تحلیل اقتصادی مولدهای کوچک نیروگاهی تولید همزمان گرما و برق

سعید نجفی‌زاده، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کاشان
s_najafi_mechanik@yahoo.com

احمد فخار، استادیار دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کاشان
ahmfakhar2003@yahoo.com

چکیده

امروزه به‌دلیل رشد سریع جمعیت و کاهش منابع سوخت فسیلی نیاز روزافزون به انرژی به‌شدت احساس می‌شود و بجاست از سوخت‌های جایگزین و روش‌های پربازده جهت تأمین انرژی استفاده گردد. به‌خصوص اگر روش‌های مذکور، از جمله روش تولید همزمان گرما و برق[1] دارای حداکثر بازده ۹۰ درصد بوده که در مقایسه با دیگر روش‌ها، از جمله نیروگاه‌های متمرکز، مقداری قابل ملاحظه می‌باشد. این نوع مولدهای برق مقیاس‌کوچک در محل اتصال به شبکهٔ سراسری حداکثر تا ظرفیت ۲۵ مگاوات ظرفیت عملی اتصال داشته، بنا بر مطالعات صورت‌گرفته بازدهی ترکیبی معادل ۱/۵ برابر متوسط بازده نیروگاهی دارند. در این مقاله، با توجه به مطالعات انجام‌شده و نتایج حاصل از برخی مقالات این نتیجه حاصل شده است که با فروش برق در یک دورهٔ سه‌ساله هزینهٔ سیستم مستهلک می‌شود و از سال سوم به بعد به سوددهی می‌رسد. در طرح دیگر، یک مجموعهٔ ساختمانی با ۴۲۰۰ آپارتمان برای بار پیک، حداقل به یک مولد برق پنج مگاواتی نیاز دارد. در محاسبهٔ سرمایه‌گذاری اولیهٔ آپارتمان، اگر بازیافت گرما، آب گرم ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد در نظر گرفته شود و شبکهٔ آب گرم و پمپاژ آن را نیز مد نظر قرار دهیم، سهم هر واحد مسکونی در مقایسه با قیمت کل ساختمان رقم ناچیزی خواهد شد.

واژگان کلیدی: تولید همزمان گرما و برق، مولد مقیاس‌کوچک، نیروگاه برق، شبکهٔ سراسری

مقدمه

امروزه با رشد روزافزون صنعت و فناوری، مصرف انرژی روبه افزایش و منابع انرژی روبه کاهش است. از این‌رو جا دارد که در مصرف منابع انرژی برنامه‌ریزی مدونی با هدف بهبود بهره‌وری انرژی صورت گیرد و راه‌کارهای صحیحی برای افزایش بازده تولید برق ارائه شود. از جملهٔ این راه‌کارها مولدهای مقیاس‌کوچک است که با استفاده از تولید همزمان برق و گرما بازدهی را تا ۹۰ درصد بالا

می‌برند. از میان انبوه مقالاتی که در این زمینه ارائه شده است، می‌توان به مقالهٔ پالسون و همکاران تحت شبیه‌سازی تولید احتمالاتی نیروگاه‌های همزمان برق و گرما اشاره کرد [۱]. هینلز نیز تولید همزمان برق و گرما را در صنعت و ساختمان‌ها مطرح نمود [۲]. هیگفام و همکارانش مدلسازی قابلیت اطمینان و در دسترس‌بودن سیستم‌های همزمان برق و گرما را بررسی کردند [۳] و نهایتاً لیـو بهینه‌سازی دو سیستم همزمان برق و گرما و نیروگاه بادی را انجام داد [۴]. در این مقاله طرح توجیهی یک مولد برق پنج مگاواتی برای تأمین برق و گرما یک مجموعهٔ ساختمانی آمده است.

مولد مقیاس‌کوچک

مولد مقیاس‌کوچک، که به اختصار مولد نیز نامیده می‌شود، مجموعه‌ای از دستگاه‌ها و تأسیسات به‌صورت یک واحد تولید برق است که بهره‌برداری از آن به‌صورت متصل به شبکهٔ توزیع محلی از نظر فنی امکان‌پذیر بوده و ظرفیت عملی تولید آن در محل اتصال به شبکهٔ توزیع از ۲۵ مگاوات بیشتر نیست. تولید پراکنده[۲] یا به‌عبارت دیگر بهره‌گیری از مولد مقیاس‌کوچک راه‌حل جایگزین برای تولید برق در کنار روش‌های سنتی است که به ارتقای سطح سیستم قدرت از لحاظ قابلیت اطمینان و کیفیت توان و بازدهی منجر می‌شود. تجدید ساختار سیستم قدرت در کنار توسعهٔ فناوری مولد مقیاس‌کوچک سبب به‌صرفه بودن تولید برق در محل مصارف بزرگ همچون کارخانه‌ها، بیمارستان‌ها، هتل‌ها و مجتمع‌های تجاری اداری و مسکونی شده است.

موتورهای احتراق داخلی[۳] از جمله متداول‌ترین و اقتصادی‌ترین مولدهای مقیاس‌کوچک‌اند (شکل ۱). این مولدها پایهٔ گازسوزند و با توجه به پیشرفت فناوری در این زمینه، امروزه دارای بازده و عمر بالایی هستند. فضای مورد نیاز برای نصب آنها نیز کوچک و مدت زمان لازم برای بهره‌برداری از آنها کوتاه است. با توجه به مزایای این مولدها و در کنار آن قانون هدفمندی یارانه‌ها، فراوانی منابع گاز طبیعی در کشور و تسهیلات موجود جهت احداث مولدهای مقیاس‌کوچک، استفاده از تولید محلی برق با موتورهای احتراق داخلی توسط بخش خصوصی مورد استقبال قرار گرفته است. توجیه اقتصادی این طرح‌ها بسیار مناسب و بازگشت سرمایهٔ آن در حدود چهار سال است. به‌همین دلیل علاقهٔ وافری برای ورود سرمایه‌گذار ایجاد کرده است. همچنین دولت و وزارت صنعت، معدن و تجارت نیز سیاست‌های حمایتی مناسبی جهت حصول اطمینان سرمایه‌گذار برای ورود به این صنعت مصوب و اجرایی کرده است.

امروزه تولید پراکندهٔ برق از جمله راه‌کارهای صنعت برق در کشورهای پیشرفته تلقی می‌شود؛ روشی که میزان اتکا به شبکه‌های طولانی برق را کاهش داده است. تولید پراکندهٔ برق نه‌تنها از نظر اقتصادی هزینهٔ نیازی ندارد، بلکه به‌دلیل کاهش اتلاف شبکهٔ انتقال و توزیع، کاهش نیاز به ظرفیت ذخیرهٔ تولید و در صورت اتصال به شبکه به‌دلیل افزایش پایداری شبکه، هزینهٔ تمام‌شدهٔ برق را به‌صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

شکل ۱. موتورهای احتراق داخلی

از جمله مولدهای مقیاس‌کوچک متداول و مقرون به‌صرفه‌اند

مولد تولید همزمان برق و گرما

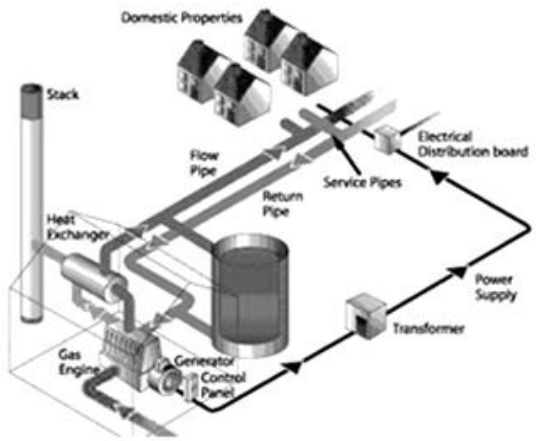
فناوری تولید همزمان برق و گرما با نام اختصاری CHP نیز شناخته می‌شود. این فناوری برآمده از ایدهٔ نیروگاه سیکل ترکیبی است. مولدی که اتلاف گرمای آن مستقیماً (همچون استفاده از دود و هوای خروجی در گلخانه یا کوره

و نظایر آن) استفاده شده و یا برای تولید آب گرم و بخار یا دیگر کاربردها بازیافت می‌شود و بازدهٔ الکتریکی مؤثر آن بیش از یک‌ونیم برابر متوسط بازدهی نیروگاهی است. این فناوری جدید می‌تواند هزینهٔ انرژی را ۴۰ درصد کاهش دهد و سبب افزایش بازدهٔ تولیدات پراکنده تا بیش از ۸۵ درصد شود. بازدهی بالای سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما سبب می‌شود تا تولید دی اکسید کربن و سایر آلاینده‌ها همچون ترکیبات گوگردی و اکسیدهای نیتروژن را تا ۵۰ درصد کاهش و بازدهٔ تولید انرژی را بیست درصد افزایش دهد. این در حالی است که اجرای سیستم تولید همزمان برق و گرما تنها افزایش بسیار اندکی در هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه دارد و سرمایه‌گذاری در آن در کمتر از چهار سال بازمی‌گردد. در خصوص به‌کارگیری این سیستم در ساختمان‌ها، با توجه به اینکه برای استفاده از گرما تولیدی در یک واحد تولید همزمان برق و گرما تجهیزات کمتری در هر ساختمان مورد نیاز است، لذا هزینه‌های تعمیرات و نگه‌داری تجهیزات نیز کمتر خواهد شد و استفاده هرچه بیشتر از فضای ساختمان را به‌همراه خواهد داشت.

مولد تولید همزمان برق و گرما مزایای بسیاری نسبت به تولید جداگانهٔ برق و گرما فراهم می‌کند. این مزایا شامل بهبود بهره‌وری سوخت، هزینه‌های پایین‌تر برای انرژی، بهبود کیفیت توان و قابل اعتماد بودن، امکان پیش‌بینی هزینه‌های انرژی، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، کاهش تراکم شبکهٔ انتقال و توزیع سرمایه‌گذاری، کاهش آسیب‌پذیری سیستم در برابر خطرات امنیتی، کوتاه‌تر کردن مدت زمان نصب و راه‌اندازی در مقایسه با نیروگاه‌های متمرکز، کاهش تلفات در خطوط انتقال نیرو، بهینه‌سازی منابع کمیاب گاز طبیعی برای بهبود بخشیدن به قیمت گاز و عرضهٔ آن، پشتیبانی از فناوری پیشرفته و پشتیبانی از رقابت در ساختار صنعت برق می‌باشد.

فناوری موجود، که در سیستم‌های تولید همزمان استفاده می‌شود، به شش دستهٔ موتورهای رفت‌وبرگشتی[۴]، توربین‌های کوچک صنعتی (یک تا چهل مگاوات)، میکروتوربین‌ها، توربین‌های بخار کوچک، پیل سوختی و نهایتاً موتورهای استرلینگ تقسیم می‌شوند.

سیستم‌های تولید همزمان در صنایع گوناگون، خصوصاً صنایعی که در طول سال به برق و گرمای فراوان احتیاج دارند - مانند کارخانجات تولید مواد غذایی، تولید آب شیرین، کاغذسازی، صنایع شیمیایی، سرامیک‌سازی، نساجی و داروسازی - بسیار سودمند است. در عین‌حال قابلیت دسترسی فراوان و محدودهٔ وسیع انتخاب، سبب شده است تا این فناوری در بخش‌های اقتصادی، عمومی و مسکونی از قبیل هتل‌ها، بیمارستان‌ها، دانشگاه‌ها و مدارس، فروشگاه‌های بزرگ، ساختمان‌های مسکونی، نفوذ کند. در این سیستم از یک توربین به‌عنوان تولیدکنندهٔ انرژی الکتریکی و از یک بویلر بازیافت گرما که آب گرم و یا بخار مورد استفاده را تولید می‌کند استفاده می‌شود. یک طرح از به‌کارگیری سیستم تولید همزمان برق و گرما در ساختمان‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲. به‌کارگیری سیستم تولید همزمان برق و گرما در ساختمان‌ها

طرح توجیهی اقتصادی برای مولد پنج مگاواتی

برای این منظور، ظرفیت یک مگاوات محاسبهٔ پایه‌ای از جهت میزان سرمایه‌گذاری و هزینه‌های متغیر، که شامل تعمیرات اساسی و نیمه‌اساسی و قطعات مصرفی است،

بررسی و سپس دورهٔ بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود. میزان سرمایه‌گذاری ثابت: به ازای هر مگاوات مولد به‌طور متوسط به ۶۰۰ میلیون تومان بودجه جهت سرمایه‌گذاری در خرید ماشین‌آلات نیاز است. از طرفی هزینهٔ اتصال به گاز و اتصال به شبکه و خرید زمین و ساختمان و تأسیسات برای یک نیروگاه کوچک پنج مگاواتی سه میلیارد تومان خواهد شد. میزان تولید برق ۸۰۰۰ ساعت در سال است. یک نیروگاه پنج مگاواتی در سال ۳۶۰۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت برق تولید می‌کند. طبق قرارداد، اگر خرید تضمینی برق از قرار کیلووات ساعتی ۳۸ تومان با نرخ مصوب سال ۱۳۸۹ محاسبه شده و هزینهٔ متغیر را برای یک کیلووات ساعت برق ۷ تومان به‌دست آوریم - که مشروح آن در ذیل آمده است - سود به ازای هر کیلووات ساعت از قرار کیلوواتی ۳۱ تومان خواهد شد. لذا سود خالص سالیانه از فروش برق تولیدی معادل ۳۶۰۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت از قرار کیلوواتی ۳۱ تومان برابر ۱۱۱۶۰۰۰۰۰۰ تومان خواهد شد که این رقم فقط از فروش برق به‌دست می‌آید. حال اگر محاسبهٔ بازیافت گرما از مولد را حساب کنیم، رقم بیشتری به‌دست می‌آید. از طرفی تنها با فروش برق و سود بیش از یک میلیارد تومان دورهٔ بازگشت سرمایه‌گذاری ثابت که سه میلیارد تومان بوده است به کمتر از سه سال برمی‌گردد که از جهت توجیه اقتصادی رقم بسیار خوبی می‌باشد.

محاسبهٔ هزینهٔ متغیر برای تولید یک کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاه

ظرفیت: یک مگاوات (بار پایه ۹۰۰ کیلووات)

دورهٔ تعمیرات اساسی: ۶۰۰۰۰ ساعت

دورهٔ تعمیرات نیمه‌اساسی: ۳۰۰۰۰ ساعت

حجم سوخت مصرفی: ۲۴۰ متر مکعب در ساعت

خروج اضطراری: ۱۲۵۰ ساعت

هزینهٔ سرویس‌کاری: ۳۰۰۰۰ یورو (زمان مورد نیاز: چهار ساعت که در دورهٔ تعمیرات اساسی ۶۰۰۰۰ ساعته ۴۸ بار اتفاق می‌افتد)

هزینهٔ تعمیرات نیمه‌اساسی: ۸۰۰۰ یورو (زمان مورد نیاز: پنج روز در هر نوبت که هر ۳۰۰۰۰ ساعت یکبار اتفاق می‌افتد)

دستمزد بهره‌برداری: ماهیانه ۹۰۰۰۰۰۰ ریال

هزینهٔ قطعات و مواد مصرفی: ۱۱۰۰۰۰ یورو

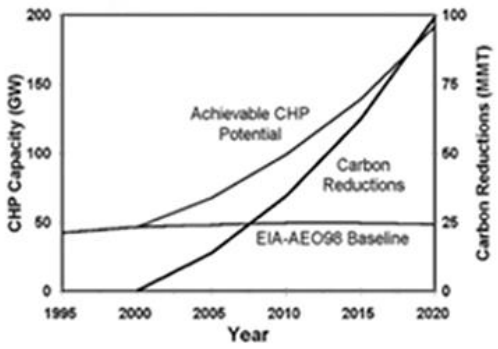
در دورهٔ مورد نظر هزینهٔ متغیر معادل مجموع هزینه‌های تعمیرات و مواد مصرفی ۲۲۶۵۷۰۰۰۰ تومان، سوخت ۶۹۸۳۷۶۰۰ تومان و بهره‌برداری ۷۵۰۰۰۰۰۰ تومان (حق‌الزحمهٔ پرسنل طی تعمیرات اساسی) است که اگر بر انرژی قابل دسترس دوره؛ ۵۲۳۸۰۰۰ تومان، تقسیم شود هزینهٔ متغیر به ازای هر کیلووات ساعت ۷ تومان به‌دست خواهد آمد. انرژی قابل دسترس از حاصل‌ضرب بار پایه ۹۰۰ در دورهٔ تعمیرات اساسی ۶۰۰۰۰ و ضریب ۹۷ درصد به‌دست آمده است.

سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما در اروپا و امریکا

در حال حاضر، سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما منبعی مهم برای ایالات متحدهٔ امریکا محسوب می‌شود. ظرفیت در بیش از ۳۷۰۰ تجهیز صنعتی و تجاری نشان‌دهندهٔ حدود ۸ درصد از ظرفیت تولید کنونی ایالات متحده است که به‌طور همزمان از برق و گرما استفاده شده است. از این ۸ درصد، ۸۷ درصد آن مربوط به صنایعی از قبیل صنایع مواد شیمیایی، پالایش، مواد غذایی، فلزات و جز این‌هاست و ۱۳ درصد باقیمانده نیز به بیمارستان‌ها، مدارس، دانشگاه‌ها، هتل‌ها، ساختمان‌های اداری و مجتمع‌های آپارتمانی مربوط می‌شود.

به‌عنوان نمونه‌ای از به‌کارگیری سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما در امریکا می‌توان به مؤسسهٔ فناوری مساچوستس[5] اشاره کرد که یک نیروگاه گازی ۲۲ مگاواتی با مصرف گاز طبیعی دارد و همزمان گرما خروجی توربین را جهت سیستم گرمایش به‌کار می‌برد. این سیستم ۱۸ درصد بازدهٔ بالاتری در مقایسه با تولید برق و بخار جداگانه دارد و

سبب شده است که ۴۵ درصد آلودگی محیط کاهش یابد.
امروزه در سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما با توجه به حجم گرما و قدرت مورد نیاز از سیستم نیروگاه‌های بخاری، نیروگاه‌های گازی یا دیزلی و سیکل‌های ترکیبی و حتی پیل‌های سوختی استفاده می‌شود.
در سال ۱۹۹۷ م، ده شرکت امریکایی برآن شدند جهت کاهش آلودگی تا سال ۲۰۱۰، ۳۶ گیگاوات انرژی از نوع سیستم تولید همزمان برق و گرما پیش‌بینی کنند. شکل ۳ مجموع سیستم‌های تولید همزمان برق و گرمای استفاده‌شده در امریکا را از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۰ نمایش می‌دهد.



شکل ۳. مجموع CHP استفاده‌شده در ایالات متحدهٔ امریکا

طی سالیان اخیر رویکرد گستردهٔ کاربرد سیستم‌های تولید همزمان گسترش چشم‌گیری پیدا کرده است. در حال حاضر ۲۰ درصد از برق مصرفی کشورهای عضو اتحادیهٔ اروپا با استفاده از این فناوری تأمین و پیش‌بینی می‌شود که بهره‌گیری چنین سیستم‌هایی در بخش ساختمان با پنج برابر رشد تا سال ۲۰۲۰ به‌عنوان بهترین روش تأمین انرژی برای مصرف‌کننده‌های ساختمانی و مسکونی در جهان معرفی شود.

جمع‌بندی

امروزه استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما بازده تولید را تا میزان ۹۰ درصد بالا برده است. این عدد در مقایسه با نیروگاه‌های متمرکز رقم قابل توجهی خواهد شد. مولد تولید همزمان، مولدی است که اتلاف گرمای آن مستقیماً در گلخانه یا کوره و نظایر آن استفاده و یا برای تولید آب گرم، بخار و یا کاربردهای دیگر بازیافت می‌شود و بازده ترکیبی آن بیش از یک‌ونیم برابر متوسط بازده نیروگاهی است.
در طرح توجیه اقتصادی میزان سرمایه‌گذاری و هزینه‌های متغیر بررسی و به این نتیجه رسیده شد که با فروش برق در یک دورهٔ سه‌ساله بازگشت سرمایهٔ اولیه اتفاق خواهد افتاد. در طرحی دیگر، یک مجموعهٔ ساختمانی با ۴۲۰۰ آپارتمان برای بار پیک، حداقل یک مولد برق ۵ مگاواتی لازم دارد. در محاسبهٔ سرمایه‌گذاری اولیهٔ هر آپارتمان، اگر بازیافت گرما برای تولید آب گرم ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد در نظر گرفته شود و شبکهٔ توزیع آب گرم و پمپاژ آن را در نظر بگیریم، سهم هر آپارتمان در مقایسه با قیمت ساختمان رقم ناچیزی خواهد شد.

مآخذ

[1] Palsson, H., K.P., "Probabilistic Production Simulation Including Combined Heat and Power Plants," E*lectric Power Systems Research*, 48, 1998, pp. 45-56.
[2] Hinnnells, M., "Combined Heat and Power in Industry and Buildings", *Energy Policy*, 36, 2008, pp. 4522-4526.
[3] Haghifm, K.P., "Reliability And Availability Modeling Of Combined Heat And Power (CHP) Systems", Electrical Power And Energy Systems, 33, 2011, pp. 385-393.
[4] Liu, X., "Optimization of Combined Heat and Power System with Wind Turbines", *Electrical Power and Energy Systems*, 43, 2011, pp. 1421-1426.

پی‌نوشت

1. Cogeneration or Combined Heat and Power
2. Distributed Generation
3. Internal combustion engines
4. Reciprocating engines
5. Massachusetts Institute of Technology