخیره می‌شود، تا این که دمای آن به ۹۰ درجه سانتی‌گراد برسد. خلاصه عملکرد سامانه CHP در شکل ۱ نشان داده شده است.

۵-۲- بررسی موردی

ساختمانی مسکونی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته مشابه نمونه‌ای است که در مرجع [۱۲] بررسی شد. این یک ساختمان فرضی است که دارای ۴ طبقه، ۸ واحد و کل منطقه زندگی برای ۳۲ سکنه آن برابر با ۱۲۰۰ m^2 می‌باشد.

این ساختمان برای شهر تهران در نظر گرفته شده است که در منطقه آب و هوایی TDC (گرم و خشک) واقع شده است. برای

جدول ۱: وزن‌های معیارها و زیر معیارها

معیارهای اصلی	زیر معیارهای	
تکنولوژیکی	Energy	۰/۵۵۰
	Exergy	۰/۴۵۰
اقتصادی	NPV	۰/۵۲۲
	IRR	۰/۳۰۳
	PB	۰/۱۷۵
محیطی	NOx	۰/۲۸۹
	CO2	۰/۳۳۱
	CO	۰/۳۸۰

جدول ۲: Enom متناظر برای هریک از زیر معیارها

وضعیت‌ها	TES		
	بار حرارتی	آب گرم مصرفی	
		VOLUME_TES (M^3)	Enom (kW)
بیشینه FESR	۱	۹۱	۸۴
بیشینه Exergy	۱	۲۹	۲۸
بیشینه NPV	۱	۱	۳۰
بیشینه IRR	۱	۱۹۱	۳۰
PB < 6 years	۱	۶	۱۴
بیشینه کاهش NOx	۱	۲۹	۲۸
بیشینه کاهش CO2	۱	۸۹	۵۴
بیشینه کاهش CO	۱	۲۱	۲۰

موتور و با توجه به قیود بیان شده استخراج شده است. دو نمونه از این نمودارها در شکل‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

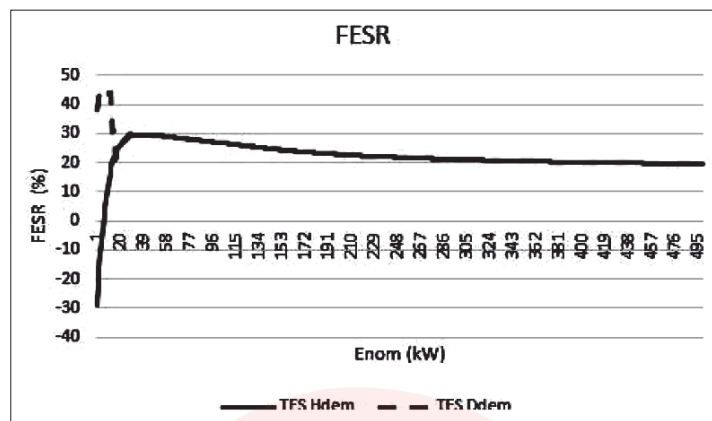
برای سیکل CCHP تنها و سیکل CCHP همراه با مخزن TES ذخیره سالیانه انرژی را به ترتیب به میزان ۲۹/۶ و ۳۸/۹ درصد موجب خواهند شد. استفاده از سامانه‌های ذخیره‌ساز گرما می‌تواند منجر به ذخیره بیشتر انرژی شود، اما با این حال هزینه‌های اضافی نیز باید در نظر گرفته شود. با افزایش اندازه موتور اکسرژی نیز افزایش می‌یابد. تفاوت ریسک سرمایه‌گذاری ($IRR - r$) ناچیز می‌باشد و زمان بازگشت سرمایه (PB) برای سیکل CCHP همراه با مخزن TES حدود ۴/۶ سال می‌باشد که حدود ۲ سال

معیارها و اندازه‌های موتور متناظر با آن‌ها ارائه شود. پیشنهاد مطرح شده در این خصوص روش MCSF^۱ می‌باشد که در مرجع [۱۲] توضیح داده شده است. این روش با ضرب وزن اختصاص داده شده به هر معیار و زیرمعیار در ساینز پیشنهادی موتور توسط آن زیرمعیار و جمع این حاصل ضرب‌ها، ساینز نهایی موتور را بر مبنای میزان اهمیت ۸ زیرمعیار، ارائه می‌دهد.

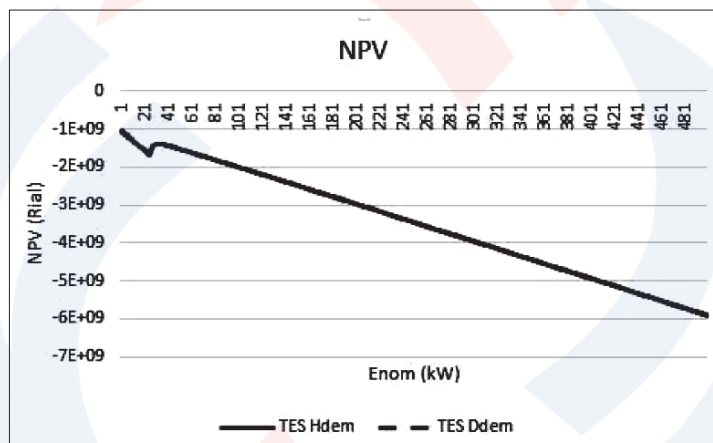
۳-۳- تعیین اندازه چند معیاری

نتایج تعیین اندازه چندمعیاری در جدول ۳ نشان داده شده است. داده‌های این جدول، از نمودارهای زیرمعیارها برحسب ساینز

1- Multi-criteria sizing function



شکل ۳: مقایسه تغییرات زیرمعیار FESR بر حسب سائز موتور برای دو سیکل CCHP با مشارکت TES در تأمین آب گرم (D_{dem}) و مشارکت TES در تأمین بار حرارتی (H_{dem})



شکل ۴: مقایسه تغییرات NPV بر حسب سائز موتور برای دو سیکل CCHP با مشارکت TES در تأمین آب گرم (D_{dem}) و مشارکت TES در تأمین بار حرارتی (H_{dem})

۴- نتیجه

نسبت به سیکل CCHP تنها بهبود دارد.

از یک روش تعیین اندازه چند معیاری برای تعیین اندازه محرک اصلی سامانه CCHP استفاده شده است. این روش از FESR و EXIR به عنوان زیرمعیارهای ترمودینامیکی، IRR، NPV و PB به عنوان معیارهای فرعی اقتصادی و ضریب کاهش NO_x ، CO و CO_2 به عنوان زیرمعیارهای محیطی استفاده می‌کند. همچنین با استفاده از روش AHP، میزانی برای هر معیار و زیرمعیار نسبت به سایرین اختصاص داده خواهد شد. روش MCSF برای تعیین اندازه محرک اصلی CCHP مسکونی در شهر تهران در دو سیکل CCHP با مشارکت TES در تأمین آب گرم (استراتژی D_{dem}) و مشارکت TES در تأمین بار حرارتی (استراتژی H_{dem}) مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل‌ها نشانگر این است که بهترین سیکل انتخابی با

آنالیزهای محیطی کاهش محسوسی را در آلودگی نشان می‌دهد. شایان ذکر است، تمام تحلیل‌های بالا در حالت کارکرد تمام بار (FLO) انجام شده است.

این پژوهش با روش MCSF، به بیشینه ساختن زیرمعیارهای ترمودینامیکی و محیطی توجه کرده است. علاوه بر این، این پژوهش از دیدگاه اقتصادی طوری طراحی شده تا سودآور و ایمن بوده و از دوره بازگشت سرمایه مناسبی برخوردار باشد ولی به علت شرایط اقتصادی خاص کشور ایران در این برهه زمانی سبب عدم سودآوری شده است.

1- Full Load

جدول ۳: اندازه موتور بهینه اندازه بویلر

پارامترها	TES	
	آب گرم مصرفی	بار حرارتی
Enom-optimum (kW)	۴۰/۱۹۳	۵۸/۲۲۴
TES Tank (m ³)	۶/۱۴۵	۳/۰۴۱
FESR (%)	۲۰/۷۸۵	۲۰/۷۵۲
EXIR (%)	۸۵/۳۱۰	۸۹/۲۶۲
NPV (10 ⁹ Rials)	-۱/۴۵۰	-۱/۶۱۸
IRR (10 ⁻² %)	-۰/۰۰۵	۰/۰۲۵
PB (years)	۴/۷۵۵	۶/۴۱۰

ciency And Economic Feasibility Of Cchp Driven By Stirling Engine”, Energy Conversion And Management, No. 45, pp-1433-1442, (2004)

6- Pedro J. Mago, Anna Hueffed, Louay M. Chamra, “Analysis and optimization of the use of CHP-ORC systems for small commercial buildings”, Energy and Buildings, No. 42, pp-1491-1498, (2010)

7- A.C. Oliveira, C. Afonso, J. Matos, S. Riat, M. Nguyen, P. Doherty, “A Combined Heat And Power System For Buildings Driven By Solar Energy And Gas”, Applied Thermal Engineering, No. 22, pp-587-593, (2002)

8- Jiangjiang Wanga, Zhiqiang (John) Zhai b, Youyin Jing a, Chunfa Zhang, “Particle swarm optimization for redundant building cooling heating and power system”, Applied Energy, No. 87, pp-3668-3679, (2010)

9- Hongbo Ren, Weijun Gao, Yingjun Ruan, “Optimal Sizing For Residential Chp System”, Applied Thermal Engineering, No. 28, pp-514-523, (2008)

10- Masood Ebrahimi, Ali Keshavarz, “Prime mover selection for a residential micro-CCHP by using two multi-criteria decision-making methods”, Energy and Building, No. 55, pp-322-331, (2012)

11- P.J. Mago, L.M. Chamra, “Analysis and optimization of CCHP systems based on energy, economical, and environmental considerations”, Energy and Buildings, No. 41, pp-1099-1106, (2009)

12- Masood Ebrahimi, Ali Keshavarz, “Sizing the prime mover of a residential micro-combined cooling heating and power (CCHP) system by multi-criteria sizing method for different climates”, Energy, No. 54, pp-291-301, (2013)

توجه به زیرمعیارها، سیکل CCHP همراه با مشارکت مخزن TES در تأمین آب گرم ساختمان (استراتژی D_{dem}) می‌باشد. البته اگر رژی و IRR استراتژی H_{dem} بیشتر از استراتژی D_{dem} می‌باشد، ولی با در نظر گرفتن مقادیر همه زیرمعیارها، استراتژی D_{dem} برتری روشنی نسبت به استراتژی H_{dem} دارد. شایان ذکر است زیرمعیارهای اقتصادی در شرایط کنونی کشور ایران به سوددهی نمی‌رسند و در این شرایط کمترین میزان ضرردهی در نظر گرفته شده است.

منابع

1- Giorgio Pagliarini, Sara Rainieri, “Modeling of a thermal energy storage system coupled with combined heat and power generation for the heating requirements of a University Campus”, Applied Thermal Engineering, No. 30, pp-1255-1261, (2010)

2- Sau Man Lai, Chi Wai Hui, “Integration Of Trigen-eration System And Thermal Storage Under Demand Uncertainties”, Applied Energy, (2009)

3- Masood Ebrahimi, Ali Keshavarz, “Climate impact on the prime mover size and design of a CCHP system for the residential building”, Energy and Buildings, No. 54, pp-283-289, (2012)

4- Kari Alanne, Niklas Soderholm, Kai Siren, Ian Beausoleil-Morrison, “Techno-Economic Assessment And Optimization Of Stirling Engine Micro-Cogen-eration Systems In Residential Buildings”, Energy Conversion And Management, No. 51, pp-2635-2646, (2010)

X.Q. Kong, R.Z. Wang, X.H. Huang, “Energy Effi-