

# امکان سنجی استفاده از CHP در واحدهای مسکونی به منظور کاهش آلاینده‌های زیست محیطی

صدیقه قاسمی، لیلا آهنگری، محمدرضا دهقانی\*

تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی شیمی

پیام‌نگار: m\_dehghani@iust.ac.ir

## چکیده

در این مقاله کاربرد سیستم CHP در کاهش مصرف انرژی و  $CO_2$  تولیدی ارزیابی شده است. یک برج مسکونی و یک آپارتمان بعنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده‌اند. سیستم CHP در هر دو مورد بر مبنای دو سناریو (انرژی حرارتی و الکتریکی مورد نیاز) انتخاب شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تولید  $CO_2$  و مصرف انرژی، هنگامی که سیستم تولید همزمان انتخابی بر پایه تقاضای انرژی الکتریکی باشد، کاهش خواهد یافت، در این صورت هزینه ثابت افزایش می‌یابد. در صورتی که مبنای انتخاب سیستم تقاضای برق واحد مسکونی باشد سیستم‌های CHP با ظرفیت ۱۰ کیلووات برای آپارتمان مورد بررسی و ظرفیت ۷۰۰ کیلووات برای برج کفایت می‌کند، ضمناً نتایج نشان داد که در سناریوی دوم (گرمای مورد نیاز) هزینه‌های ثابت، کاهش می‌یابد اما تولید  $CO_2$  و سوخت مصرفی افزایش خواهد یافت.

کلمات کلیدی: سیستم CHP، مصرف انرژی، افزایش بازدهی، تقاضای حرارت و الکتریسیته مورد نیاز، کاهش آلاینده‌ها، بهینه‌سازی اقتصادی

## ۱- مقدمه

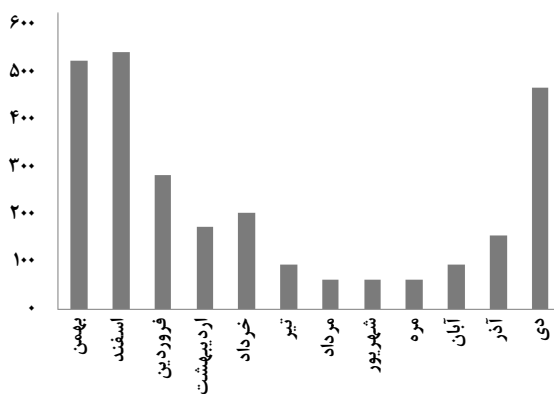
این سیستم امکان استفاده از گرمای هدررفته در نیروگاه‌های سنتی تولید الکتریسیته را که به صورت آلودگی حرارتی عمل کند، جهت گرمایش ساختمان‌های اداری، تجاری، منازل، گلخانه‌ها و مکان‌های دیگر فراهم می‌آورد. [۱]. افزایش نرخ مصرف انرژی از یک سو و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی دیگر سبب شده است که در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به سیستم‌های تولید همزمان، به دلیل توانایی آنها در افزایش بازدهی و کاهش انتشار  $CO_2$  معطوف گردد [۲-۶].

در یک واحد CHP، حدوداً ۸۵٪ از انرژی سوخت به انرژی مورد نیاز (الکتریسیته و گرما) تبدیل می‌شود که در مقایسه با بازدهی ۳۰ درصدی نیروگاه‌های مرسوم، قابل توجه می‌باشد. هدف از این مقاله،

با توجه به بحران انرژی در جهان و کمبود منابع تولید آن، بهینه‌سازی مصرف سوخت، امری منطقی و اقتصادی به نظر می‌رسد. علاوه بر کاهش ذخایر سوخت در جهان و افزایش قیمت آن، انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق نیز، از اثرات سوء مصرف زیاد سوخت می‌باشد.

تولید همزمان برق و گرما<sup>۱</sup> یا به اختصار تولید همزمان (CHP) عبارت است از تولید همزمان و توأم ترمودینامیکی دو یا چند شکل انرژی از یک منبع ساده اولیه با استفاده از توربین گاز و یا موتورهای احتراق جرقه ای رفت و برگشتی و یا انواع دیگر محرک‌های اولیه.

### 1. Cogeneration heat and power



شکل ۱- نمودار گرمای مورد نیاز در آپارتمان مورد بررسی طی ماه‌های سال [۵]

میزان کل برق مصرفی سالیانه ۸۰۰۰ کیلووات ساعت تخمین زده می‌شود.

با توجه به فیوزهای به کار رفته در آپارتمان (فیوز ۲۰ آمپری) بیشترین مقدار برق ورودی به سیستم برای هر واحد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P=VI=22 \times 20 = 4/4 \text{ KW}$$

برای محاسبه بیشترین اتلاف برودتی و به دست آوردن میزان تبرید چیلر آپارتمان، دمای هوای محیط را در گرم‌ترین روز سال در منطقه‌ای که آپارتمان در آن واقع است ۳۸/۶ درجه سلسیوس و دمای مطبوع داخل ساختمان را ۲۵ درجه سلسیوس در نظر می‌گیریم و مقادیر اتلاف را به دست می‌آوریم [۹].

جدول ۱- مقادیر اتلاف‌های ساختمان

اتلاف برودتی کل ساختمان (kW)	اتلاف برودتی تابش (kW)	اتلاف برودتی همرفتی (kW)	اتلاف برودتی رسانش (kW)
۳۱/۶	۹/۶	۱۳	۹

$$1 \text{ kW} = 0.28 \text{ ton}$$

طبق میزان کل اتلاف گزارش شده در تابستان، می‌توان تن تبرید چیلر مورد نیاز را تخمین زد:

$$31.6 \text{ kW} \times 0.28 \text{ ton} = \sim 9 \text{ ton}$$

طبق اطلاعات موجود، چیلر جذبی با COP برابر ۰/۷۲ و ظرفیت ۹ تن تبرید، ۰/۵۴ کیلووات برق و ۴۳/۸۸ کیلووات گاز مصرف می‌کند [۱۰].

بررسی اقتصادی و عملکرد سیستم تولید همزمان برق و گرما، و تعیین ظرفیت بهینه استفاده از سیستم CHP برای ساختمان‌های متفاوت و مقایسه میزان کاهش آلاینده‌های حاصل از سیستم CHP در همان ظرفیت‌هاست [۱].

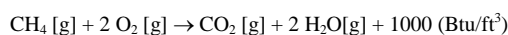
## ۲- عملکرد سیستم CHP

در این سیستم‌ها، انرژی شیمیایی سوخت به وسیله یک محرک اولیه (موتور یا توربین) به توان مکانیکی در محور خروجی تبدیل می‌شود، سپس محور محرک با یک ژنراتور، کوپل می‌شود و توان الکتریکی تولید می‌گردد. با توجه به اینکه حداکثر بازدهی موجود برای محرک اولیه دستگاه و مولد کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد، بیش از نیمی از انرژی سوخت به صورت گرما تلف می‌شود. موتور یک سیستم CHP می‌تواند نیروی مورد نیاز خود را با گاز، بنزین، یا حتی نفت تأمین کند. بیشتر گرمایی که تولید می‌شود به عنوان نتیجه احتراق سوخت در حرکت مربوط به ژنراتور می‌باشد. بنابراین می‌توان با شناسایی منابع اتلاف گرما یعنی گازهای خروجی از محرک اولیه و روغن مربوط به روغنکاری با قراردادن مبدل‌های حرارتی مناسب، گرمای اتلافی را به صورت حرارت با دمای بالا و قابل استفاده باز یافت کرد [۱].

سیستم‌های CHP به وسیله صافی‌هایی، از آزاد شدن آلاینده‌های زیست محیطی نظیر NOx، CO، CO<sub>2</sub> و هیدرو کربورهای نسوخته جلوگیری می‌کند و بازدهی سیستم را نسبت به حالت مجزا افزایش می‌دهند.

## ۳- تخمین بار حرارتی و برودتی و انرژی الکتریکی مورد نیاز آپارتمان

مقدار حرارت مورد نیاز را می‌توان از طریق تعیین گاز مصرفی هر آپارتمان تخمین زد، مقدار متوسط مصرف سالیانه گاز در هر واحد آپارتمان ۹۳۹۲ متر مکعب به دست آمده است و با توجه به واکنش احتراق متان، که ارزش حرارتی آن ۴۱۸۰۰ کیلوژول به ازای هر متر مکعب است، توان گاز مصرفی به دست می‌آید. با استفاده از این اطلاعات می‌توان با در دست داشتن مقدار سوخت مصرفی یک ساختمان، مقدار انرژی مورد نیاز آن را به دست آورد.



$$\text{Btu } 27855/1 \text{ natural gas} = 1 \text{ Btu } \quad 10^5 \text{ kWh} = 29/14 \text{ therm} = 1$$

حرارتی در تابستان صرف تولید آب گرم می‌شود). در این ۸۰ روز با توجه به مقدار گاز مصرفی چیلر، انرژی مورد نیاز آن به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$840 \text{ (h)} \times 43/88 \text{ (kW)} = 36859 \text{ kWh}$$

و کل انرژی حرارتی مورد نیاز به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$5660 + 36859 = 41519$$

انرژی گرمایی تولیدی CHP در مدت این ۸۰ روز به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{15/7}{0/75} \times 80 \text{ (day)} \times 18 \text{ (hr)} \times 0/9 \text{ (load)} = 27129/6 \text{ kWh}$$

از تقسیم تفاضل کل انرژی حرارتی مورد نیاز و انرژی حرارتی تولیدی CHP بر ظرفیت دیگ‌بخار کمکی (۸ کیلووات) ساعات کارکرد آن در این ۸۰ روز، ۱۷۹۹ ساعت به‌دست می‌آید. بنابراین کل ساعات کارکرد دیگ‌بخار در سال  $1554 + 1799 = 3353$  ساعت به‌دست می‌آید.

در حالت دوم برای تعیین ظرفیت CHP تقاضای حرارتی را مبنا قرار می‌دهیم، که برای تامین بیشترین بار حرارتی ساختمان، ظرفیت آن را ۱۵ کیلووات در نظر می‌گیریم. در صورتی که بازدهی الکتریکی و نسبت گرما به برق این سیستم نیز مشابه سیستم ۱۰ کیلوواتی باشد، ۴۲/۵ کیلووات مصرف می‌کند و ۱۵ کیلووات انرژی الکتریکی و ۲۴/۸۵ کیلووات انرژی حرارتی تولید می‌نماید.

- از آنجا که در این حالت، نیازی به استفاده از دیگ‌بخار کمکی نمی‌باشد، هزینه‌های مربوط به ورودی و خروجی آن نیز در محاسبات مربوط به دوره بازگشت سرمایه وارد نمی‌شود.
  - در این حالت نیز از چیلر ۹ تنی حالت قبل با همان ظرفیت استفاده می‌شود.
  - به‌دلیل ظرفیت بیشتر، ساعات کار این سیستم CHP را تا جایی که با کمبود گرما مواجه نشویم به حداقل می‌رسانیم:
- $$5585 \text{ (سال/ساعت)} = 17 \times 0/9 \times 365 \text{ (سال/روز)}$$

#### ۴- تخمین بار حرارتی و برودتی و انرژی الکتریکی مورد نیاز برج

محاسبات فوق را عیناً برای برج مورد نظر تکرار می‌کنیم. با توجه به میانگین مصرف ماهیانه گاز می‌توان میزان انرژی حرارتی مورد نیاز را محاسبه کرد.

در نتیجه محاسبات فوق، بیشترین گرمای مورد نیاز برای آپارتمان و پیک مصرف برق آن به‌دست آمد حال چنانچه مبنای انتخاب ظرفیت سیستم تولید همزمان تقاضای برق واحد مسکونی باشد، با توجه به پیک مصرف برق برای کل ساختمان، ظرفیت ۱۰ کیلووات برای CHP کافی است (حالت اول). در این حالت برای جبران کمبودهای حرارتی در صورت لزوم از دیگ‌بخار کمکی استفاده می‌کنیم. این سیستم، ۲۸/۵۷ کیلووات برق مصرف می‌کند و ۱۰ کیلووات انرژی الکتریکی و ۱۵/۷ کیلووات انرژی حرارتی تولید می‌نماید و با دسترسی ۹۰٪، ۱۸ ساعت در طول شبانه روز، یعنی ۵۹۱۳ ساعت کار می‌کند.

بر اساس نمودار تقاضای گرمایی در فصل سرما برای آپارتمان دو واحدی در ماه‌های دی، بهمن و اسفند تقاضای گرمایی بیش از تولید CHP وجود دارد بنابراین نیاز به یک دیگ‌بخار کمکی خواهیم داشت. این کمبودهای ماهانه در جدول (۳) آمده است.

جدول ۲- کمبود گرمای تولیدی CHP در فصل زمستان برای آپارتمان

ماه	گرمای مورد نیاز (kWh)	گرمای تولیدی CHP (kWh)	کمبود حرارت (kWh)
دی	۱۳۰۵۷/۴۱۸	۱۰۱۷۳/۶	۲۸۸۳/۸۱۸
بهمن	۱۴۶۶۰/۴۴۸	۱۰۱۷۳/۶	۴۴۸۶/۴۸۹
اسفند	۱۵۱۸۵/۰۷۷	۱۰۱۷۳/۶	۵۰۱۱/۴۷۷

چنانچه دیگ‌بخار کمکی بیشترین ساعت کارکرد را در طول روز داشته باشد ظرفیت آن ۸ کیلووات در نظر گرفته می‌شود. از تقسیم تفاضل کل انرژی حرارتی مورد نیاز در زمستان و انرژی حرارتی تولیدی CHP بر ظرفیت دیگ‌بخار کمکی (۸ کیلووات) میزان ساعات کارکرد آن در این مدت، ۱۵۵۴ ساعت به‌دست می‌آید. در تابستان نیز با توجه به به‌کارگیری چیلر جذبی با کمبود گرما روبرو خواهیم بود لذا استفاده از دیگ‌بخار فوق در فصل تابستان نیز ضروری است.

(سال/ساعت)  $840 = \text{بار} 0/7 \times (\text{روز/ساعت}) 15 \times \text{روز} 80 =$  ساعت کار چیلر  
با توجه به شکل (۱) تقریباً مقدار ۴۶۶۰ کیلووات ساعت انرژی برای تولید آب گرم مصرف می‌شود (با فرض اینکه ۷۰ درصد انرژی

این سیستم ۲۳۳۳/۳۳ کیلووات مصرف و ۷۰۰ کیلووات انرژی الکتریکی و ۱۰۵۰ کیلووات انرژی حرارتی تولید می‌کند. بر اساس نمودار شکل (۲)، در ماه‌های دی، بهمن، اسفند و فروردین (به‌دلیل سرما) و تیر، مرداد و شهریور (به‌دلیل وجود چیلر جذبی) گرمای مورد نیاز برای برج، بیش از حرارت تولیدی توسط CHP است. این کمبودها در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴- کمبود حرارت تولیدی CHP در ماه‌های سرد

ماه	گرمای مورد نیاز (kWh)	گرمای تولیدی CHP (kWh)	کمبود گرما (kWh)
دی	۱۳۱۱۳۰۰	۶۸۰۴۰۰	۶۳۰۹۰۰
بهمن	۱۴۲۰۵۷۵	۶۸۰۴۰۰	۷۴۰۱۷۵
اسفند	۱۵۲۹۸۵۰	۶۸۰۴۰۰	۸۴۹۴۵۰
فروردین	۱۱۸۹۱۵۸	۶۸۰۴۰۰	۴۹۰۳۸
اردیبهشت	۷۳۰۱۰۸	۶۸۰۴۰۰	۴۹۷۰۸

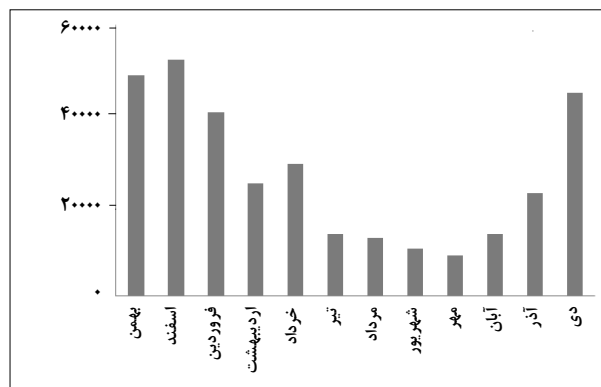
چنانچه دیگ‌بخار کمکی بیشترین ساعت کارکرد در روز را داشته باشد ظرفیت آن ۱۲۰۰ کیلووات در نظر گرفته می‌شود. از تقسیم تفاضل کل انرژی حرارتی مورد نیاز در زمستان و انرژی حرارتی تولیدی CHP بر ظرفیت دیگ‌بخار کمکی (۱۲۰۰ کیلووات) میزان کارکرد آن در این مدت ۲۳۱۸ ساعت به‌دست می‌آید. در تابستان نیز با توجه به بکارگیری چیلر جذبی با کمبود گرما روبرو خواهیم بود لذا استفاده از دیگ‌بخار فوق در فصل تابستان ضروری است.

در این برج، با توجه به نمودار گرمای مورد نیاز، تقریباً مقدار ۹۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی برای تولید آب گرم مصرف می‌شود (با فرض اینکه ۷۰ درصد انرژی حرارتی در تابستان صرف تولید آب گرم می‌شود).

در این ۸۰ روز مقدار گرمای مورد نیاز چیلر ۶۵۰ تنی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$۳۱۷۴ \text{ (kW)} \times ۸۴۰ \text{ (h)} = ۲۶۶۶۱۶۰ \text{ kWh}$$

و کل انرژی حرارتی مورد نیاز ساختمان در این مدت به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:



شکل ۲- نمودار نیاز به گرمای برج مورد بررسی طی ماه‌های سال

میزان کل برق مصرفی سالیانه ۱۷۵۳۸۰۰ کیلو وات ساعت در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه بیشترین اتلاف برودتی برج نیز مانند آپارتمان دو واحدی عمل می‌کنیم.

جدول ۳- مقادیر اتلاف‌های ساختمان برج

اتلاف برودتی (kW)	اتلاف همرفتی (kW)	اتلاف برودتی تابشی (kW)	کل اتلاف برودتی ساختمان (kW)
۱۸۲/۶۵	۲۶۶/۲۹	۸۵/۳۷	۵۰۴/۳۱

از آنجا که برج مورد مطالعه ساختمان بزرگی می‌باشد محاسبه اتلاف حرارتی و برودتی آن نیاز به نرم افزارهای پیچیده رایانه‌ای دارد لذا از تخمین ۴۰۰ درصدی برای رسیدن به مقدار واقعی اتلاف‌ها استفاده می‌کنیم. بنابر این ظرفیت چیلر مورد نیاز ۶۵۰ تن به‌دست می‌آید. طبق اطلاعات موجود ۵ چیلری با COP برابر ۰/۷۲ و ظرفیت ۶۵۰ تن تبرید ۳۹ کیلووات برق و ۳۱۷۴ کیلووات گاز مصرف می‌کند [۱۰].

برای حالت سوم چنانچه مبنای انتخاب ظرفیت سیستم تولید همزمان تقاضای برق برج باشد، ظرفیت ۷۰۰ کیلووات برای آن کافی است. در این حالت سیستم CHP با دسترسی ۹۰٪، ۱۷ ساعت در طول شبانه روز، یعنی ۵۵۸۵ ساعت در سال و چیلر ۶۵۰ تنی ۸۴۰ ساعت در سال کار می‌کند.

جدول ۵- میزان انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه [۶]

نرخ حرارت (Btu/kWh)	CO <sub>2</sub> (lb/MWh)	NO <sub>x</sub> (lb/MWh)
۹۹۱۰	۱۱۷۶	۰/۷۲۴

با توجه به شرایط موتور به کار رفته در CHP میزان NO<sub>x</sub> آزاد شده. (۰/۱ lb/MMBtu) می‌باشد.

همچنین در دیگ‌بخارهای موجود در سیستم هم با توجه به نرم افزار Emission calculator، (۰/۱ lb/MMBtu) NO<sub>x</sub> تولید می‌شود. با استفاده از مطالب فوق و محاسبات ساده، مقدار انتشار آلاینده‌ها در حالت عادی و استفاده از سیستم CHP به دست می‌آید.

#### ۱-۵ حالت ۱ (دیگ‌بخار کمکی + ۱۰ kW CHP)

جدول ۶- میزان کاهش آلاینده‌ها و مصرف سوخت توسط

سیستم CHP (۱۰ کیلوواتی) و دیگ‌بخار کمکی [۶]

آلاینده‌ها	درصد کاهش	سیستم مرسوم	سیستم دیگ‌بخار	نیروگاه	سیستم CHP
NO <sub>x</sub> (سال/تن)	٪۲۴	۰/۰۴۶	۰/۰۲	۰/۰۲۶	۰/۰۳۵
CO <sub>2</sub> (سال/تن)	٪۴۲	۷۲	۲۹	۴۳	۴۱.۵
سوخت مصرفی (سال/MMBtu)	٪۴۱	۱۲۰۸	۴۸۹	۷۱۹	۷۱۰

#### ۲-۵ حالت دوم (۱۵kW CHP)

جدول ۷- میزان کاهش آلاینده‌ها و مصرف سوخت توسط

سیستم CHP ۱۵ کیلووات [۱۱]

آلاینده‌ها	درصد کاهش	سیستم مرسوم	سیستم دیگ‌بخار	نیروگاه	سیستم CHP
NO <sub>x</sub> (سال/تن)	٪۳۷	۰/۰۶۶	۰/۰۳۱	۰/۰۳۵	۰/۰۴۱
CO <sub>2</sub> (سال/تن)	٪۴۹	۹۵	۳۷	۵۸	۴۸
سوخت مصرفی (سال/MMBtu)	٪۴۹	۱۶۰۵	۶۳۱	۹۷۴	۸۲۰

$$900000 + 2666160 = 3566160 \text{ kWh}$$

انرژی گرمایی تولیدی CHP در مدت این ۸۰ روز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1050}{0.75} \times 80 \text{ (day)} \times 18 \text{ (hr)} \times 0.9 \text{ (load)} = 1814400 \text{ kWh}$$

از تقسیم تفاضل کل انرژی حرارتی مورد نیاز و انرژی حرارتی تولیدی CHP بر ظرفیت دیگ‌بخار کمکی (۱۲۰۰ کیلووات) میزان ساعات کارکرد آن در این ۸۰ روز ۱۴۵۹/۸ ساعت به دست می‌آید.

کل ساعات کارکرد دیگ‌بخار در سال برابر  $3776 = 1460 + 2316$  ساعت به دست می‌آید.

در حالت چهارم تقاضای حرارتی را مبنا قرار می‌دهیم و ظرفیت ۱۶۵۰ کیلووات را برای CHP مورد نظر انتخاب می‌کنیم و برق تولیدی مازاد را به شبکه برق می‌فروشیم.

در صورتی که بازدهی الکتریکی و نسبت گرما به برق این سیستم نیز مشابه سیستم ۷۰۰ کیلوواتی باشد، ۵۳۳۱ کیلووات مصرف، و ۱۶۵۰ کیلووات انرژی الکتریکی و ۲۳۹۲ کیلووات انرژی حرارتی تولید می‌کند.

در این حالت نیازی به استفاده از دیگ‌بخار کمکی نمی‌باشد و از همان چیلر حالت قبل با همان ظرفیت ۶۵۰ تن استفاده می‌شود.

به دلیل ظرفیت بیشتر، ساعات کار این سیستم CHP را تا جایی که با کمبود گرما مواجه نشویم، کم می‌کنیم، با توجه به نمودار سیستم با دسترسی ۹۰٪، تنها در ماه اسفند ۱۸ ساعت در روز، و در روزهای دیگر ۱۷ ساعت در روز روشن است. بنابراین در طول سال، ۵۶۱۲ ساعت کار می‌کند.

#### ۵- مقایسه میزان آلاینده‌ها در ظرفیت‌های مختلف CHP

میزان انتشار آلاینده‌ها در سیستم مرسوم از جمع آلاینده‌های تولیدی در نیروگاه و احتراق دیگ‌بخار خانگی به دست می‌آید.

در جدول (۵) میزان انتشار آلاینده‌های نیروگاه گازی مورد نظر که با استفاده از نرم‌افزار Emission Calculator [۱۱] نمایش داده شده است که این اطلاعات برای محاسبات تمام موارد مشترک می‌باشد:

از آنجایی که سوخت مصرفی برای دیگ‌بخار و CHP، گاز طبیعی می‌باشد، گرمای حاصل از احتراق آن  $(\text{Btu}/\text{ft}^3)$  ۱۰۰۰ است و مقدار  $\text{CO}_2$  آزاد می‌کند.  $(\text{lb}/\text{MMBtu})$  ۱۱۷

با توجه به مقایسه انجام شده در بالا در صورت تولید گرما و برق مساوی در دو حالت استفاده از سیستم CHP و عدم استفاده از آن (سیستم‌های مرسوم) به این نتیجه می‌رسیم که سیستم تولید همزمان با مصرف سوخت کمتر آلاینده‌های کمتری نیز به محیط زیست وارد می‌کند.

با توجه به مقایسه انجام شده در بالا در صورت تولید گرما و برق مساوی در دو حالت استفاده از سیستم CHP و عدم استفاده از آن (سیستم‌های مرسوم) به این نتیجه می‌رسیم که سیستم تولید همزمان با مصرف سوخت کمتر، آلاینده‌های کمتری نیز به محیط زیست وارد می‌کند.

جدول ۱۱- مقایسه میزان انتشار آلاینده‌ها توسط سیستم‌های CHP (۱۶۵۰ کیلوواتی) و (۷۰۰ کیلوواتی) و دیگ‌بخار کمکی [۱۱]

CHP (۱۶۵۰ kW)	CHP (۷۰۰ kW) + دیگ‌بخار کمکی	درصد کاهش	آلاینده‌ها
۴/۵۳	۲/۷۴	٪۴۰	NOx (سال/تن)
۵۳۱۰	۳۲۱۴	٪۳۹	CO <sub>2</sub> (سال/تن)

بنابراین آلاینده‌های تولیدی در مورد CHP، ۷۰۰ کیلوواتی کمتر از CHP، ۱۶۵۰ کیلوواتی است.

جدول ۸- مقایسه میزان انتشار آلاینده‌ها توسط سیستم‌های CHP (۱۵ کیلوواتی) و (۱۰ کیلوواتی) و دیگ‌بخار کمکی [۱۱]

CHP (۱۵ kW)	CHP (۱۰ kW) + دیگ‌بخار کمکی	درصد کاهش	آلاینده‌ها
۰/۰۴۱	۰/۰۳۵	٪۱۴	NOx (سال/تن)
۴۸	۴۱/۵	٪۱۳/۵	CO <sub>2</sub> (سال/تن)

۳-۵ بررسی حالت ۳ (CHP ۷۰۰ kW + دیگ‌بخار کمکی)

جدول ۹- میزان کاهش آلاینده‌ها و مصرف سوخت توسط سیستم CHP (۷۰۰ کیلوواتی) و دیگ‌بخار کمکی در یک برج [۱۱]

سیستم CHP	نیروگاه	سیستم دیگ‌بخار	سیستم مرسوم	درصد کاهش	آلاینده‌ها
۲/۷۴	۰/۸۳	۱/۷۳	۳/۵۶	٪۲۳	NOx (سال/تن)
۳۲۱۴	۲۹۷۴	۲۰۲۵	۴۹۹۹	٪۳۵	CO <sub>2</sub> (سال/تن)
۵۴۹۳۰	۳۳۹۴۷	۳۴۶۲۲	۶۸۵۶۹	٪۲۰	سوخت مصرفی (سال/MMBtu)

۴-۵ بررسی حالت ۴ (CHP ۱۶۵۰ kW)

جدول ۱۰- میزان کاهش آلاینده‌ها و مصرف سوخت توسط سیستم CHP (۱۶۵۰ کیلوواتی) در یک برج [۱۱]

سیستم CHP	نیروگاه	سیستم دیگ‌بخار	سیستم مرسوم	درصد کاهش	آلاینده‌ها
۴/۵۳	۳/۸۷	۳/۲۶	۷/۱۳	٪۳۶	NOx (سال/تن)
۵۳۱۰	۶۲۸۶	۳۸۲۳	۱۰۱۰۹	٪۴۷	CO <sub>2</sub> (سال/تن)
۹۰۷۷۰	۷۱۷۶۲	۶۵۳۴۳	۱۳۷۱۰۵	٪۳۴	سوخت مصرفی (سال/MMBtu)

## ۶- نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام گرفته در این مقاله مشخص کرد که به‌کارگیری CHP نسبت به حالت مرسوم، افزایش بازدهی مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی را به‌دنبال خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد اگر گرمای مورد نیاز به‌عنوان مبنای انتخاب ظرفیت CHP قرار گیرد به دلیل حجم بیشتر سیستم انتخاب شده، سوخت مصرفی نیز بیشتر خواهد بود و این موضوع به رغم توجه اقتصادی بهتر، افزایش آلودگی‌های زیست محیطی را به‌دنبال خواهد داشت. در کل پیشنهاد می‌شود که جهت کاهش آلاینده‌های زیست محیطی، گرمای مورد نیاز مکان، مبنای انتخاب ظرفیت CHP باشد. همچنین بررسی و استفاده از روش‌های دیگر کاهش آلاینده‌ها مانند روش گرمایش از کف (استفاده از آب گرم) نیز ضروری به نظر می‌رسد.

## مراجع

- [۱] چیت چیان حمید، "کاربرد سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت"، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، کنفرانس روش‌های پیشگیری از اتلاف انرژی، (خرداد ۱۳۸۳).

- [2] T.D. Baker, Cogeneration for resort hotels, ASHRAE Transaction 7, pp. 318–331, (1986).
- [3] B.B. Lindsay and T. Marciniak, Packaged cogeneration systems for multi-user application, ASHRAE Transaction 18 (2), pp. 864–874, (1986).
- [4] R.F. Babus'Haq and S.D. Probert, Assessing the prospects and commercial viabilities of small-scale CHP schemes, Applied Energy 31, pp. 19–30, (1988).
- [5] R.F. Babus'Haq et al., Economics of mini-combined heat and power packages for use in hotels, Heat Recovery Systems and CHP 10 (3), pp. 269–275, (1990).
- [6] زارعی نیما، "ارزیابی استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت برای واحدهای مسکونی بزرگ در تولید پراکنده"، پایان‌نامه، دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۸۴).
- [7] خستو، بهمن "حرارت مرکزی، تهویه مطبوع، تبرید"، تهران، ۹۰ - ۷۰، (دی ۱۳۸۳).
- [8] طباطبایی، سید مجتبی، "مقدمه ای بر چیلرهای جذبی"، مجله صنعت تأسیسات، شماره ۵۲، تهران، (۱۳۸۳).
- [9] [www.epa.gov/chp/documents/chp\\_emissions\\_calc.xls](http://www.epa.gov/chp/documents/chp_emissions_calc.xls)
- [10] Energy Cogeneration handbook Criteria for Central Plant Design by George Polimeros, Industrial Press Inc, N.Y.
- [11] [www.cibse.org/pdfs/GPG176.pdf](http://www.cibse.org/pdfs/GPG176.pdf)