

امکان سنجی اقتصادی و محیط‌زیستی استفاده از سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت (mCHP) در منازل مسکونی تهران

اسماعیل قاسمی کفرودی^{۱*}، محمدرضا حبیبی^۱، محمد خالیدی سردشتی^۲، محمدعلی مانیان^۲، زینب سبحانی^۳

۱. عضو هیئت علمی، پردیس پژوهش و توسعه انرژی و محیط‌زیست، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۲. رئیس واحد پژوهش و فناوری، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، تهران، ایران

۳. پژوهشگر، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، تهران، ایران

۴. پژوهشگر، پردیس پژوهش و توسعه انرژی و محیط‌زیست، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: ghasemias@ripi.ir

مقاله‌ی علمی - پژوهشی

صفحه ۲۸ - ۴۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون انتشارات گازهای گلخانه‌ای و فاجعه زیست‌محیطی متأثر از انتشار کربن، همچنین مطابق با الزامات قانونی ابلاغ شده طی آیین‌نامه اجرایی کنوانسیون تغییر آب‌وهوا و پروتکل کیوتو و راهبرد ملی تغییر اقلیم، استفاده از سیستم‌هایی که به مدیریت کربن و کاهش انتشارات کمک می‌کند بسیار ضروری می‌باشد. امروزه سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت با توجه به کاهش تلفات، راندمان بالا و کمک به امنیت شبکه مورد توجه کشورهای توسعه‌یافته دنیا برای مصارف مسکونی قرار گرفته‌اند. برای استفاده از این سیستم‌ها در کشور ابتدا باید بازار هدف آن مشخص گردد، سپس با بررسی شرایط اقتصادی و ایجاد طرح‌های حمایتی به تشویق مصرف‌کنندگان مسکونی برای استفاده از این سیستم‌ها پرداخته شود.

بدین منظور در مقاله‌ی حاضر، ابتدا مناسب‌ترین استان برای استفاده از این گونه سیستم‌ها انتخاب و سپس با استفاده از میزان مصرف برق و گاز منازل مسکونی مقایسه‌ای بین سیستم رایج و استفاده از سیستم mCHP انجام گردید و با توجه به قیمت‌های واقعی تحلیل اقتصادی انجام و در ادامه میزان انتشار آلاینده‌های هوا برای هر دو سیستم مطالعه شد. نتایج نشان می‌دهد که استان تهران بهترین استان برای بازار این محصول می‌باشد. همچنین با توجه به تعرفه‌های کنونی استفاده از این سیستم می‌تواند پس از ۶ سال بازگشت سرمایه داشته باشد، از طرفی مقادیر تولید آلاینده‌های CO₂، CO، NO_x و SO_x از سیستم رایج به ترتیب ۶۰/۹، ۶۰/۳، ۵۴/۷ و ۱۰۰ درصد بیشتر از mCHP می‌باشد. نهایتاً با توجه به بحث‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، استفاده از سیستم تولید هم‌زمان با کمک سیاست‌های حمایتی ضمن بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای قدم مهمی در جهت توسعه کشور می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت، شاخص نسبت نگهداشت هزینه، تحلیل اقتصادی، انتشار آلاینده‌های هوا، گازهای گلخانه‌ای، مدیریت کربن

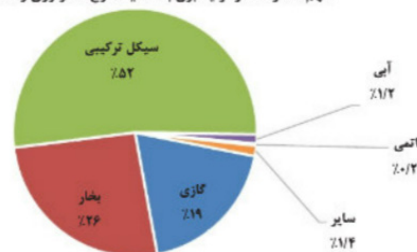
۱. مقدمه

با توجه به افزایش تقاضای انرژی در بخش مسکونی و صنعتی، به‌عنوان عامل حیاتی توسعه و پیشرفت کشورها،



علاوه بر به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر انرژی مانند خورشید، باد و زیست‌توده، استفاده بهینه از سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال‌سنگ و افزایش بازده مصرف آن‌ها مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۱]. در ایران با توجه به وفور منابع نفت و گاز، این سوخت‌ها بیشترین سهم را در تولید برق دارند. همان‌گونه که در (شکل ۱) نیز مشاهده می‌شود در سال ۱۴۰۰ با وجود به‌کارگیری انرژی هسته‌ای در نیروگاه اتمی بوشهر، ۹۷ درصد از برق کشور با استفاده از سوخت فسیلی تولید شده است [۲]. واضح است که بخش عمده میزان انرژی تولیدی نیروگاه‌ها در ساختمان‌های اداری و مسکونی استفاده می‌شود.

سهم مشارکت در تولید برق به تفکیک نوع تکنولوژی واحد در پاییز ۱۴۰۰



شکل ۱: سبد انرژی تولید برق کشور در سال ۱۴۰۰ [۲]

بخش عمده سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها برای تولید برق استفاده می‌شوند، این در حالی است که متوسط بازده عملکردی این نیروگاه‌ها در کل کشور در حدود ۳۶/۶ درصد است [۳]. در این نوع نیروگاه‌ها، مقدار زیادی انرژی حرارتی از طرق مختلف نظیر کندانسور، دیگ بخار، برج خنک‌کن، پمپ‌ها و سیستم لوله‌کشی موجود در تأسیسات، به هدر می‌رود. علاوه بر این، در شبکه‌های انتقال برق نیز حدود ۱۵ درصد از انرژی الکتریسیته تولیدی تلف می‌شود [۴]. همچنین هر یک از این نیروگاه‌ها به میزان قابل توجهی گازهای آلاینده و مخرب تولید می‌کنند.

یکی از روش‌های نوین برای مقابله با این مشکل، تولید پراکنده^۱ انرژی می‌باشد. سیستم‌های تولید پراکنده‌ی برق و حرارت باهدف بهینه‌سازی در مصرف انرژی، کاهش اتلافات ناشی از انتقال و توزیع انرژی الکتریکی در شبکه، کاهش آلودگی‌های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های بزرگ و نیز تأمین امنیت بیشتر شبکه به‌کار گرفته می‌شوند. یکی از روش‌های پرکاربرد در تولید پراکنده، استفاده

از واحدهای تولید هم‌زمان توان و حرارت^۲ است. در این واحدها از یک منبع سوخت برای تولید توان استفاده شده و در کنار آن از گرمای اتلافی بازمانده از این سیستم‌ها، برای مصارف گرمایشی، سرمایشی و بسیاری از فرایندهای صنعتی استفاده می‌شود. این کار نه تنها باعث بالا رفتن بازده سیستم (از دیدگاه قانون اول ترمودینامیک) می‌شود، بلکه کارایی آن (از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک) را نیز تا حد امکان بالا می‌برد. با این تفاسیر در آینده‌ای نزدیک که بازده بالای تولید انرژی نه یک انتخاب، بلکه یک الزام خواهد بود، استفاده از سیستم تولید توان و حرارت هم‌زمان بخشی از یک راه حل دراز مدت و پایدار می‌شود [۵]. در بخش مسکونی در کشورهای توسعه یافته بیشتر از ظرفیت‌های کم‌تر از ۵۰ کیلووات استفاده شده که به آن میکرو سی اچ پی^۳ گفته می‌شود. بخش تولید توان سیستم‌های میکرو سی اچ پی بر اساس تکنولوژی‌های متفاوتی طراحی و تولید می‌گردد: موتور احتراق داخلی، موتور استرلینگ، پیل سوختی، میکرو توربین و موتور بخار [۶، ۷].

مطالعات متعددی در زمینه‌ی کاربردها و همچنین امکان‌سنجی استفاده از این سیستم در دنیا انجام گرفته است. رن و گائو با امکان‌سنجی استفاده از سیستم تولید هم‌زمان در ساختمان‌های مسکونی در کشور ژاپن گزارش دادند که با استفاده از این سیستم می‌توان تا ۲۶ درصد در هزینه‌ی تولید انرژی صرفه‌جویی کرد و همچنین انتشار آلاینده‌ی کربن دی‌اکسید را نیز معادل کاهش مصرف انرژی می‌تواند کاهش دهد. [۸]. پاپیه و همکارانش در مطالعه‌ای با بررسی انواع مختلف سیستم‌های تولید هم‌زمان گزارش دادند که استفاده از موتور گازسوز عملکرد بهتری نسبت به سایر سیستم‌ها دارد اما برای استفاده‌ی همگانی از این سیستم نیاز است تا هزینه‌ی راه‌اندازی اولیه بیش از ۵۰ درصد کاهش یابد [۹]. بهاتاچاریا و همکاران استفاده از این سیستم را در ۶ کارخانه‌ی بزرگ کاغذسازی در ویتنام بررسی کرده و بازگشت سرمایه را در فاصله‌ی زمانی ۳ تا ۵ سال گزارش دادند [۱۰].

در ژاپن سیستم‌های mCHP در سال ۲۰۰۹ به بازار عرضه شد. در سال ۲۰۱۵ هیروشی ایتو مطالعاتی بر مبنای تحلیل اقتصادی و زیست‌محیطی انجام داد که نتایج تحلیل اقتصادی بازگشت سرمایه ۱۰ ساله و نتایج تحلیل زیست‌محیطی کاهش انتشار کربن تا ۱۹ درصد را نشان می‌دهد [۳۴].

1. Distributed Generation
2. Combined Heat and Power (CHP)
3. micro Combined Heat and Power (mCHP)





یوجونگ جونگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ ارزیابی چند معیاره روی ساختمان مسکونی دارای mCHP در کره جنوبی انجام دادند، نتایج نشان می‌دهد در صورت اعمال سیستم mCHP کل مصرف انرژی ۱۸٫۴ درصد، انتشار CO₂ حدود ۱۱٫۸ درصد و هزینه عملیات ۹٫۶ درصد کاهش می‌یابد؛ همچنین بازه بازپرداخت ۱۰ سال محاسبه شده است. [۳۵].

مهدی درزی و همکاران در سال ۲۰۲۱ بهینه‌سازی انرژی یک موتور mCHP را با استفاده از مدل‌سازی یک‌بعدی و سه‌بعدی انجام دادند. [۳۶].

لورنزو ماریو پاستوره و همکاران در خصوص نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه‌های برق و گاز بر میزان توجیه اقتصادی نیروگاه‌های mCHP مطالعه کردند. [۳۷].

ایگور کروو و همکاران تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و امکان‌سنجی اقتصادی mCHP با استفاده از سیستم‌های چرخه رانکین آلی (ORC) در زمینه‌های جغرافیایی مختلف را بررسی کردند. اثرات اقتصادی و اقلیمی در سه کشور با آب و هوا و شرایط بازار انرژی متفاوت، یعنی سوئد، بریتانیا و برزیل مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که پتانسیل نصب سیستم‌های ORC در سراسر جهان وجود دارد که هم از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه باشند و هم انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را کاهش دهند [۳۸].

کیونک وو و همکاران در شانگهای مطالعاتی برای بررسی عملکرد اقتصادی سیستم‌های mCHP برای کاربردهای مسکونی انجام دادند، نتایج نشان داد که تنها در صورتی که سه اقدام پیشنهادی (اعطای ۶۰ درصد از قیمت mCHP به‌عنوان وام بدون بهره، خرید برق مازاد از کاربران mCHP به قیمت ۲ برابر فروش و فروش گاز با ۶۰ درصد کاهش نرخ) به‌صورت هم‌زمان از طرف دولت انجام شود، سیستم mCHP از دیدگاه اقتصادی امکان‌پذیر است [۳۹].

در کشورمان ایران نیز مطالعات محدودی در این زمینه صورت گرفته است. ستاری و تیموری به بررسی اقتصادی استفاده از سیستم تولید هم‌زمان در مناطق آب و هوایی کشور پرداختند ایشان با بررسی چند استان با شرایط آب و هوایی مختلف گزارش دادند که اردبیل و بندرعباس به ترتیب بهترین و بدترین شرایط را برای نصب این سیستم‌ها دارند [۱۱]. قاسم‌زاده و همکاران به طراحی سیستم تولید هم‌زمان برای اقلیم آب و هوایی تهران پرداختند و گزارش دادند که در بهترین حالت این سیستم باعث صرفه‌جویی ۱۳ درصدی در مصرف سوخت و کاهش ۱۲ درصدی آلاینده‌ها

می‌گردد [۱۲]. فرخی و همکاران به تحلیل ترموآکونومیکی یک سیستم تولید هم‌زمان مقیاس کوچک بر پایه‌ی موتور دیزل پرداختند. ایشان گزارش دادند که بیشترین اتلاف انرژی در مبدل حرارتی رخ داده که دلیل آن فرآیند انتقال دما و اختلاف دمای زیاد مبدل است [۱۳]. چهارطاقی و عزیززاده عملکرد یک سیستم تولید هم‌زمان با پیل سوختی را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که با استفاده از این سیستم کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها به ترتیب ۳۴ درصد و ۲۵ درصد است [۱۴]. باقری و همکاران نیز تأثیر دمای محیط بر روی عملکرد مولد موتور گازسوز سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت را در اقلیم گرم و خشک مورد بررسی قرار دادند. ایشان گزارش کردند که در دمای بالای ۴۰ درجه به ازای هر ۵ درجه افزایش دما به‌طور تقریبی توانایی تولید مولد در حدود ۱۲ درصد کاهش می‌یابد [۱۵]. گلزار و همکاران به توسعه‌ی مدل بهبودیافته سیستم ترکیبی تولید هم‌زمان برق و گرمایش و سرمایش بر اساس پیل سوختی اکسید جامد با سناریوهای مختلف پرداختند [۱۶]. کبالاشکی به تعیین اندازه‌ی بهینه‌ی تجهیزات سیستم تولید ترکیبی سرمایش، حرارت و قدرت پرداخته و گزارش دادند که استفاده از سیستم تولید هم‌زمان با استفاده از موتور احتراق داخلی نسبت به دیگر فناوری‌ها بهترین عملکرد را داشته و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری آن هم مقرون‌به‌صرفه تر است [۱۷]. تقی‌پور و همکاران نیز به ارائه‌ی یک مدل ترکیبی برای اولویت‌بندی سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و برودت با در نظر گرفتن اهداف توسعه‌ی پایدار پرداخته و در مورد بیمارستان طالقانی تهران مطالعه‌ی موردی انجام دادند. نتایج این تحلیل نیز نشان‌دهنده‌ی این مهم است که موتور پیستونی گازسوز بهترین انتخاب برای این سیستم از میان گزینه‌های مورد بررسی است [۱۸].

طبق مطالعات حسینی و همکاران سیستم قدرت به بهره‌برداری از ریزشبکه‌های مسکونی تمایل دارد. برای این منظور، ایشان برنامه‌ریزی عملیات مبتنی بر یک ریزشبکه مسکونی متشکل از ترکیبی از حرارت و برق (CHP)، مخزن ذخیره حرارت و دیگ بخار انجام دادند و عنوان کردند ضمن اینکه امکان فروش برق مازاد برای ایجاد درآمد به شبکه بالادست فراهم است، از کارکردهای هدف این کار بحث کاهش CO₂ در هوا است [۴۱].

از آنجایی که اقدام عملی در زمینه‌ی راه‌اندازی و نصب این سیستم در کشورمان نیازمند بررسی اقتصادی و

زیست‌محیطی است. در این مطالعه، ابتدا به بررسی بازار mCHP در کشور پرداخته سپس با استفاده از شاخص‌های مختلف اقتصادی میزان سودآوری استفاده از این سیستم‌ها به بحث گذاشته می‌شود و در نهایت مباحثی پیرامون انتشار آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به سامانه‌ی تولید هم‌زمان برق و حرارت مربوط به پروژه‌ای در پژوهشگاه صنعت نفت ایران است که در آن یک سیستم تولید هم‌زمان ۱۴ کیلوواتی با موتور احتراق داخلی گازسوز ساخته شده است و در مرحله تجاری‌سازی می‌باشد که مقاله حاضر از نتایج این پروژه می‌باشد.

۲. مروری بر ادبیات تحقیق

بازار mCHP ها به تدریج در حال شکل گرفتن است. ژاپن، آمریکای شمالی و فرانسه از کشورهای پیشتاز در به‌کارگیری این سیستم می‌باشند [۱۹]. با توجه به اینکه mCHP یک محصول جدید (در بازار جهانی و به‌طور خاص در بازار ایران) است. ابتدا باید استانی در کشور انتخاب کرد که از نظر پارامترهای مختلف اولویت و برتری نسبت به سایر استان‌ها برای نصب و راه‌اندازی این سیستم‌ها را داشته باشد. به همین دلیل در این بخش با بررسی عوامل مهم بازار پذیری محصول به انتخاب استان هدف پرداخته شده است.

۲-۱. جمعیت شهری و تراکم جمعیت

بررسی جمعیت شهرنشین هر استان به حیث تمکن مالی و میزان پوشش‌دهی شبکه برق و گاز و همچنین تمایل به کاهش هزینه‌های زندگی نسبت به بررسی جمعیت کل استان بیشتر مورد توجه قرار خواهد گرفت، لذا گام نخست بررسی جمعیت شهرنشین هر یک از استان‌های کشور خواهد بود. بر اساس آمار ارائه شده از سازمان ملی آمار ایران برای سال ۱۳۹۵، استان تهران با داشتن حدود ۲۱ درصد از جمعیت شهری کل کشور در رده‌ی اول این فهرست قرار دارد [۲۰].

۲-۲. ساختمان‌های مسکونی با مترآژ بالا

با بررسی مزایای mCHP می‌توان استنتاج کرد که این سیستم برای خانه‌های بزرگ‌تر از دو منظر دارای منافع اقتصادی بیشتری است: بازگشت سرمایه مربوط به هزینه خرید اولیه و اولویت هزینه کرد. چراکه خانه‌های بزرگ‌تر به‌طور طبیعی منابع بیشتری برای سرمایه‌ی گرمایش و سرمایش استفاده می‌کنند و سیستم‌های گرمایش و سرمایش در

این‌گونه خانه‌ها اغلب برای مالکان آن‌ها سفارشی شده^۱ هستند. به‌علاوه مالکان خانه‌های بزرگ معمولاً تمایل بیشتری برای ماندن در خانه خود نسبت به خانه‌های کوچک (که برای مالکان خود بیشتر ماهیت انتقالی دارند و در واقع خانه‌های شروع هستند) را دارند. بر همین اساس با مراجعه به اسناد و مدارک می‌توان یافت که استان تهران با بیش از ۱۱۰۰۰۰ واحد آپارتمانی با مترآژ بیش از ۸۰ مترمربع در مقام اول بین استان‌های کشور قرار دارد [۲۱].

۳-۲. سطح درآمد خانوار

با توجه به نوین بودن فناوری تولید هم‌زمان گرما و برق، بر اساس الگوی پذیرش فناوری و مبانی رفتاری مصرف‌کننده، این محصول در ابتدای عرضه قیمت بالایی دارد و این‌گونه مفروض است که پذیرندگان اولیه محصولات تولید هم‌زمان گرما و برق به‌احتمال قوی دارای درآمد بالاتر از میانگین هستند. متوسط درآمد ماهیانه‌ی خانوار شهری بر اساس آمار سال ۱۳۹۹ در حدود ۳۵۰ دلار بوده است. که در این بین استان تهران با متوسط درآمد ماهیانه‌ی ۴۷۵ دلار، مقام اول را بین سایر استان‌های کشور دارا می‌باشد [۲۲].

۴-۲. مصرف انرژی و سوخت

بانگاهی به استان‌هایی با بیشترین مصرف انرژی می‌توان گفت استان تهران با ۳۱ هزار گیگاوات ساعت بیشترین مصرف برق را دارد که ۳۰ درصد آن در بخش مصرف خانگی به مصرف می‌رسد. همچنین این استان با حدود ۱۵ میلیارد مترمکعب مصرف در سال بیشترین مصرف گاز را نیز در بین سایر استان‌ها دارد که حدود ۶۵ درصد آن در بخش خانگی مصرف می‌شود [۳].

۵-۲. بازار هدف

با بررسی شاخص‌های ذکر شده و همچنین نگاهی به گرمایش و سرمایش مورد نیاز استان‌های مختلف کشور می‌توان گفت استان تهران بالاترین پتانسیل برای نصب و راه‌اندازی سامانه‌ی تولید هم‌زمان برق و حرارت را دارد از این رو در ادامه با انتخاب این استان به‌عنوان استان هدف به بررسی و ارزیابی شاخص‌های اقتصادی و محیط زیستی پرداخته شده است.

۳. معرفی شاخص‌های ارزیابی اقتصادی و محیط زیستی

بحث‌های اقتصادی یکی از مهم‌ترین ملاحظات برای راه‌اندازی سیستم‌های مختلف است. ارزیابی اقتصادی

1. Customized



اطلاعاتی درباره‌ی بهترین نحوه‌ی استفاده از منابع مختلف (سوخت، سرمایه و ...) برای برطرف کردن نیاز مشتریان را در اختیار متخصصین قرار می‌دهد. سامانه‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت عمدتاً هزینه‌ی سرمایه‌گذاری بالاتری نسبت به سیستم‌های رایج انرژی دارند اما در طرف مقابل هزینه‌های جاری آن‌ها نسبت به سیستم‌های رایج که برق را از طریق شبکه برق‌رسانی و بار گرمایی را از طریق بویلرهای گازسوز تأمین می‌کند به مراتب پایین‌تر هستند. در ادامه با بررسی معادلات حاکم به بررسی و مقایسه‌ی این سامانه با سیستم‌های رایج پرداخته شده است.

۳-۱. معادلات حاکم

در مطالعه‌ی حاضر یک شاخص اقتصادی مهم، نسبت نگهداشت هزینه^۱ برای بررسی بیشتر به کار گرفته شده که به صورت رابطه‌ی یک تعریف می‌شود:

$$CSR = \frac{C_{Con} - C_{CHP}}{C_{Con}} \times 100 \quad (1)$$

که در آن C_{CHP} و C_{Con} به ترتیب هزینه‌ی انرژی سالانه برای سیستم‌های رایج و سیستم تولید برق و حرارت هم‌زمان می‌باشند که به صورت روابط ۲ و ۳ تعریف می‌شوند.

$$C_{Con} = C_{Con}^{Ele} + C_{Con}^{Gas} \quad (2)$$

$$C_{CHP} = C_{CHP}^{Inv} + C_{CHP}^{Ele} + C_{CHP}^{Gas} \quad (3)$$

که در روابط فوق، C_{Con}^{Ele} و C_{Con}^{Gas} به ترتیب هزینه‌ی سالانه‌ی خرید برق و مصرف گاز برای سیستم رایج در کشور می‌باشند. همچنین به طور مشابه، C_{CHP}^{Inv} ، C_{CHP}^{Ele} و C_{CHP}^{Gas} به ترتیب هزینه‌ی سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری، هزینه‌ی خرید برق از شبکه (یا فروش به آن) و هزینه‌ی خرید گاز شهری برای سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت هستند [۸]. لازم به ذکر است که نحوه‌ی محاسبه‌ی این مقادیر در بخش بعدی به تفصیل بیان شده است.

در کنار بحث‌های اقتصادی، تأثیرات زیست‌محیطی یک سیستم نیز در ارزیابی استفاده از آن نقش مهمی را ایفا می‌کند. به همین منظور در ادامه روابط حاکم برای به دست آوردن میزان آلاینده‌های منتشر شده از هر دو سیستم رایج استفاده شده و سامانه‌ی تولید هم‌زمان برق و حرارت معرفی شده‌اند.

$$Em_{CON} = Em_{CON}^{Ele} + Em_{CON}^{Gas} \quad (4)$$

$$Em_{CHP} = Em_{CHP}^{Ele} + Em_{CHP}^{Gas} \quad (5)$$

که در آن Em_{CON} و Em_{CHP} میزان آلاینده‌های منتشر شده توسط سیستم رایج و سیستم mCHP است که برابر است با مجموع آلاینده‌های ناشی از تولید برق و گاز می‌باشد. برای مشخص شدن میزان تولید هر یک از آلاینده‌ها در طی فرآیند از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$Em_{CON}^{Ele} = E_{ele} \times EmI_{ele} \quad (6)$$

$$Em_{CON}^{Gas} = E_{CON}^{gas} \times EmI_{gas} \quad (7)$$

$$Em_{CHP}^{Ele} = (E_{ele} - E_{ele-chp}) \times EmI_{ele} \quad (8)$$

$$Em_{CHP}^{Gas} = E_{CHP}^{gas} \times EmI_{gas} \quad (9)$$

در این معادلات E_{ele} و $E_{ele-chp}$ به ترتیب برق مورد نیاز سالانه و برق تولیدی توسط سیستم تولید هم‌زمان، E_{CON}^{gas} و E_{CHP}^{gas} مقدار گاز مورد نیاز سالانه به ترتیب در سیستم رایج و تولید هم‌زمان و EmI_{ele} و EmI_{gas} نیز به ترتیب شدت تولید آلاینده‌ها برای تولید برق و احتراق گاز هستند که مقادیر آن در (جدول ۱) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که این مقادیر از مراجع ذکر شده و با استفاده از روش موازنه‌ی جرم بر اساس میزان مصرف سوخت محاسبه شده‌اند [۲۳ و ۲۴].

جدول ۱: میزان تولید معادل گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های مختلف در فرآیند احتراق گاز و تولید برق

کمیت آلاینده	$EmI_{gas} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ [۲۳ و ۲۴]	$EmI_{ele} \left(\frac{kg}{kwh} \right)$ [۲۵]
CO ₂	۱/۹۹۸	۰/۷۱۵
CO	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۴
NO _x	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۰۵
SO _x	-	۰/۰۰۳۳

۳-۲. مقادیر اولیه و الگوریتم حل

برای محاسبه کمیت‌ها از روابط مطالعه شده ابتدا لازم است مقادیر معلوم مشخص گردند، از این رو در این بخش به معرفی مقادیر اولیه پرداخته شده است. لازم به ذکر است که مقادیر مشخص شده مربوط به پروژه‌ی mCHP می‌باشد که پژوهشگاه صنعت نفت مجری پروژه مذکور است. برای بررسی وضعیت اقتصادی مقاله در محیط نرم‌افزار متلب کد نویسی انجام شده است و برای برآورد میزان انتشار آلاینده‌های گازهای گلخانه‌ای، با توجه به مقادیر کاهش مصرف انرژی

1. Cost Saving Ratio (CSR)

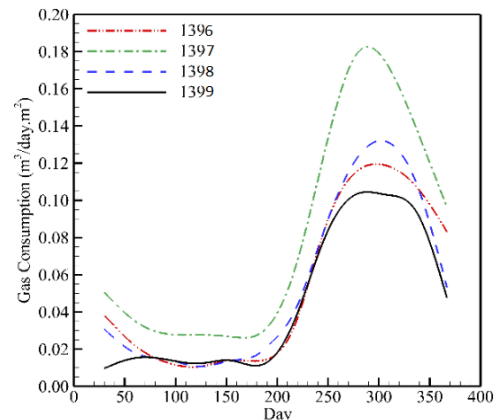
و سوخت از نرم افزار اسپین هایسیس استفاده گردیده است. قیمت‌ها بر مبنای سال ۱۴۰۰ می‌باشد. با توجه به اینکه دستگاه تجاری شده است و به صورت انبوه تولید می‌گردد قیمت آن واقعی و مبنای تجاری آن می‌باشد. در (جدول ۲) داده‌های مربوط به معادلات حاکم فهرست شده‌اند:

جدول ۲: فرضیات و مقادیر اولیه

مقدار	واحد	کمیت
۸۰	%	بازده بویلر سیستم رایج [۱۱]
۳۰	%	بازده الکتریکی سامانه mCHP
۵۰	%	بازده گرمایی سامانه mCHP
۴۰۰	($\times 10^6$ RLS)	سرمایه‌گذاری اولیه سامانه mCHP
۱۴	(kw)	ظرفیت تولید برق سامانه mCHP
۱۵	(h/day)	کارکرد سامانه mCHP
مطابق تعرفه‌ی پلکانی قبوض [۲۶]	(RLS/kwh)	قیمت برق خریداری شده از شبکه
۱۰۸۶	(RLS/kwh)	قیمت برق فروخته شده به شبکه [۲۷]
مطابق تعرفه‌ی پلکانی قبوض [۲۸]	(RLS/m ³)	بهای گاز مصرفی

۳-۳. الگوی گاز مصرفی در شهر تهران

با توجه به مطالعات بخش بازاریابی و دلایل توجهی در رابطه با عدم تمایل مالکان منازل مسکونی با زیربنای بالای ۸۰ متر، به منظور آگاهی از مصرف گاز در تهران ۸ ساختمان با زیربنای ۸۰ متر مربع به بالا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در (شکل ۲) میزان مصرف میانگین این ۸ ساختمان در چهار سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ آورده شده است.



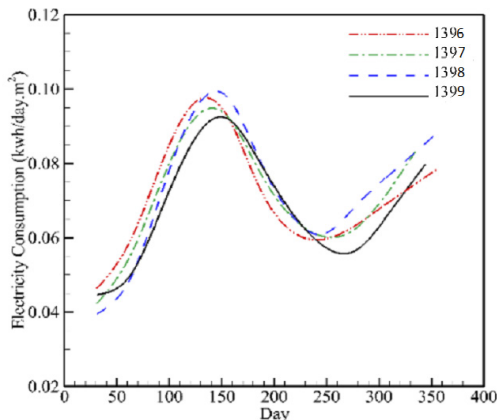
شکل ۲: تغییرات سالیانه‌ی مصرف متوسط گاز در تمامی ساختمان‌های انتخاب شده شهر تهران

با میانگین‌گیری از این چهار سال می‌توان متوسط مصرف گاز در روزهای مختلف سال را بر حسب نرمال مترمکعب بر روز در مترمتر مربع خانه به دست آورد. همان‌طور که مشاهده می‌شود حاصل ضرب سطح زیر این نمودار در مترمتر واحد مسکونی میزان مصرف خانگی گاز در طول یک سال برای ماه‌های مختلف (بر حسب مترمکعب) را نشان می‌دهد. نظر به تفاوت بهای گاز در شش ماهه‌ی اول و دوم سال، این مقادیر برای هر ماه جداگانه محاسبه شده و مبلغ کلی هزینه گاز از این طریق بدست آمده است. لازم به ذکر است که گاز مصرفی در بخش خانگی را می‌توان به دو بخش گرمایشی (آب گرم و گرمایش فضای خانه) و غیر گرمایشی (پخت و پز و ...) تقسیم کرد. همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد در این مطالعه هدف بخش گرمایشی مصرف گاز است. بنابر گزارش شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، بیشترین مصرف گاز در بخش خانگی به ترتیب مربوط به گرمایش ۷۰ درصد، آب گرم ۲۳ درصد و پخت و پز با سهم ۷ درصد است [۲۹]. بنابر این در فصول سرد و گرم به ترتیب ۹۳ و ۷۵ درصد از این گاز در بخش گرمایش مصرف می‌شود.

سامانه‌ی تولید هم‌زمان ۲۸ کیلووات حرارت در ساعت تولید کرده که جهت تولید این مقدار حرارت به‌طور متوسط باید حداقل ۳ مترمکعب گاز سوزانده شود، به بیان دیگر می‌توان مقدار گاز صرفه‌جویی شده را با این روند به دست آورد. در نتیجه برای سامانه‌ی تولید هم‌زمان میزان گاز مورد نیاز با مجموع گاز مورد نیاز برای گرمایش و آب گرم، به‌علاوه‌ی گاز مورد نیاز برای تولید برق مصرفی منهای مقدار گاز صرفه‌جویی شده از طریق تولید حرارت توسط سیستم برابر است.

۳-۴. الگوی برق مصرفی در شهر تهران

به‌منظور مطالعه قبوض برق مصرفی در تهران ۶ واحد آپارتمان با زیربنای ۸۰ متر مربع به بالا انتخاب شده‌اند. در (شکل ۳) مصرف متوسط سالیانه این واحدها برای ۴ سال متفاوت آورده شده است.



شکل ۳: تغییرات سالیانه‌ی مصرف متوسط برق در تمامی ساختمان‌های انتخاب شده شهر تهران

با میانگین گیری از داده‌های این نمودار می‌توان میزان مصرف ماهانه‌ی خانه‌هایی با مترهای متفاوت را به دست آورد سپس با استفاده از تعرفه‌های پلکانی قبوض برق، هزینه‌ی برق مصرفی کل به دست می‌آید. لازم به ذکر است، هزینه‌ی مرتبط با تولید برق در سامانه‌ی تولید هم‌زمان با دو سناریو در نظر گرفته شده است، حالت اول زمانی که برق مصرفی بیش‌تر از برق تولیدی توسط خود سیستم باشد در این صورت باید مقداری برق از شبکه نیز خریداری شود (رابطه ۱۰)، همچنین حالتی که برق تولیدی بیشتر از تقاضای مصرفی باشد، که در این حالت برق اضافی باید به شبکه فروخته شود (رابطه ۱۱).

$$C_{CHP}^{Ele-buy} = (E_{ele} - E_{ele-chp}) \times P_{rele} \quad (10)$$

$$C_{CHP}^{Ele-sell} = (E_{ele-chp} - E_{ele}) \times P_{rsell} \quad (11)$$

که در این روابط، E_{ele} برق سالانه‌ی مورد نیاز، $E_{ele-chp}$ برق سالانه‌ی تولیدی توسط سیستم mCHP، P_{rele} تعرفه‌ی بهای برق مصرفی (مطابق بهای پلکانی ارائه شده در قبوض است) و P_{rsell} بهای برق فروخته شده به شبکه می‌باشد.

با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام شده، برای محاسبه نسبت نگهداشت هزینه و میزان انتشار آلاینده‌ها، روابط (۱) تا (۱۱) باید حل گردد که بدین منظور الگوریتم آرایه شده در بخش بعدی پیشنهاد شده است و بر اساس این الگوریتم، برنامه کامپیوتری در محیط برنامه‌نویسی فرترن توسعه داده شده است.

۳-۳. الگوریتم حل

روند حل در برنامه‌ی کامپیوتری نوشته شده به شرح زیر است:

۱. وارد کردن مقادیر اولیه (مترها و تعداد واحد مسکونی، راندمان حرارتی و الکتریکی mCHP، راندمان حرارتی بویلر و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری و ...)

۲. محاسبه‌ی میزان برق مورد نیاز (E_{ele}) و گاز مصرفی (E_{gas}) هر واحد بر اساس (اشکال ۲ و ۳)

۳. محاسبه‌ی بهای برق و گاز مصرفی برای هر واحد طبق سیستم رایج (بر اساس تعرفه‌ی پله‌ای قبوض) و نهایتاً محاسبه‌ی هزینه‌ی برق و گاز کلی ساختمان C_{CON}^{Ele} و C_{CON}^{Gas}

۴. محاسبه‌ی مقدار برق ($E_{ele-chp}$) و حرارت تولیدی توسط سامانه‌ی mCHP

۵. محاسبه‌ی میزان گاز مورد نیاز برای تولید برق در سامانه mCHP ($E_{CHP}^{gas for ele}$) و همچنین میزان گاز صرفه‌جویی شده بر اساس حرارت تولیدی توسط این سامانه ($E_{CHP}^{gas saved}$).

۶. محاسبه‌ی میزان گاز مورد نیاز برای حالتی که از سامانه‌ی mCHP استفاده می‌شود به صورت ($E_{CHP}^{gas} = E_{CON}^{gas} + E_{CHP}^{gas for ele} - E_{CHP}^{gas saved}$)

۷. محاسبه‌ی بهای گاز مصرفی برای هر واحد (بر اساس تعرفه‌ی پله‌ای قبوض) و نهایتاً محاسبه‌ی هزینه‌ی گاز کلی ساختمان C_{CHP}^{Gas}

۸. محاسبه‌ی میزان برق مورد نیاز و هزینه‌ی برق خریداری شده یا فروخته شده به شبکه C_{CHP}^{ele}

- اگر میزان برق تولیدی توسط سامانه بیشتر از برق مورد نیاز بود ($E_{ele-chp} > E_{ele}$) برق به شبکه سراسری با بهای تعیین شده فروخته می‌شود و در غیر این صورت برق مورد نیاز بر اساس تعرفه خریداری خواهد شد.

۹. محاسبه‌ی نسبت نگهداشت هزینه بر اساس داده‌های بدست آمده.

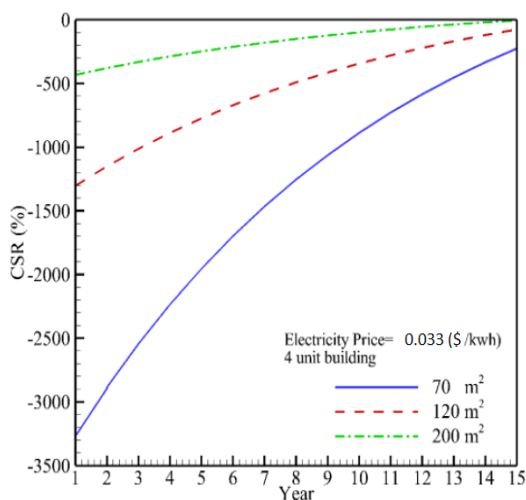
۱۰. محاسبه‌ی میزان آلاینده‌های منتشر شده در هر دو حالت مفروض.

۴. نتایج و تفسیر

در این بخش ابتدا نتایج بدست آمده از تحلیل اقتصادی دو سیستم مورد مطالعه آورده شده و سپس میزان انتشار آلاینده‌ها در هر دو سیستم مورد بحث قرار گرفته است. لازم به ذکر است که تمامی محاسبات انجام شده در این مطالعه برای ساختمان‌هایی با مترهای متفاوت و تعداد واحدهای مختلف در استان تهران صورت گرفته است. همچنین فرض بر این است که برق تولیدی توسط سامانه‌ی تولید هم‌زمان توسط واحد مسکونی به مصرف رسیده و مقدار مورد نیاز آن (طبق تعرفه) از شبکه خریداری یا میزان اضافی به فروش می‌رسد. با توجه به اینکه در حال حاضر هزینه معین و یا مالیات کربن برای آثار محیط زیستی آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای تعیین نشده است و فقط مقادیر انتشار آن مشخص شده است و از طرفی چون بازار خرید تجهیز عموم مردم می‌باشد، بحث اقتصادی ملموس‌تر می‌باشد.

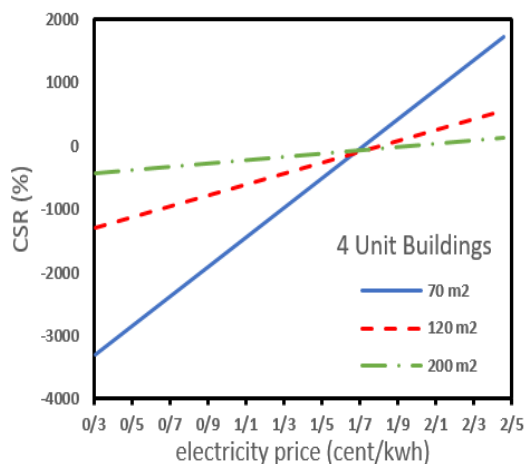
۴-۱. تحلیل اقتصادی

با هزینه‌ی سیستم رایج برابری نمی‌کند. این نتیجه نشانگر لزوم تغییر تعرفه‌ی برق خریداری شده از دارندگان سیستم تولید هم‌زمان برای تشویق آن‌ها در استفاده از این سامانه است.



شکل ۵: تغییرات نسبت نگهداشت هزینه برحسب سال برای تعرفه‌ی فعلی برق فروخته شده به شبکه برای یک ساختمان چهار واحدی با مترهاژ مختلف

همان‌طور که در بخش معادلات حاکم اشاره شد، نسبت نگهداشت هزینه به‌عنوان شاخص سودآوری در این مطالعه برای دو سیستم رایج و تولید هم‌زمان برق و حرارت مورد بررسی قرار گرفته است. در (شکل ۴) این نسبت برحسب قیمت برق فروشی به شبکه برای یک ساختمان ۴ واحدی با زیربنای هر واحد ۷۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ متر مربع نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود برای رسیدن به نسبت نگهداشت صفر (یعنی برابری هزینه‌های هر دو سیستم) در سال اول، قیمت برق فروخته شده به شبکه برای ساختمان‌های ۴ واحدی با زیربنای ۷۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ باید به ترتیب ۱،۷۲، ۱،۸۱، ۱،۹۳ سنت برای هر کیلووات ساعت باشد. علت افزایش قیمت برق با افزایش مترهاژ ساختمان‌ها همان افزایش مصرف برق هست که منجر به فروش کمتر برق به شبکه گردیده و درنهایت برای جبران سرمایه اولیه باید مبلغ برق فروخته شده افزایش یابد. لازم به ذکر است که طبق تعرفه‌ی موجود، برق تولیدی توسط سامانه mCHP با قیمت ۰،۳۳ سنت برای هر کیلووات ساعت توسط وزارت نیرو خریداری می‌شود [۲۷].

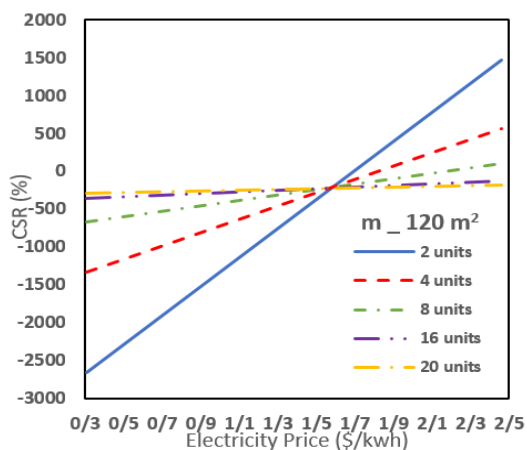


شکل ۴: تغییرات نسبت نگهداشت هزینه برحسب قیمت برق فروشی برای یک ساختمان چهار واحدی با مترهاژ مختلف

در (شکل ۶ الف و ب) نسبت نگهداشت هزینه برحسب سال برای قیمت‌های متفاوت برق فروخته شده در دو ساختمان ۴ واحدی با مترهاژهای ۷۰ و ۱۲۰ متر مربع نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود با افزایش قیمت برق برای هر کیلووات ساعت از ۰،۳۱ تا ۲،۴۶ سنت، سالی که در آن نسبت نگهداشت هزینه صفر شده و به عبارت دیگر هزینه‌های سیستم رایج با سیستم تولید هم‌زمان برابر می‌گردد، کاهش می‌یابد. به این صورت که برای یک ساختمان ۴ واحدی با مترهاژ ۷۰ مترمربع، نسبت نگهداشت برای قیمت برق فروخته شده باقیمت ۰،۳۱ سنت در ۱۵ سال اول به صفر نرسیده، برای نرخ‌های ۰،۶۱، ۰،۹۲، ۱،۲۳ و ۱،۵۴ سنت به ترتیب در سال‌های یازدهم، هفتم، چهارم و دوم این نسبت به صفر می‌رسد و همچنین برای مبالغ بالاتر از همان سال اول این نسبت بالاتر از صفر است که این به معنی جبران سرمایه‌گذاری اولیه و سوددهی طرح می‌باشد. لازم به ذکر است که به‌علت مصرف بالاتر در ساختمان ۴ واحدی با مترهاژ بزرگ‌تر رسیدن این نسبت به صفر در این حالت به اواخر سال‌های ذکر شده منتهی می‌گردد.

در ادامه با فرض فروش برق به شبکه‌ی سراسری طبق تعرفه‌ی کنونی وزارت نیرو و با فرض افزایش ده درصدی تمامی هزینه‌ها در هر سال به بررسی نسبت نگهداشت هزینه برحسب مدت‌زمان پرداخته شده است. همان‌طور که در (شکل ۵) نشان داده شده است با تعرفه‌ی کنونی هزینه‌های سیستم تولید هم‌زمان بعد از گذشت ۱۵ سال هم

۱۲۰ متر مربع به یک دستگاه تولید هم‌زمان برق و حرارت نیاز است تا بتواند مصارف گرمایشی و الکتریکی هر واحد را به‌خوبی پوشش داده و نرخ برق فروشی هم در حدود ۰,۲۳ سنت به ازای هر کیلووات ساعت باقی بماند.



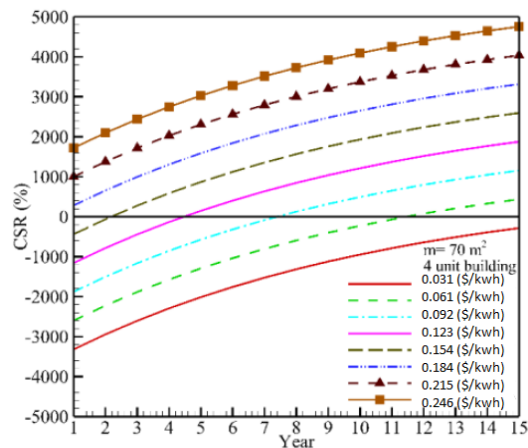
شکل ۷: تغییرات نسبت نگهداشت هزینه بر حسب قیمت برق فروخته‌شده برای یک ساختمان با واحدهای مختلف ۱۲۰ متری

در ادامه برای تفسیر بهتر و پیش‌بینی دقیق‌تر، نرخ بازده داخلی یا میزان بازگشت داخلی سرمایه^۱ محاسبه شده است. این شاخص یکی از روش‌های استاندارد ارزیابی طرح‌های اقتصادی است. در این روش تلاش می‌شود تا جریان نقدینگی با نرخ بازگشت نامعلومی به نرخ کنونی تنزیل داده شوند به‌گونه‌ای که ارزش خالص فعلی^۲ آن برابر صفر گردد. ارزش فعلی خالص برابر با کسر ارزش فعلی درآمدها از ارزش فعلی هزینه‌های یک پروژه است که می‌تواند منفی یا مثبت باشد. (رابطه ۱۲) به عبارت دیگر درآمدهای تنزیل شده در طول دوره بازگشت سرمایه با هزینه‌های تنزیل شده در همین دوره برابر قرار داده می‌شوند و بر این اساس نرخ بازگشت داخلی تعیین می‌شود. در این رابطه d نرخ بهره، B_t و C_t به ترتیب منافع و هزینه‌های طرح در سال t می‌باشند. حاصل رابطه، ارزش فعلی خالص یا NPV می‌باشد.

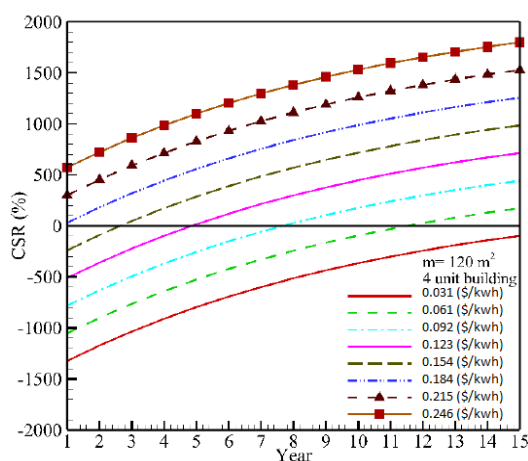
$$NPV = \sum_t \frac{B_t - C_t}{(1 + d)^t} \quad (12)$$

اگر این نرخ از نرخ بهره واقعی بیشتر باشد، طرح سودآور و قابل اجرا بوده و اگر نرخ بازگشت محاسبه شده کمتر از نرخ بهره واقعی باشد، طرح زیان‌ده و غیرقابل اجرا است.

1. Internal Rate of Return (IRR)
2. Net Present Value (NPV)



الف) ساختمان چهار واحدی با متراژ ۷۰ متر مربع



ب) ساختمان چهار واحدی با متراژ ۱۲۰ متر مربع

شکل ۶: تغییرات نسبت نگهداشت هزینه بر حسب سال برای تعرفه‌های مختلف قیمت برق فروخته شده

در ادامه به بررسی تعداد واحدهای مناسب برای استفاده از سیستم تولید هم‌زمان پرداخته شده است. به همین منظور در (شکل ۷) نسبت نگهداشت هزینه بر حسب تعرفه‌های برق فروخته‌شده به شبکه برای ساختمان‌هایی با تعداد واحدهای مسکونی متفاوت آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ساختمان‌های بالای ۸ واحد در صورت استفاده از یک سیستم تولید هم‌زمان با مشخصات ذکر شده در بخش‌های قبل قیمت تعرفه‌ی برق فروخته شده به بیش از ۲,۴۶ سنت به ازای هر کیلووات ساعت می‌رسد و با توجه به تعرفه‌های موجود برای انرژی خورشیدی و سایر مولدهای پراکنده رقم غیرمعقولی به حساب می‌آید؛ بنابراین می‌توان گفت برای هر ۴ واحد از یک ساختمان با متراژ در حدود

جدول ۳: فرضیات و مقادیر اولیه

مورد	واحد	هزینه
تجهیزات اصلی		۱۰۹۵۷
نصب و راه اندازی		۲۸۸
لوله کشی	دلار	۲۸۸
تعمیر و نگهداری سالیانه		۵۸
سرمایه گذاری ثابت	دلار	۱۱۵۳۴
هزینه های سالانه	دلار بر سال	۵۸
نرخ بهره	درصد	۱۵

در (جدول ۴) نتایج حاصل از این بررسی آورده شده است.

جدول ۴: شاخص های مختلف بر اساس قیمت های برق متفاوت

کمیت	قیمت برق (سنت)	۰,۱۵	۰,۳۱	*۰,۳۳	۰,۶۱	۰,۹۲	۱,۲۳	۱,۵۴	۱,۸۴
IRR (%)		-۱/۲	۱۵	۱۷/۲	۳۶/۸	۵۴/۹	۷۲	۸۸/۶	۱۰۵
ارزش خالص فعلی (دلار)		-۷۰۷۵	۰,۲۵	۱۲۵۲	۱۴۳۶۵	۲۸۷۳۰	۴۳۰۶۴	۵۷۵۲۱	۷۱۹۷۸
زمان بازگشت سرمایه (سال)		بیش از ده سال	۶	۶	۴	۳	۲	۲	۲

* نرخ تعرفه ی برق فروخته شده به شبکه برای سامانه های تولید هم زمان.

شده است. همان طور که در جدول مشاهده می شود سیستم تولید هم زمان تنها با مصرف گاز طبیعی، گاز گلخانه ای و آلاینده تولید می کند و مقادیر CO_2 ، CO ، NO_x و SO_x در سیستم رایج به ترتیب $۶۰/۹$ ، $۶۰/۳$ ، $۵۴/۷$ و ۱۰۰ درصد بیشتر از آلاینده های تولیدی توسط سیستم تولید هم زمان می باشد. علت تولید آلاینده ی SO_x در نیروگاه های تولید برق، مصرف سوخت های مختلف مانند مازوت است که تا حدودی حاوی H_2S می باشد. همان طور که مشاهده می شود استفاده از سیستم تولید هم زمان منجر به کاهش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده ها به محیط در حدود $۰/۳۲$ کیلوگرم به ازای هر کیلو وات ساعت می گردد. از طرفی با توجه به مشوق های بین المللی می توان از این کاهش انتشار حمایت های مالی را از مکانیسم های مختلف مشابه gef و CDM جذب نمود.

معیار دیگر، نرخ بازده داخلی است که نرخ بهره ای می باشد که ارزش فعلی درآمدهای یک پروژه را با ارزش فعلی هزینه های آن برابر می کند.

$$NPV = \sum_t \frac{B_t - C_t}{(1+d)^t} = 0 \quad (13)$$

اگر نرخ بازده داخلی بزرگ تر از نرخ بهره بازار باشد به معنی سودآور بودن طرح بوده و اگر این نرخ کوچک تر از نرخ بهره بازار باشد به معنی زیانده بودن طرح است [۴۰].

در (جدول ۳) مقادیر اولیه مورد نیاز برای این بررسی آورده شده است.

همان طور که مشاهده می شود، نرخ بازگشت سرمایه به ازای مبلغ تعرفه ی کنونی در حدود ۶ سال است و برای قیمت های برق فروخته شده ی بالاتر، کمتر از ۵ سال می باشد؛ که در صورت استفاده از سیستم رایج در مدت ۵ سال باید در حدود ۴۴۹۱ دلار هزینه پرداخت کرد.

۲-۴. انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده ها

با توجه به پروتکل ها و استانداردهای بین المللی محیط زیستی، انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده ها نیز می تواند در انتخاب و اجرای یک سیستم نقش جذاب و مهمی را ایفا می کند. از این رو در (جدول ۵) مقادیر معادل گازهای گلخانه ای و آلاینده های منتشر شده توسط هر دو سیستم مورد بحث و نسبت کاهش گازهای گلخانه ای و آلاینده ها برای یک ساختمان ۴ واحدی با زیربنای ۱۲۰ متر مربع ارایه

1. Emission Reduction Ratio (ERR)



جدول ۵: میزان آلاینده‌های منتشر شده برای دو سیستم مورد بحث

آلاینده	کیلوگرم آلاینده‌ی تولید شده در نیروگاه برق		کیلوگرم آلاینده‌ی تولید شده از طریق گاز		ERR (%)
	CHP	Con	CHP	Con	
CO ₂	۸۲۸۰	۰	۳۲۵۱۷	۱۵۹۴۷/۷	۶۰/۹
CO	۴/۶	۰	۱۹/۵۲	۹/۵۷	۶۰/۳
NO _x	۵/۷	۰	۶۸/۳۵	۳۳/۲۵	۵۴/۷
SO _x	۳۸/۲	۰	۰	۰	۱۰۰

۵. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مطالعه به بررسی و امکان‌سنجی استفاده از سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت در منازل مسکونی استان تهران پرداخته شده که علت انتخاب این استان داشتن زیرساخت‌های مناسب برای اجرای این طرح بوده است. استان تهران با داشتن بیشترین جمعیت شهرنشین، بیشترین تعداد ساختمان با زیربنای بالای ۸۰ متر، بالاترین سطح درآمد خانوار و بیشترین میزان مصرف انرژی در کشور بهترین استان برای بازار این محصول می‌باشد. از این رو با داشتن الگوی مصرف برق و گاز سالیانه ساکنین این استان، با تعریف شاخص نسبت نگهداشت هزینه، به مقایسه‌ی هزینه‌ها در صورت استفاده از سیستم رایج (خرید برق از شبکه سراسری و خرید گاز برای مصارف گرمایشی) با سیستم تولید هم‌زمان پرداخته شد که نتایج مهم آن در ادامه آورده شده است:

- نتایج نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری انجام شده در خرید این سیستم (با تعرفه‌ی خرید برق کنونی) پس از حدود ۶ سال بازگشته و در صورت افزایش تعرفه این بازگشت به زیر ۵ سال نیز کاهش می‌یابد در حالی که استفاده کنندگان از سیستم رایج پس از ۵ سال باید در حدود ۴۴۹۱ دلار هزینه برای برق و گاز مصرفی خود پرداخت کنند.
- در کنار بررسی اقتصادی با مشاهده‌ی تفاوت انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای صادره از هر دو سیستم لزوم استفاده از سیستم‌های تولید هم‌زمان بیشتر مشخص می‌گردد. جایی که مقادیر CO₂، CO، NO_x و SO_x تولید شده در سیستم رایج به ترتیب ۶۰/۹، ۶۰/۳، ۵۴/۷ و ۱۰۰ درصد بیشتر از همین آلاینده‌ها توسط سیستم تولید هم‌زمان می‌باشد. در مجموع با توجه به بحث‌های اقتصادی صورت گرفته و نیاز اساسی توجه کشورها به کاهش آلاینده‌ها، استفاده از سیستم تولید هم‌زمان با سیاست‌های حمایتی وزارت نیرو باید در کانون توجه بخش‌های مسکونی قرار گیرد. در این راستا طبق مطالعه‌ی حاضر با خرید برق از دارندگان سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت با مبلغی مابین هر کیلووات ساعت ۰٫۶۱ تا ۰٫۹۲ سنت می‌توان مصرف کنندگان بیشتری را به استفاده از این سیستم تشویق کرد. کلیه موارد ایمنی برای نصب تجهیز در ساختمان بررسی شده است و با توجه به اینکه دستگاه‌های mCHP به‌صورت تجاری تولید و در ساختمان‌ها استفاده می‌گردند و دستگاه ساخته شده در پژوهشگاه صنعت نفت نیز کاملاً استاندارد طراحی و ساخته شده است برای نصب در ساختمان‌ها مانع ایمنی ندارد. از جمله آزمون‌های مورد بررسی می‌توان به ایمنی اتصال برق دستگاه mCHP به برق ساختمان و شبکه سراسری، میزان آلودگی صوتی تجهیز، پایداری

- در صورتی که هدف، برابری هزینه‌های سیستم تولید هم‌زمان با سیستم رایج باشد، برای یک ساختمان ۴ واحدی با زیربنای بین ۷۰ تا ۲۰۰ مترمربع، باید مبلغ برق فروخته شده به شبکه در حدود ۱٫۸۴ سنت برای هر کیلووات ساعت باشد.
- در صورت فروش برق به شبکه با تعرفه‌ی کنونی (۰٫۳۳ سنت برای هر کیلووات ساعت)، این طرح در مقایسه با سیستم رایج صرفه‌ی اقتصادی نداشته و زمان برابری هزینه‌ی آن با سیستم رایج بیش از ۱۵ سال خواهد بود؛ که این نتیجه لزوم تغییر تعرفه‌ی قیمت برق خریداری شده توسط شبکه را نشان می‌دهد همان‌طور که برای سیستم‌های نظیر صفحه‌های خورشیدی این قیمت در حدود ۱٫۲۳ سنت برای هر کیلووات ساعت می‌باشد.
- در صورت استفاده از سیستم تولید هم‌زمان ذکر شده با مشخصات فوق، به‌طور متوسط هر ۴ واحد مسکونی با زیربنای ۱۲۰ متر مربع نیازمند یک سیستم ۱۴ کیلوواتی

مراجع:

- [1]. A. Esmailnia, A. Hamzekhiani, Economic evaluation of using coal for power generation in Iran, Vol. 24, pp. 168-20, 1389.
- [2]. Tavanir statistics, Ministry of Energy, Iran, 1400. (In Persian).
- [3]. ترازنامه‌ی انرژی کشور سال ۱۳۹۷. آخرین ترازنامه منتشر شده در سال ۱۴۰۱.
- [4]. IEC, "Efficient electrical energy transmission and distribution," IEC, Geneva, 2010.
- [5]. M. Meckler, L. B. Hyman, Sustainable on-site CHP systems, pp.10-20, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [6]. Ellamla, Harikishan R., et al. "Current status of fuel cell based combined heat and power systems for residential sector." Journal of Power Sources 293 (2015): 312-328.
- [7]. Du, Ruoyang, and Paul Robertson. "Cost Effective Grid-Connected Inverter for a Micro Combined Heat and Power System." IEEE Transactions on Industrial Electronics (2017).
- [8]. Ren, Hongbo, and Weijun Gao. "Economic and environmental evaluation of micro CHP systems with different operating modes for residential buildings in Japan." Energy and Buildings 42.6 (2010): 853-861.
- [9]. De Paepe, Michel, Peter D'Herdt, and David Mertens. "Micro-CHP systems for residential applications." Energy conversion and management 47.18 (2006): 3435-3446.
- [10]. Bhattacharyya, Subhes C., and Nguyen Thuy Hien. "Cogeneration potential in pulp and paper industry of Vietnam."

عملکرد موتور و مجموعه mCHP در طول زمان و بررسی مشکلات سایش، خوردگی، مشاهده ترک یا هرگونه خرابی در قطعات و مجموعه‌ها با تمرکز بر قوای محرکه اشاره نمود. این آزمون‌ها در دو بازه ۱۲۵۰ ساعت و ۲۵۰۰ ساعت و بیشتر با دو هدف بررسی ایمنی و عملکرد عمومی موتور در طول زمان و اطلاع از بروز مشکلات احتمالی و بعضاً غیرقابل پیش‌بینی انجام شده است که در همه موارد، مشکلات احتمالی رفع شده است. در رابطه با آلودگی صوتی و میزان نویز نیز با توجه به نوع کاربری سیستم‌های mCHP لازم است از نظر سطح صدا و ارتعاشات در شرایط کنترل شده و در محدوده قابل قبول ۴۹ تا ۶۸ دسیبل در فاصله یک و نیم متری باشد که این دستگاه این آزمون را به‌خوبی گذرانده است و نویز آن در محدوده قرار دارد.

۶. تشکر و قدردانی

در این قسمت از شرکت ملی نفت و شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت تشکر و قدردانی می‌گردد که پروژه «دستیابی به دانش فنی طراحی و توسعه سامانه MCHP بر پایه فناوری موتور گازسوز» را تأمین مالی نموده است و مقاله حاضر، حاصل از نتایج پژوهشی مطالعه بازار این پروژه می‌باشد.

فهرست علائم اختصاری

CSR	نسبت نگهداشت هزینه
ERR	نسبت کاهش آلاینده‌ها
C	هزینه‌ی تولید انرژی سالانه
Em	مقدار آلاینده‌ی تولیدی
EmI	شدت آلاینده‌ی
Eele - chp	برق سالانه‌ی تولید شده توسط سامانه‌ی mCHP
Eele	برق سالانه‌ی موردنیاز
Prsell	قیمت برق فروخته شده به شبکه
Pele	قیمت برق خریداری شده از شبکه
بالاوند	
Inv	سرمایه‌گذاری
Ele	برق
Gas	گاز
زیروند	
CON	سیستم رایج
CHP	سیستم تولید برق و حرارت هم‌زمان (سامانه‌ی mCHP)





- تهران)». نشریه انرژی ایران. دوره ۱۹. شماره ۲. تابستان ۱۳۹۵.
- [19]. OECD (2011), Better Policies to support Eco-innovation, OECD Studies on Environmental Innovation, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264096684-en>.
- [۲۰]. درگاه ملی آمار ایران به آدرس <https://www.amar.org.ir> /خانه/برآوردهای-جمعیتی. مردادماه ۱۳۹۶.
- [۲۱]. اطلاعات پروانه‌های ساخت واحدهای مسکونی صادر شده توسط شهرداری نیمه اول ۱۳۹۴، ریاست جمهوری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مرکز آمار ایران.
- [۲۲]. گزیده نتایج سرشماری نفوس و مسکن، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، مرکز آمار ایران، بهمن‌ماه ۱۳۹۰.
- [23]. American Petroleum institute (API), August 2009, Compendium of Greenhouse Gas Emission Methodologies for the Oil and Natural Gas Industry.
- [24]. US Environmental Protection Agency, 2006, Complication of Air Pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources, Ap-42, (GPO 055-000-005-001)
- [25]. Validation Report, 2015, Flare Gas Recovery in Sarkhoon and Qeshm Gas Treating Company.
- [۲۶]. تعرفه‌های برق و شرایط عمومی آن‌ها، از تاریخ ۱۳۹۵/۵/۱، معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی بازار آب و برق، وزارت نیرو.
- [۲۷]. نامه‌ی وزیر نیرو به شماره‌ی ۵/۱۴۳۷۲/۲۰/۱۰۰ در تاریخ ۱۳۹۵/۲/۲۰.
- [۲۸]. درگاه اینترنتی شرکت گاز ایران به آدرس: <http://www.nigc.ir/Portal/Home/ShowPage.aspx?Object=NEWS&Cat>
- International journal of energy research 29.4 (2005): 345-358.
- [11]. TeymouriHamzehkolaei, Fatemeh, and Sourena Sattari. "Technical and economic feasibility study of using Micro CHP in the different climate zones of Iran." Energy 36.8 (2011): 4790-4798.
- [۱۲]. قاسم‌زاده، معرفت، عظیمی. «طراحی سیستم تولید هم‌زمان برق، گرما و سرما برای منازل مسکونی در اقلیم آب و هوایی تهران.» مهندسی مکانیک مدرس ۱۳، ۲ (۲۰۱۳): ۱۰۹-۱۲۲.
- [۱۳]. فرخی، پیرکندی، نصرالهی «تحلیل عملکرد ترموآکونومیکی یک سیستم تولید هم‌زمان مقیاس کوچک بر پایه موتور دیزل» مهندسی مکانیک مدرس ۱۶، ۱۰ (۲۰۱۵): ۳۷۵-۳۸۳.
- [۱۴]. محمود چهارطاقی و علی زاده خارکشی بهراد. «تحلیل عملکرد یک سیستم تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما برپایه پیل سوختی پلیمری تحت شرایط کاری مختلف.» مهندسی مکانیک مدرس ۱۶، ۳ (۲۰۱۵): ۳۸۳-۳۹۴.
- [۱۵]. احسان باقری، مهدی معرفت و عسگر مینایی، «بررسی تجربی تأثیر دمای محیط بر کارکرد مولد موتور گازسوز تولید هم‌زمان برق و حرارت در اقلیم گرم و خشک.» مهندسی مکانیک مدرس ۱۶، ۱۳ (۲۰۱۵): ۱۰۹-۱۱۲.
- [۱۶]. فرزین گلزار، مجید آستانه، رامین روشندل، «توسعه مدل بهبود یافته سیستم ترکیبی تولید هم‌زمان برق، گرمایش و سرمایش بر اساس پیل سوختی اکسید جامد.» نشریه انرژی ایران. دوره ۱۷. شماره ۴. زمستان ۱۳۹۳.
- [۱۷]. یاسر کیلاشکی، «تعیین اندازه بهینه تجهیزات سیستم تولید ترکیبی سرمایش، حرارت و قدرت.» نشریه انرژی ایران. دوره ۱۹. شماره ۱. بهار ۱۳۹۵.
- [۱۸]. علیرضا تقی‌پور رضوان، میثم شاهجونی، «ارائه‌ی یک مدل ترکیبی برای اولویت‌بندی سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و برودت با در نظر گرفتن اهداف توسعه‌ی پایدار (مطالعه موردی: بیمارستان طالقانی



- [36]. Mahdi Darzi, Nima Zamani Meymian, Derek Johnson, Energy optimization of a micro-CHP engine using 1-D and 3-D modeling, Applied Thermal Engineering, Volume 191, 2021, 116904, ISSN 1359-4311,
- [37]. Lorenzo Mario Pastore, Gianluigi Lo Basso, Livio de Santoli, Can the renewable energy share increase in electricity and gas grids takes out the competitiveness of gas-driven CHP plants for distributed generation?, Energy, Volume 256, 2022, 124659, ISSN 0360-5442,
- [38]. Igor Cruz, Maria T. Johansson, Joakim Wren, Assessment of the potential for small-scale CHP production using Organic Rankine Cycle (ORC) systems in different geographical contexts: GHG emissions impact and economic feasibility, Energy Reports, Volume 8, 2022, Pages 7680-7690, ISSN 2352-4847.
- [39]. Qiong Wu, Hongbo Ren, Weijun Gao, Economic Assessment of Micro-CHP System for Residential Application in Shanghai, China, Energy Procedia, Volume 88, 2016, Pages 732-737, ISSN 1876-6102.
- [۴۰]. اسکونژاد، م. ۱۳۹۰. اقتصاد مهندسی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، تهران.
- [41]. S. E. Hosseini, M. Simab and B. Bahmani, Optimal Energy Resource Planning and Combined Heat and Power Sizing in a Residential Area to Supply Electrical and Thermal Demand in a Reconfigured Power Grid, Journal of renewable energy research and applications, Vol. 4, No. 1, 2023, 113-123.
- egoryID=1601f6c2-3b71-410c-ad90-8b94b25601de&WebPartID=405f5dd3-bd18-4594-9f81-58116c8560bc&ID=6399df7b-3c5d-4f19-93c5-e1b3ecc1d1a1
- [۲۹]. دکتر جواد نوفرستی، «راهکارهای اصلی اصلاح الگوی مصرف گاز در ساختمان»، مجله‌ی اقتصاد انرژی، شماره ۱۲۱، آذرماه ۱۳۸۸.
- [30]. Frankel, David S., Model Driven Architecture: Applying MDA to Enterprise Computing, OMG Press, Wiley Publishing, 2003.
- [31]. Sannella, M. J., Constraint Satisfaction and Debugging for Interactive User Interfaces, Ph.D. Thesis, University of Washington, Seattle, WA, 1994.
- [32]. Zachman, John A., "A Framework for Information Systems Architecture", IBM Systems Journal, Vol. 26, No. 3, 1987.
- [33]. Plamondon, R., Lorette, G., "Automatic Signature Verification and Writer Identification - The State of the Art", Pattern Recognition, Vol. 22, pp. 107-131, 1989. Object Management Group. Unified Modeling Language: Superstructure, Version 2.0, ptc/03-07-06, July 2003, <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?ptc/2003-08-02>.
- [34]. Hiroshi Ito, Economic and environmental assessment of residential micro combined heat and power system application in Japan, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 41, Issue 34, 2016, Pages 15111-15123, ISSN 0360-3199,
- [35]. Yujun Jung, Joonbyum Kim, Hoseong Lee, Multi-criteria evaluation of medium-sized residential building with micro-CHP system in South Korea, Energy and Buildings, Volume 193, 2019, Pages 201-215, ISSN 0378-7788,

Economical and Environmental Study of Using Micro Combined Heat and Power in Residential House in Tehran

Esmaeil GhasemiKafrudi^{1*}, MohammadReza Habibi¹, Mohammad Khaledi Sardashti², MohammadAli Manian³, Zeynab Sobhani⁴

1. Scientific faculty member of Energy and Environment Research Center, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran
2. Head of Research and Technology Unit, Researcher of Iranian Fuel Conservation Company, Tehran, Iran
3. Researcher of Iranian Fuel Conservation Company, Tehran, Iran
4. Researcher of Energy and Environment Research Center, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

ORIGINAL RESEARCH

Article History:

Received: 22 January, 2023

Revised: 13 March 2023

Accepted: 24 June, 2023

Keywords:

mCHP

Cost saving ratio

Economic analysis

Air pollutant Emissions

Greenhouse gases

Carbon management

ABSTRACT

Today, combined heat and power generation systems have been taken into consideration by the developed country for residential use, due to reduced losses, high efficiency and help to network security. In order to use these systems in the country, the target market must be identified, then, by examining the economic conditions and creating incentive schemes to encourage residential customers to use these systems. For this purpose, in the present article, firstly, the most suitable province for the use of such systems was selected and then, by using the amount of electricity consumption and residential gas consumption, a comparison between the current system and the use of the mCHP system was made. According to the price Realistic economic analysis was carried out and further emissions of air pollutants were studied for both systems. The results show that Tehran province is the best province for this product market. Also, considering the current tariffs, the use of this system can return after six years, while the amount of pollutants production, and, from the current system are 60.9, 60.3, 54.7 And 100% more than mCHP. Finally, given the economic consideration and the need for countries to pay attention to reducing emissions, the use of the mCHP in conjunction with the Ministry of Energy's support policies can be implemented in our country.

DOR: [20.1001.1.25885251.1402.10.1.2.6](https://doi.org/10.1001.1.25885251.1402.10.1.2.6)

How to cite this article

E. GhasemiKafrudi, M.R Habibi, M. Khaledi Sardashti, M.A. Manian, Z. Sobhani, Economical and Environmental Study of Using Micro Combined Heat and Power in Residential House in Tehran. *Iranian Journal of Gas Engineering*. 2023; 10(1): 28 -42. (https://www.ijge.irangi.org/article_707971.html)

* Corresponding Author.

E-mail address: ghasemies@ripi.ir, (E. GhasemiKafrudi).

Available online 20 August 2023

2666-5468/© 2021 The Authors. Published by Iranian Gas Institute.

This is an open access article under the CC BY license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

