نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۶، شماره۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه ۳۵-۵۱

امکان‌سنجی اقتصادی و محیط زیستی استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت (mCHP) در منازل مسکونی ایران

اسماعیل قاسمی کفرودی[۱]، محمدرضاحبیبی[۲]، محمد خالدی سردشتی[۳]، محمدعلی مانیان[۴]، زینب سبحانی[۵]

تاریخ دریافت:
۱۳۹۶ / ۰۷ / ۱۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲ / ۰۵ / ۰۸

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

چکیده

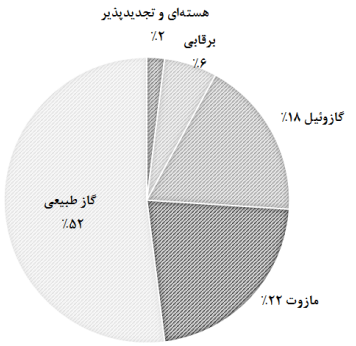
با توجه به افزایش روزافزون انتشارات گازهای گلخانه‌ای و فاجعه زیست محیطی متاثر از انتشار کربن، همچنین مطابق با الزامات قانونی ابلاغ شده طی آیین نامه اجرایی کنوانسیون تغییر آب و هوا و پروتکل کیوتو و راهبرد ملی تغییر اقلیم، استفاده از سیستم‌هایی که به مدیریت کربن و کاهش انتشارات کمک می‌کند بسیار ضروری می‌باشد. امروزه سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت با توجه به کاهش تلفات، راندمان بالا و کمک به امنیت شبکه مورد توجه کشورهای توسعه‌یافته‌ی 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 این‌گونه 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 CO_2 ، CO ، NO_x و SO_x از سیستم رایج به ترتیب ۶۰/۹ ، ۶۰/۳ ، ۵۴/۷ و ۱۰۰ درصد بیشتر از mCHP می‌باشد. نهایتا 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.

۱. پژوهشگاه صنعت نفت ghasemies@ripi.ir
۲. پژوهشگاه صنعت نفت
۳. پژوهشگاه صنعت نفت
۴. شرکت بهینه سازی مصرف سوخت
۵. شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

۱ مقدمه

با توجه به افزایش تقاضای انرژی در بخش مسکونی و صنعتی، به عنوان 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 گرفته‌است [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 ۹۷ با وجود به کارگیری انرژی هسته‌ای در نیروگاه اتمی بوشهر، ۹۲ درصد از برق کشور با استفاده از گاز طبیعی، گازوییل و مازوت تولید شده است [۲]. واضح است که بخش عمده میزان انرژی تولیدی نیروگاه‌ها در ساختمان‌های اداری و مسکونی استفاده می‌شود.



شکل ۱. سبد انرژی تولید برق کشور در سال ۱۳۹۷ (اطلاعات از [۲])

بخش عمده‌ی سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها برای تولید برق استفاده می‌شوند، این در حالیست 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[۶] انرژی می‌باشد. سیستم‌های تولید پراکنده‌ی برق و حرارت با هدف 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 تامین امنیت بیشتر شبکه به‌کار گرفته می‌شوند. یکی از روش‌های پرکاربرد در تولید پراکنده، استفاده از واحدهای تولید همزمان توان و حرارت[۷] است. در این واحدها از یک منبع سوخت برای تولید توان استفاده شده و در کنار آن از گرمای اتلافی بازیافتی از این سیستم‌ها، برای مصارف گرمایشی، سرمایشی و بسیاری از فرایندهای صنعتی استفاده می‌شود. این کار نه تنها باعث بالارفتن 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[۸] 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

[6] Distributed Generation
[7] Combined Heat and Power (CHP)
[8] micro Combined Heat and Power (mCHP)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

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]. پائپه 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]. 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٪، انتشار CO_2 حدود ۱۱.۸٪ و هزینه عملیات ۹.۶٪ کاهش می‌یابد؛ همچنین بازه بازپرداخت ۱۰ سال محاسبه شده‌است. [۳۵]. مهدی درزی و همکاران در سال ۲۰۲۱ بهینه سازی انرژی یک موتور mCHP را با استفاده از مدلسازی یک بعدی و سه بعدی انجام دادند. [۳۶].

لورنزو ماریو پاستوره و همکاران در خصوص نقش انرژی های تجدیدپذیر در شبکه های برق و گاز بر میزان توجیه اقتصادی نیروگاه های mCHP مطالعه کردند. [۳۷]. ایگور کروز 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 می دهد که پتانسیل نصب سیستم های ORC در سراسر جهان وجود دارد که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند و هم انتشار گازهای گلخانه ای 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 ٪ از قیمت mCHP به عنوان وام بدون بهره، خرید برق مازاد از کاربران mCHP به قیمت ۲ برابر فروش و فروش گاز با ۶۰٪ کاهش نرخ) به صورت 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 بندر عباس 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 صرفه جویی ۱۳ درصدی در مصرف سوخت و کاهش ۱۲ درصدی آلاینده‌ها می‌گردد [۱۲]. فرخی و همکاران به تحلیل ترمواکونومیکی یک سیستم تولید همزمان مقیاس کوچک بر پایه‌ی موتور دیزل پرداختند. ایشان گزارش دادند که بیشترین اتلاف اگزرژی در مبدل حراراتی رخ داده که دلیل آن فرآیند انتقال دما و اختلاف دمای زیاد مبدل است [۱۳]. چهارطاقی و علیزاده 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٪ و ۲۵٪ است [۱۴]. باقری و همکاران نیز تاثیر 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 بطور 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]. کیالاشکی 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

بهترین عملکرد را داشته و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری آن هم مقرون به صرفه 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].

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

بازار mCHP ها به تدریج در حال شکل گرفتن است. ژاپن، آمریکای شمالی و فرانسه از کشورهای پیشتاز در بکارگیری این سیستم می‌باشند [۱۹]. با توجه به اینکه mCHP یک محصول جدید (در بازار جهانی و به طور 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 بازارپذیری محصول به انتخاب استان هدف پرداخته شده است.

۱.۲. 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 متراژ 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 به طور طبیعی منابع بیشتری برای سرمایش و گرمایش استفاده می‌کنند و سیستم‌های گرمایش و سرمایش در اینگونه خانه‌ها اغلب برای مالکان آنها سفارشی شده[9] هستند. به علاوه مالکان خانه‌های بزرگ معمولا 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 ۱۱۰۰۰۰۰ واحد آپارتمانی با متراژ 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، براساس 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 به احتمال قوی دارای

[9] customized

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

درآمد بالاتر از میانگین هستند. متوسط درآمد ماهیانه‌ی خانوار شهری براساس آمار سال ۱۳۹۹ در حدود ۳۵۰ دلاربوده است. که در این بین استان تهران با متوسط درآمد ماهیانه‌ی ۴۷۵ دلار، مقام اول را بین سایر استان‌های کشور دارا می‌باشد [۲۲].

٤.۲. مصرف انرژی و سخت

با نگاهی 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 بالاتربن پتانسیل برای نصب و راه‌اندازی سامانه‌ی تولید همزمان برق و حرارت را دارد از این رو در ادامه با انتخاب این استان به عنوان 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 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 عمدتا 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 تامین می‌کند به مراتب پایین‌تر هستند. در ادامه با بررسی معادلات حاکم به بررسی و مقایسه‌ی این سامانه با سیستم‌های رایج پرداخته شده است.

۱.۳. معادلات حاکم

در مطالعه‌ی حاضر یک شاخص اقتصادی مهم، نسبت نگهداشت هزینه[10] برای بررسی بیشتر به‌کار گرفته شده که به صورت رابطه‌ی یک تعریف می‌شود:

$$CSR = \frac{C_{Con} - C_{CHP}}{C_{Con}} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن C_{Con} و C_{CHP} 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.

$$C_{Con} = C_{Con}^{Ele} + C_{Con}^{Gas} \qquad (۲)$$

$$C_{CHP} = C_{CHP}^{Inv} + C_{CHP}^{Ele} + C_{CHP}^{Gas} \qquad (۳)$$

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.

[10] Cost Saving Ratio (CSR)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

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

$$Em_{CON} = Em_{CON}^{Ele} + Em_{CON}^{Gas} \quad (۴)$$

$$Em_{CHP} = Em_{CHP}^{Ele} + Em_{CHP}^{Gas} \quad (۵)$$

که در آن Em_{CON} و Em_{CHP} میزان آلاینده‌های منتشـر شـده توسـط سـیسـتم رایج و سـیسـتم mCHP اسـت که برابر اسـت با مجموع آلاینده‌های ناشـی از تولید برق و گاز می‌باشـد. برای مشـخص شـدن میزان تولید هر یک از آلاینده‌ها در طی فرآیند از روابط زیر اسـتفاده می‌شود:

$$Em_{CON}^{Ele} = E_{ele} \times EmI_{ele} \quad (۶)$$

$$Em_{CON}^{Gas} = E_{CON}^{gas} \times EmI_{gas} \quad (۷)$$

$$Em_{CHP}^{Ele} = (E_{ele} - E_{ele-chp}) \times EmI_{ele} \quad (۸)$$

$$Em_{CHP}^{Gas} = E_{CHP}^{gas} \times EmI_{gas} \quad (۹)$$

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 سـالانه به ترتیب در سـیسـتم رایج و تولید همزمان و EmI_{ele} و EmI_{gas} نیز به ترتیب شـدت تولید آلاینده‌ها برای تولید برق و احتراق گاز هستند که مقادیر آن در جدول (۱) نشان داده‌شده 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 [۲۳و۲۴].

جدول ۱. میزان تولید معادل گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های مختلف در فرایند احتراق گاز و تولید برق

کمیت / آلاینده	$EmI_{gas}(\frac{kg}{m^3})$ [۲۳و۲۴]	$EmI_{ele}(\frac{kg}{kwh})$ [۲۵]
CO_2	۱/۹۹۸	۰/۷۱۵
CO	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۴
NO_x	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۰۵
SO_x	–	۰/۰۰۳۳

۲.۳. مقادیر اولیه و الگوریتم حل

برای محاسـبه کمیت‌ها از روابط مطالعه شـده ابتدا لازم اسـت مقادیر معلوم مشـخص 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. در جدول (۲) داده‌های مربوط به معادلات حاکم فهرست شده‌اند:

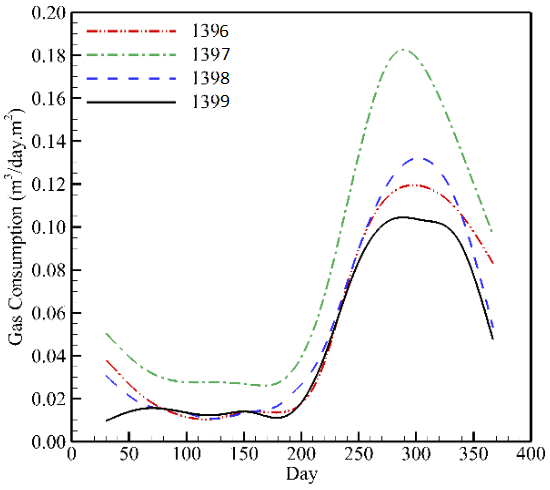
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

جدول۲. فرضیات و مقادیر اولیه

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

۳.۳. الگو 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 زیر بنای 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 متر مکعب بر روز در متراژ خانه بدست آورد. همانطور که مشاهده می‌شود حاصلضرب سطح زیر این نمودار در متراژ واحد مسکونی میزان مصرف خانگی گاز در طول یک سال برای ماه‌های مختلف (بر حسب متر مکعب) 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

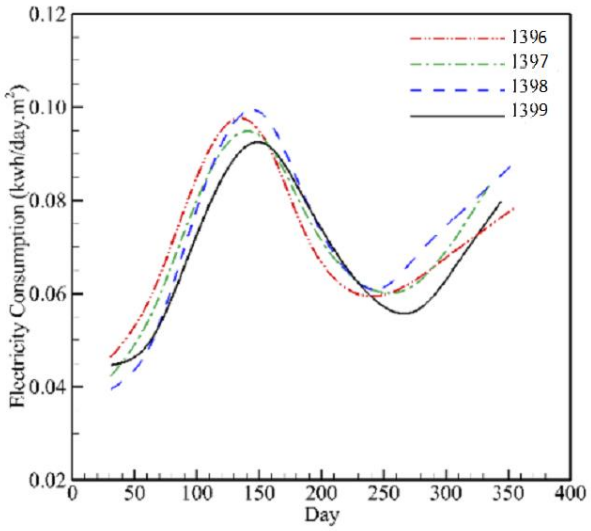
را می‌توان به دو بخش گرمایشی (آب گرم و گرمایش فضای خانه) و غیرگرمایشی (پخت و پز و ...) تقسیم کرد. همانطور که قبلا بنابراین در فصول سرد و گرم به ترتیب ۹۳ و ۷۵ درصد از این گاز در بخش گرمایش مصرف می‌شود.

ســـاملنه‌ی تولید همزمان ۲۸ کیلووات حرارت در ســـاعت تولید کرده که جهت تولید این مقدار حرارت بطور متوســـط باید حداقل ۳ مترمکعب گاز سـوزانده شـود، به بیان دیگر می‌توان مقدار گاز صـرفه‌جویی شـده را با این روند بدسـت آورد. در نتیجه برای سـامانه‌ی تولید همزمان میزان گاز مورد نیاز با مجموع گاز مورد نیاز برای گرمایش و آب گرم، بعلاوه‌ی گاز مورد نیاز برای تولید برق مصـرفی منهای مقدار گاز صرفه‌جویی شده از طریق تولید حرارت توسط سیستم برابر است. 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 ٪، آب گرم ۲۳ ٪ و پخت و پز با سهم ۷ ٪ است [۲۹]، بنابراین در فصول سرد و گرم به ترتیب ۹۳ و ۷۵ درصد از این گاز در بخش گرمایش مصرف می‌شود.

ســـاملنه‌ی تولید همزمان ۲۸ کیلووات حرارت در ســـاعت تولید کرده که جهت تولید این مقدار حرارت بطور متوســـط باید حداقل ۳ مترمکعب گاز سـوزانده شـود، به بیان دیگر می‌توان مقدار گاز صـرفه‌جویی شـده را با این روند بدسـت آورد. در نتیجه برای سـامانه‌ی تولید همزمان میزان گاز مورد نیاز با مجموع گاز مورد نیاز برای گرمایش و آب گرم، بعلاوه‌ی گاز مورد نیاز برای تولید برق مصـرفی منهای مقدار گاز صرفه‌جویی شده از طریق تولید حرارت توسط سیستم برابر است.

٤.٣. الگوی برق مصرفی در شهر تهران

به منظور مطالعه‌ی قبوض برق مصرفی در تهران ۶ واحد آپارتمان با زیربنایی ۸۰ متر مربع به بالا انتخاب شده‌اند. در شکل ۳ مصرف متوسط سالیانه‌ی این واحدها برای ۴ سال متفاوت آورده شده است.



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

با میانگین‌گیری از داده‌های این نمودار می‌توان میزان مصرف ماهانه‌ی خانه‌هایی با متراژهای متفاوت را بدست آورد سپس با استفاده از تعرفه‌های پلکانی قبوض برق، هزینه‌ی برق مصرفی کل بدست 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).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

$$C_{CHP}^{Ele-buy} = (E_{ele} - E_{ele-chp}) \times P_{rele} \quad (۱۰)$$

$$C_{CHP}^{Ele-sell} = (E_{ele-chp} - E_{ele}) \times P_{rsell} \quad (۱۱)$$

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 ارایه شده در بخش بعدی پیشنهاد شده است و بر اساس این الگوریتم، برنامه کامپیوتری در محیط برنامه‌نویسی فرترن توسعه داده شده است.

۵.۳. الگوریتم حل

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

۱- وارد کردن مقادیر اولیه (متراژ و تعداد واحد مسکونی، رلندمان حرارتی و الکتریکی mCHP ، رلندمان حرارتی بویلر و هزینه‌ی سرمایه گذاری 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 نهایتا 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 صرفه جویی 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 نهایتا محاسبه‌ی هزینه‌ی گاز کلی ساختمان (C_{CHP}^{Gas})

۸- محاسبه‌ی میزان برق موردنیاز 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 الاینده‌های منتشر شده در هر دو حالت مفروض.

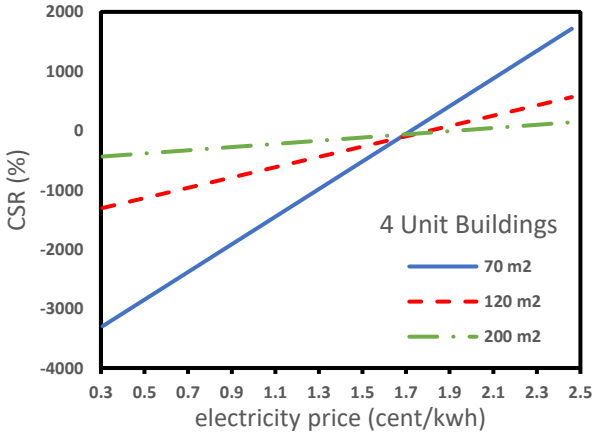
٤. نتایج و تفسیر

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 متراژهای 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 موردنیاز آن (طبق تعرفه) از شبکه خریداری یا میزان اضافی به فروش می‌رسد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

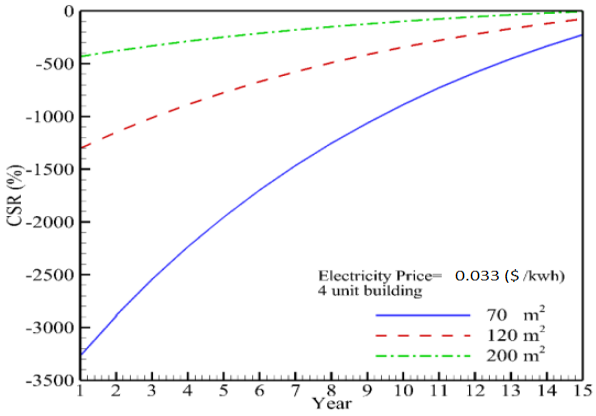
۱.٤. تحلیل اقتصادی

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 متراژ ساختمان‌ها همان افزایش مصرف برق هست که منجر به فروش کمتر برق به شبکه گردیده و در نهایت 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 متراژ مختلف

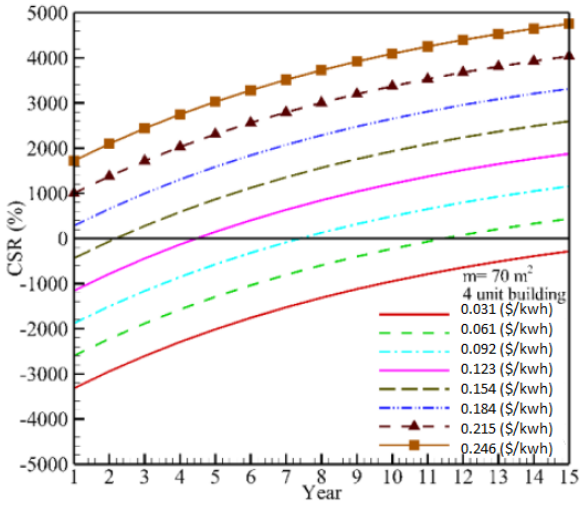
در ادامه با فرض فروش برق به شبکه‌ی سراسری طبق تعرفه‌ی کنونی وزارت نیرو و با فرض افزایش ده درصدی تمامی هزینه‌ها در هر سال به بررسی نسبت نگهداشت هزینه بر حسب مدت زمان پرداخته شده است. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است با تعرفه‌ی کنونی هزینه‌های سیستم تولید همزمان بعد از گذشت ۱۵ سال هم با هزینه‌ی سیستم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



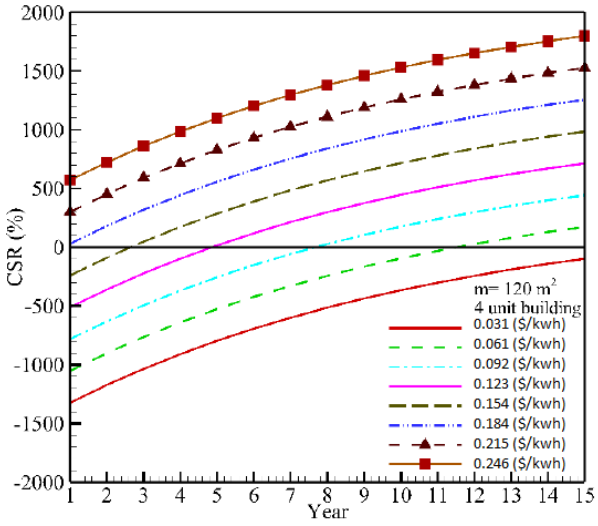
شکل ۵ . تغییرات نسبت نگهداشت هزینه بر حسب سال برای تعرفه‌ی فعلی برق فروخته شده به شبکه برای یک ساختمان چهارواحدی با متراژ مختلف

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

در شکل ۶ الف و ب نسبت نگهداشت هزینه بر حسب سال برای قیمت‌های متفاوت برق فروخته شده در دو ساختمان ۴ واحدی با متراژهای 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 به‌عبارت دیگر هزینه‌های سیستم رایج با سیستم تولید همزمان برابر می‌گردد، کاهش می‌یابد. به این صورت که برای یک ساختمان ۴ واحدی با متراژ ۷۰ مترمربع، نسبت نگهداشت برای قیمت برق فروخته شده با قیمت 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 به علت مصرف بالاتر در ساختمان ۴ واحدی با متراژ بزرگتر رسیدن این نسبت به صفر در این حالت به اواخر سال‌های ذکر شده منتهی می‌گردد.



الف . ساختمان چهرواحدی با متراژ ۷۰ متر مربع



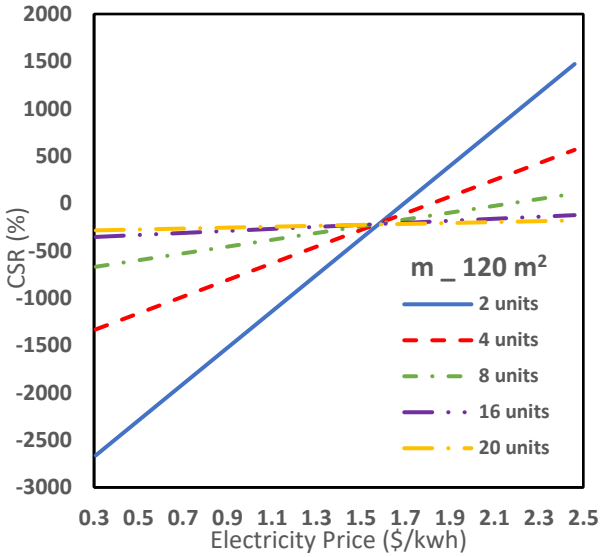
ب . ساختمان چهارواحدی با متراژ ۱۲۰ متر مربع

شکل۶ . 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 برحسب 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

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 غیر معقولی به حساب می‌آید. بنابراین می‌توان گفت برای هر ۴ واحد از یک ساختمان با متراژ در حدود ۱۲۰ متر مربع به یک دستگاه تولید همزمان برق و حرارت نیاز است تا بتواند مصارف گرمایشی و الکتریکی هر واحد را به خوبی 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 برحسب 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[11] 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 به گونه‌ای که ارزش خالص فعلی[12] آن برابر صفر گردد. 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. 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. در جدول (۳) مقادیر اولیه مورد نیاز برای این بررسی آورده شده است.

11 Internal Rate of Return (IRR)
12 Net Present Value (NPV)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

جدول ۳. فرضیات و مقادیر اولیه

مورد	واحد	هزینه
تجهیزات اصلی	دلار	۱۰۹۵۷
نصب و راه‌اندازی		۲۸۸
لوله کشی		۲۸۸
تعمیر و نگهداری سالیانه		۵۸
سرمایه‌گذاری ثابت	دلار	۱۱۵۳۴
هزینه‌های سالانه	دلار بر سال	۵۸
نرخ بهره	٪	۱۵

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

جدول ۴. شاخص‌های مختلف بر اساس قیمت‌های برق متفاوت

قیمت برق (ست) / کمیت	۰/۱۵	۰/۳۱	۰/۳۳*	۰/۶۱	۱/۹۲	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 تعرفه‌ی برق فروخته شده به شبکه برای سامانه‌های تولید همزمان.همانطور که مشاهده می‌شود، نرخ بازگشت سرمایه به ازای مبلغ تعرفه‌ی کنونی در حدود ۶ سال است و برای قیمت‌های برق فروخته‌شده‌ی بالاتر، کمتر از ۵ سال می‌باشد. که در صورت استفاده از سیستم رایج در مدت ۵ سال باید در حدود ۴۴۹۱ دلار هزینه پرداخت کرد.

۲.٤. انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها

با توجه به پروتکل‌ها و استانداردهای بین المللی محیط زیستی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها نیز می‌تواند در انتخاب و اجرای یک سیستم نقش جذاب و مهمی را ایفا می‌کند. از این رو در جدول ۵ مقادیر معادل گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های منتشر شده توسط هر دو سیستم مورد بحث و نسبت کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها[13] برای یک ساختمان ۴ واحدی با زیربنای ۱۲۰ متر مربع ارایه شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود سیستم تولید همزمان تنها با مصرف گاز طبیعی، گاز گلخانه‌ای و آلاینده تولید می‌کند، و

[13] Emission Reduction Ratio (ERR)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

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 آلاینده‌های تولیدی توسط سیستم تولید همزمان می‌باشد. علت تولید آلاینده‌ی SO_x در نیروگاه‌های تولید برق، مصرف سوخت‌های مختلف مانند مازوت است که تا حدودی حاوی H_2S می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود استفاده از سیستم تولید همزمان منجر به کاهش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها به محیط در حدود ۰/۳۲ کیلوگرم به ازای هر کیلو وات ساعت می‌گردد. از طرفی با توجه به مشوق‌های بین‌المللی می‌توان از این کاهش انتشار حمایت‌های مالی را از مکانیسم‌های مختلف مشابه gef و CDM جذب نمود.

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

آلاینده	کیلوگرم آلاینده‌ی تولید شده در نیروگاه برق		کیلوگرم آلاینده‌ی تولید شـــده از طریق گاز		ERR (%)
	Con	CHP	Con	CHP	
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 پیشنهادات

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:

- در صورتی که هدف، برابری هزینه‌های سیستم تولید همزمان با سیستم رایج باشد، برای یک ساختمان ۴ واحدی با زیربنایی 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، بطور متوسط هر ۴ واحد مسکونی با زیربنای ۱۲۰ متر مربع نیازمند یک سیستم ۱۴ کیلوواتی برای تامین برق مصرفی می‌باشد، همچنین بخشی از گرمای مورد نیاز واحدها توسط این سیستم تامین شده و برای مقدار باقیمانده آن به بویلر کمکی نیاز است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

- 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 CO_2 ، 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.

سپاسگزاری

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 تامین مالی نموده است و مقاله حاضر، حاصل از نتایج پژوهشی مطالعه بازار این پروژه می‌باشد.

ضمایم

نسبت نگهداشت هزینه	CSR
نسبت کاهش آلاینده‌ها	ERR
هزینه‌ی تولید انرژی سالانه	C
مقدار آلاینده‌ی تولیدی	Em
شدت آلایندگی	EmI
برق سالانه‌ی تولید شده توسط سامانه‌ی mCHP	$E_{ele-chp}$
برق سالانه‌ی مورد نیاز	E_{ele}
قیمت برق فروخته شده به شبکه	P_{rsell}
قیمت برق خریداری شده از شبکه	P_{ele}
بالاوند	
سرمایه‌گذاری	Inv
برق	Ele
گاز	Gas
زیروند	
سیستم رایج	CON
سیستم تولید برق و حرارت همزمان (سامانه‌ی mCHP)	CHP

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

منابع

[1] A. Esmailnia, A. Hamzekhani, Economic evaluation of using coal for power generation in Iran, Vol. 24, pp. 168-20, 1389.
[2] Tavanir statistics, Ministry of Energy, Iran, 1392. (In Persian)
[۳] 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." *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 ترمواکونومیکی 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): ۳۹۴-۳۸۳.
[۱۵] احسان باقری، مهدی معرفت و عسگر مینایی، "بررسی تجربی تاثیر دمای محیط بر کارکرد مولد موتور گازسوز تولید همزمان برق و حرارت در اقلیم گرم و خشک. " مهندسی مکانیک مدرس ۱۶.۱۳ (۲۰۱۵): ۱۱۲-۱۰۹.
[۱۶] فرزین گلزار، مجید آستانه، رامین روشندل، "توسعه مدل بهبودیافته سیستم ترکیبی تولید همزمان برق، گرمایش و سرمایش بر اساس پیل سوختی اکسید جامد". نشریه انرژی ایران. دوره ۱۷. شماره۴. زمستان ۱۳۹۳.
[۱۷] یاسر کیالاشکی، " تعیین اندازه بهینه تجهیزات سیستم تولید ترکیبی سرمایش، حرارت و قدرت". نشریه انرژی ایران. دوره ۱۹. شماره۱. 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 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 نیمه‌ی 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&CategoryID=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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

[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,
[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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]