



طراحی سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما برای منازل مسکونی در اقلیم آب و هوایی تهران

حسن قاسمزاده^۱، مهدی معرفت^{۲*}، عزیز عظیمی^۳

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران، اهواز
* تهران، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۵، Maerefat@modares.ac.ir

چکیده- در سیستم تولید همزمان سرما، گرما و برق، با بازیافت گرمای هدررفته از محرک، گرما و سرمای مورد نیاز تامین می‌شود. در این پژوهش، سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج برای ساختمان‌های مسکونی در آب و هوای تهران، از نظر دو معیار صرفه‌جویی مصرف انرژی و کاهش انتشار آلودگی، مقایسه شده است. حالت طراحی سیستم تولید همزمان در این بررسی طراحی براساس بیشینه برق یا گرمای مورد نیاز و بزرگ‌ترین مستطیل برق یا گرمای مورد نیاز می‌باشد. برای ساختمان مسکونی پنج و یازده طبقه، طراحی سیستم تولید همزمان براساس بزرگ‌ترین مستطیل برق، بزرگ‌ترین مستطیل گرما و بزرگ‌ترین برق مورد نیاز بهترین طراحی‌ها می‌باشند. در صورتی که برای تامین سرما چیلر الکتریکی به همراه چیلر جذبی به کار گرفته شود، کارایی قابل توجهی نسبت به سیستم رایج دارند. در بهترین حالت مقدار ۱۳٪ در مصرف سوخت و ۱۲٪ از انتشار آلودگی کاسته می‌شود. در حالتی که فقط چیلر جذبی به کار گرفته شود، نسبت به سیستم رایج، مصرف سوخت و انتشار آلودگی بیشتر می‌شود. در این حالت بدترین استراتژی نیز بزرگ‌ترین برق و بزرگ‌ترین گرما می‌باشند. در بدترین حالت مقدار مصرف سوخت ۳۹٪ و انتشار آلودگی ۵۶٪ افزایش می‌یابد. بازگشت سرمایه برای ۱۱ طبقه ۵/۵ سال و برای ۵ طبقه ۷ سال به دست آمده است.

کلیدواژه‌گان: تولید همزمان سرما، گرما و برق؛ صرفه‌جویی مصرف انرژی؛ کاهش انتشار آلودگی؛ چیلر جذبی

Design combined cooling, heating and power system for residential buildings in Tehran climate

H. Ghasemzadeh¹, M. Maerefat^{2*}, A. Azimi³

- 1- MSc., Mech. Eng., Tarbiat Modares Univ., Tehran, Iran.
2- Assoc. Prof., Mech. Eng., Tarbiat Modares Univ., Tehran, Iran.
3- Assis. Prof., Mech. Eng., Shahid Chamran Univ., Ahvaz, Iran.
*P.O.B. 143-14115 Tehran, Iran, maerefat@modares.ac.ir

Abstract- In the combined cooling, heating and power system, electricity is produced by prime mover. Recovered heat from the prime mover supplies heating and cooling demands. In this research, primary energy saving and carbon dioxide emission reduction are employed to evaluate the performances of CCHP system compared with conventional system for residential buildings in Tehran. The combined cooling, heating and power system follows Maximum electrical or thermal demand and Maximum rectangle electrical or thermal demand management. The results indicate that CCHP system for residential five, eleven-storey buildings, in maximum rectangle electrical demand, maximum rectangle thermal and maximum electrical demand modes is the best strategy, if cooling demand is produced by absorption chiller and electric chiller. In the best strategy, primary energy saving and carbon dioxide emission reduction are 13% and 12%, respectively. If cooling demand is produced only by absorption chiller, primary energy saving and carbon dioxide emission reduction are decreased. In this case, maximum electrical and thermal demands are the worst strategies. In the worst case, energy consumption and carbon dioxide emission in CCHP are increased 39% and 56% compared to the conventional system, respectively. Payback period in these strategies are calculated 5.5 and 7 years for 11 and 5 stories.

Keywords: Combined Cooling, Heating and Power; Energy Saving; Carbon Dioxide Emission Reduction; Absorption Chiller

۱- مقدمه

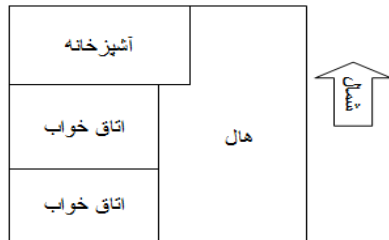
به بررسی مزایای سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما نسبت به سیستم رایج پرداخته شده و استراتژی مناسب برای طراحی سیستم تولید همزمان انتخاب می‌شود.

۲- محاسبه انرژی مورد نیاز منازل مسکونی

ساختمان‌های مسکونی مورد بررسی پنج و یازده طبقه‌اند که هر طبقه شامل یک واحد و مساحت هر طبقه نیز ۹۰ متر مربع می‌باشد و همچنین تعداد اعضای ساکن در هر واحد ۴ نفر است. مشخصات فنی ساختمان مانند مشخصات ارائه شده در مرجع شماره [۱۱] و شکل ۱ در نظر گرفته شده است.

برای محاسبه مقدار انرژی الکتریکی مصرفی هر خانوار، مصرف الکتریکی هر دستگاه را در زمانی که از آن استفاده می‌شود ضرب کرده و کیلووات ساعت مصرفی هر وسیله در یک روز به دست آمده و در نهایت مجموع این کیلووات ساعت برای یک ماه و یک سال به دست می‌آید.

در جدول ۱ نرخ مصرف انرژی الکتریکی برای نمونه در ماه دی برای یک واحد نشان داده شده است.



شکل ۱ نقشه ساختمان مسکونی مورد مطالعه

جدول ۱ مقدار و ساعت مصرف الکتریسیته توسط تجهیزات الکتریکی [۱۱]

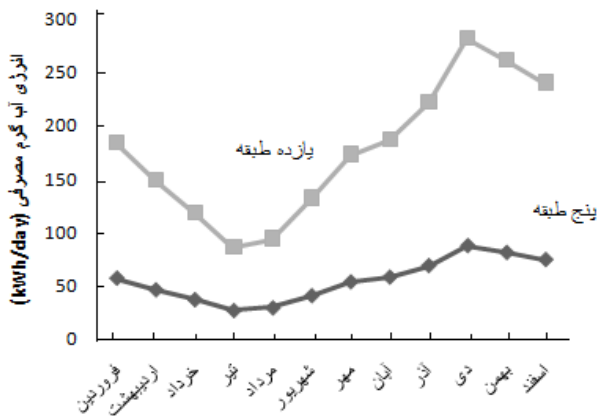
تجهیزات	مصرف انرژی الکتریکی (W)	ساعت مصرف
تلویزیون	۷۰	۱۳-۸، ۲۳-۱۶
کامپیوتر	۱۲۱	۲۲-۱۹
ماشین لباسشویی	۳۴۵	۱۱-۹
سشوار	۹۵	۳۰-۷، ۳۰-۱۸-۱۸
اتو	۹۶۴	۳۰-۷-۷
یخچال	۲۷۰	نیم ساعت در هر ساعت
لامپ‌ها	۸۰	۶-۲۳
لامپ‌ها	۱۸۰	۸-۶
لامپ‌ها	۳۵۰	۱۹-۱۶
لامپ‌ها	۶۳۰	۲۳-۱۹

طبق مفهوم تولید همزمان سرما، گرما و برق^۱، برق مورد نیاز در محل مصرف تولید می‌شود و قسمت عمده حرارت دفعی نیز برای تامین نیازهای گرمایش و سرمایش مصرف‌کننده بازیافت می‌شود. بنابراین راندمان کلی تبدیل نیز به میزان قابل توجهی بهبود می‌یابد. در نیروگاه‌های سنتی، گرمایی که به عنوان محصول جنبی الکتریسیته تولید می‌شود، به محیط دفع می‌شود اما در سیستم تولید همزمان، این حرارت جذب شده و برای مصارف گرمایش و یا با استفاده از چیلرهای جذبی^۲ برای مصارف سرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. محل مصرف این انرژی باید در نزدیکی محل تولید برق باشد، زیرا در غیر این صورت برای انتقال انرژی حرارتی به دوردست نیازمند هزینه‌های بالای عایق‌بندی و نیز تحمل اتلاف بالا و راندمان پایین هستیم [۲، ۱].

در سال ۲۰۰۹، ماگو، فومو و چمرا به آنالیز عملکرد سیستم تولید همزمان برق و گرما براساس استراتژی بار گرمایی و بار الکتریکی پرداختند [۳]. در تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۵، یوگورسال و نایت به بررسی تکنولوژی‌های موجود برای طراحی سیستم تولید همزمان در کاربردهای خانگی پرداختند [۴]. همچنین در همین سال فومو، ماگو و چمرا به آنالیز سیستم تولید همزمان بر اساس مصرف سوخت اولیه پرداختند [۵]. در سال ۲۰۰۳، کاردونا و پیانچزا به بررسی روشی جدید به نام بزرگ‌ترین مستطیل برای طراحی تولید همزمان در آب و هوای مدیترانه‌ای پرداختند [۶]. در سال ۲۰۱۰ هونگبو و گائو به ارزیابی محیطی و اقتصادی سیستم تولید همزمان برق و گرما در استراتژی‌های مختلف برای ساختمان‌های ژاپن پرداختند [۷]. آنالیز و بهینه‌سازی سیستم تولید همزمان براساس انرژی، اقتصادی و محیطی توسط ماگو و چمرا در سال ۲۰۰۹ انجام شده است [۸]. در سال ۲۰۰۴ جلالزاده به مقایسه سیستم تولید همزمان براساس استراتژی گرمایی و الکتریکی پرداخته است [۹].

در این پژوهش، با توجه به استراتژی‌های مختلف طراحی و معیارهای صرفه‌جویی مصرف سوخت^۳ و کاهش انتشار آلودگی^۴،

1. Combined Cooling, Heating and Power (CCHP)
2. Absorption chiller
3. Primary Energy Saving (PES)
4. Carbon Dioxide Emission Reduction (CDER)



شکل ۴ انرژی گرمایی مورد نیاز برای آب گرم مصرفی

۳- روابط و معادلات حاکم بر سیستم‌ها

۳-۱- سیستم رایج

در سیستم رایج [۱۲،۴]، همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، گرمای مورد نیاز از بویلر و سرمای مورد نیاز از چیلر الکتریکی تامین می‌شود و برق مورد نیاز نیز از شبکه خریداری می‌شود.

برق لازم برای تامین سرمای مورد نیاز برابر است با:

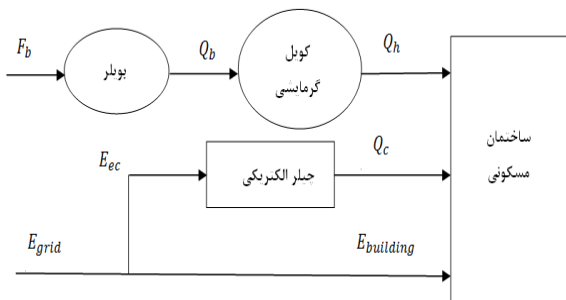
$$E_{ec} = \frac{Q_c}{COP_{ec}} \quad (2)$$

که Q_c سرمای مورد نیاز می‌باشد. همچنین برخی از پارامترها در قسمت علائم آورده شده است. برق مورد نیاز در سیستم رایج برابر است با:

$$E_{total} = E_{grid} = E_{ec} + E_{building} \quad (3)$$

مقدار سوخت مصرف‌شده برای تامین برق مورد نیاز برابر است با:

$$F_e^{CON} = \frac{E_{total}}{\eta_{e}^{CON} \eta_{dist}} \quad (4)$$



شکل ۵ شماتیکی از سیستم رایج

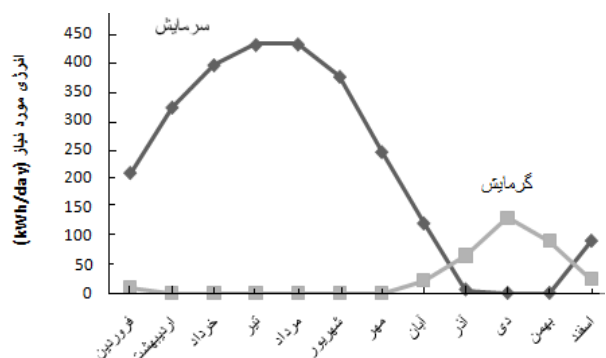
مسلمان در تمام طبقات برج مسکونی، در یک زمان ثابت از وسایل الکتریکی استفاده نمی‌گردد. لذا، با توجه به ضریب همزمانی که برای ساختمان مسکونی پنج طبقه برابر ۰/۷ و برای یازده طبقه ۰/۵ در نظر گرفته شده است، مصرف برق کل برج مسکونی محاسبه می‌شود [۱۰]. برای مشخص کردن گرمایش و سرمایش مورد نیاز نیز از نرم‌افزار کریبر استفاده شده است. شکل ۲ و ۳ گرمایش و سرمایش مورد نیاز برای ساختمان ۵ و ۱۱ طبقه را نشان می‌دهد. انرژی گرمایی مورد نیاز برای تامین آب گرم نیز با توجه به رابطه (۱) به دست می‌آید [۱۱].

میانگین آب گرم مصرفی برای استحمام برای ۴ نفر، ۳۵۸/۵ لیتر بر روز و دمای مورد نیاز ۴۱/۵ درجه سانتی‌گراد و برای آب گرم مصرفی برای شستن ظرف‌ها نیز ۳۰ لیتر بر روز با دمای ۵۲ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. با توجه به فرمول زیر می‌توان گرمای مورد نیاز را محاسبه کرد:

$$Q = \rho_w C_w [V_1(T_1 - T_0) + V_2(T_2 - T_0)] \quad (1)$$

همچنین، فرض می‌کنیم که مصرف آب گرم به صورت یکنواخت بین ساعت ۵ صبح تا ۱۱ شب صورت می‌گیرد.

شکل ۴ انرژی گرمایی مورد نیاز برای آب گرم مصرفی ساختمان‌های مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۲ گرمایش و سرمایش مورد نیاز ساختمان مسکونی ۵ طبقه



شکل ۳ گرمایش و سرمایش مورد نیاز ساختمان مسکونی ۱۱ طبقه

گرمای بازیافت‌شده از محرک برابر است با:

$$Q_r = F_{pgu} (\eta_r (1 - \eta_e)) \quad (9)$$

مقدار گرمای لازم برای تامین سرمای مورد نیاز برابر است:

$$Q_{req} = \frac{Q_c}{COP_{ac}} \quad (10)$$

مقدار گرمای لازم برای تامین گرمای مورد نیاز برابر است با:

$$Q_{hc} = \frac{Q_h}{\eta_h} \quad (11)$$

مقدار سوختی که توسط بویلر برای تامین گرمای مورد نیاز مصرف می‌شود برابر است با:

$$F_b = \frac{Q_{req} + Q_{hc} - Q_r}{\eta_b} \quad (12)$$

و مجموع مقدار سوخت مصرفی در این روش برابر است با:

$$F^{CHP} = F_{pgu} + F_b \quad (13)$$

۲-۲-۳-۲- تامین سرما توسط چیلر جذبی و چیلر الکتریکی

شماتیکی از این حالت در شکل ۷ نشان داده شده است. در این حالت گرمای بازیافت‌شده از محرک اولیه فقط برای تامین گرمایش و آب گرم مصرفی به کار می‌رود. اگر گرمای مورد نیاز بیشتر از مقدار بازیافت باشد، از بویلر استفاده می‌کنیم ولی اگر مقدار گرمای مورد نیاز کمتر از مقدار بازیافت باشد، گرمای اضافه توسط چیلر جذبی برای تولید سرما مصرف می‌شود.

مقدار سوخت مصرفی برای تامین گرمای مورد نیاز برابر

است با:

$$F_b^{CON} = \frac{Q_h}{\eta_{hc} \eta_b} \quad (5)$$

که Q_h گرمای مورد نیاز می‌باشد و مجموع سوخت مصرفی در روش رایج برابر است با:

$$F^{CON} = F_b^{CON} + F_e^{CON} \quad (6)$$

۲-۲-۳-۲- سیستم تولید همزمان سرما، گرما و برق

۲-۲-۳-۱- تامین سرما فقط از طریق چیلر جذبی

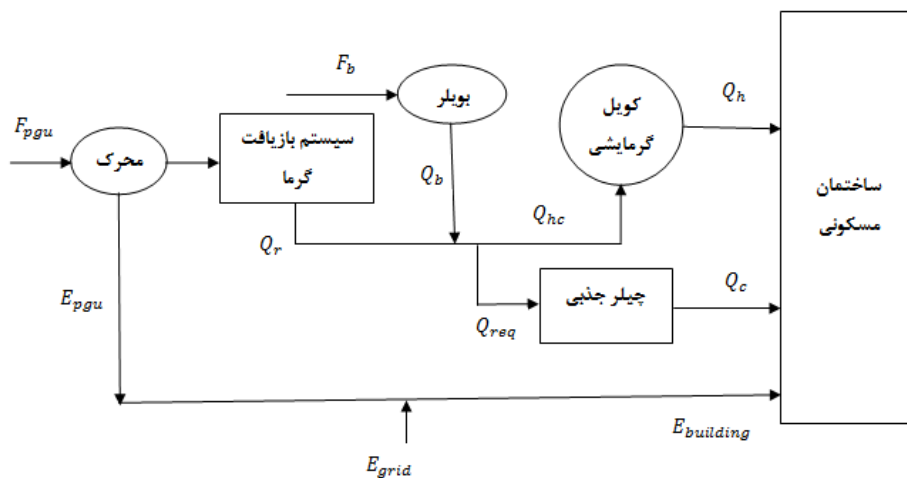
سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما در این حالت در شکل ۶ نشان داده شده است. در این حالت اولیه، با مصرف گاز طبیعی به عنوان سوخت، برق تولید کرده و گرمای بازیافت‌شده از محرک اولیه برای مصارف گرمایشی و آب گرم مصرفی و یا با استفاده از چیلر جذبی برای مصارف سرمایشی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برق مورد نیاز برای تامین سرمای مورد نیاز برابر است با:

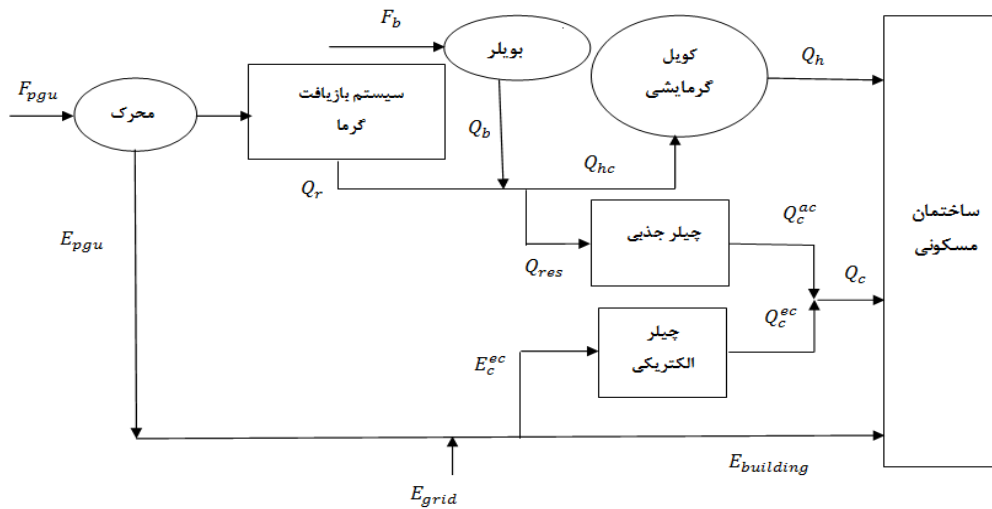
$$E_{total} = E_{grid} + E_{pgu} \quad (7)$$

که E_{pgu} برق تولیدی توسط محرک اولیه و E_{grid} مقدار برق خریداری‌شده از شبکه در صورت نیاز می‌باشد. سوخت مصرف‌شده توسط محرک برابر است با:

$$F_{pgu} = \frac{E_{pgu}}{\eta_e} \quad (8)$$



شکل ۶ طراحی از سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما (سرما فقط توسط چیلر جذبی تامین می‌شود)



شکل ۷ طرحی از سیستم تولید همزمان برق و گرما و سرما (سرما توسط چیلر جذبی به همراه چیلر الکتریکی تامین می‌شود)

$$E_{building} \langle E_{pgu} \rightarrow \begin{cases} E_{building} - E_{pgu} = E_{grid} \\ E_{total} = E_{grid} + E_c^{ec} \end{cases} \quad (17)$$

$$E_{building} \langle E_{pgu} \rightarrow E_{total} = E_{building} + E_c^{ec} - E_{pgu} \quad (18)$$

اگر در رابطه بالا E_{total} کوچک‌تر از صفر شود، در حقیقت یعنی نیازی به خرید برق از شبکه نمی‌باشد. سوخت مصرفی برای تامین برق مورد نیاز در این روش برابر است با:

$$F_e = \frac{E_{total}}{\eta_e^{CON} \eta_{dist}} \quad (19)$$

و مجموع سوخت مصرفی در این روش برابر است با:

$$F^{CHP} = F_{pgu} + F_b + F_e \quad (20)$$

۴- معیارهای ارزیابی

۴-۱- صرفه‌جویی در مصرف انرژی

براساس این معیار، مقدار صرفه‌جویی در مصرف سوخت برای تامین انرژی مورد نیاز سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج را محاسبه کرده و با مقایسه مصرف سوخت در دو حالت می‌توان به ارزیابی سیستم تولید همزمان نسبت به تولید رایج پرداخت.

$$PES = \frac{F^{CON} - F^{CHP}}{F^{CON}} \quad (21)$$

اگر مقدار سرمای تولیدی توسط چیلر جذبی کمتر از مقدار سرمای مورد نیاز باشد، بقیه سرما توسط چیلر الکتریکی با مصرف برق از شبکه و یا از برق تولیدی اضافه توسط محرک مورد نظر تامین می‌شود. در این روش بویلر کمکی فقط برای تامین بار گرمایشی و آب گرم مصرفی به کار می‌رود و برای تامین گرمای مورد نیاز چیلر جذبی برای تولید سرما استفاده نمی‌شود. اگر مقدار گرمای بازیافت‌شده بیشتر از مقدار گرمای مورد نیاز برای تامین بار گرمایشی و آب گرم مصرفی باشد:

$$Q_r \langle Q_{hc} \rightarrow \begin{cases} Q_b = 0 \rightarrow F_b = 0 \\ Q_{res} = Q_r - Q_{hc} \rightarrow Q_c^{ac} = Q_{res} COP_{ac} \end{cases} \quad (14)$$

که Q_c^{ac} مقدار سرمای است که توسط چیلر جذبی از گرمای باقی‌مانده تولید می‌شود.

اگر مقدار گرمای بازیافت‌شده کمتر از مقدار گرمای مورد نیاز باشد:

$$Q_r \langle Q_{hc} \rightarrow \begin{cases} Q_b = Q_{hc} - Q_r \rightarrow F_b = \frac{Q_b}{\eta_b} \\ Q_c^{ac} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

سرمای تولیدی توسط چیلر الکتریکی و برق مورد نیاز برابر است با:

$$Q_c^{ec} = Q_c - Q_c^{ac} \rightarrow \begin{cases} Q_c^{ec} \langle 0 \rightarrow E_c^{ec} = 0 \\ Q_c^{ec} \rangle 0 \rightarrow E_c^{ec} = \frac{Q_c^{ec}}{COP_{ec}} \end{cases} \quad (16)$$

۴-۲- کاهش انتشار آلودگی

اولیه کمتر از گرمای مورد نیاز باشد، می‌توان با بویلر کمکی کمبود گرما را تامین کرد و اگر بیشتر از گرمای مورد نیاز باشد، بدون مصرف باقی می‌ماند. [۱۰].

براساس این معیار، می‌توان مقدار کاهش انتشار آلودگی در سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج را محاسبه کرده و به ارزیابی سیستم تولید همزمان نسبت به رایج پرداخت.

$$CDE^{CON} = \mu_f F_b + \mu_e F_{grid} \quad (22)$$

$$CDE^{CCHP} = \mu_f (F_b + F_{pgu}) + \mu_e E_{grid} \quad (23)$$

$$CDER = \frac{CDE^{CON} - CDE^{CCHP}}{CDE^{CON}} \quad (24)$$

۵-۳- براساس بزرگ‌ترین مستطیل گرمای مورد نیاز

در روش بزرگ‌ترین مستطیل گرمای مورد نیاز^۳، ابتدا نمودار مدت زمان اعمال بار-گرمای مورد نیاز را رسم و سپس بزرگ‌ترین مستطیل ممکن زیر نمودار را رسم کرده و نقطه‌ای که مستطیل رسم شده محور عمودی (گرما) را قطع می‌کند در حقیقت ظرفیت محرک را مشخص می‌کند. برق تولیدی اگر کمتر از مقدار مورد نیاز باشد، کمبود برق با خریداری از شبکه جبران می‌شود. همچنین گرمای بازیافت‌شده اگر کمتر از مقدار مورد نیاز باشد، توسط بویلر تامین و اگر از مقدار مورد نیاز بیشتر باشد، در صورت امکان برای مصارف دیگر به کار می‌رود [۷].

۴-۳- زمان برگشت سرمایه

با توجه به قیمت اجزای سیستم تولید همزمان و همچنین قیمت برق و گاز طبیعی و روابط ارائه‌شده، می‌توان مدت زمان برگشت سرمایه را محاسبه کرد.

$$CO_{save} = CO_{CON}^{CO} + CO_{CON}^{gas} - CO_{CCHP}^{CO} - CO_{CCHP}^{gas} \quad (25)$$

که CO_{save} مقدار صرفه‌جویی هزینه در خرید گاز طبیعی و برق شبکه به خاطر تولید توسط سیستم تولید همزمان است.

$$\text{برگشت سرمایه} = \frac{CO_{CCHP}^{Inv}}{CO_{save}} \quad (26)$$

که CO_{CCHP}^{Inv} کل هزینه نصب و نگهداری همه اجزای سیستم مورد نظر از قبیل محرک، چیلر جذبی، بویلر و چیلر الکتریکی می‌باشد.

۵- استراتژی‌های طراحی سیستم CCHP

۱-۵- براساس ماکزیمم گرمای مورد نیاز

در این روش محرک طوری انتخاب می‌شود که ماکزیمم گرمای مورد نیاز^۱ را تامین کند و برق تولیدی توسط محرک، اگر کمتر از برق مورد نیاز باشد، می‌توان با خریداری از شبکه کمبود برق را جبران کرد و اگر بیشتر از برق مورد نیاز باشد، می‌توان در صورت امکان به شبکه فروخت و یا در باتری ذخیره کرد [۱۰].

۲-۵- براساس ماکزیمم برق مورد نیاز

در این روش محرک اولیه طوری انتخاب می‌شود که ماکزیمم برق مورد نیاز^۲ را تامین کند و اگر گرمای بازیافت‌شده از محرک

۵-۴- براساس بزرگ‌ترین مستطیل برق مورد نیاز

در روش بزرگ‌ترین مستطیل برق مورد نیاز^۴، ابتدا نمودار مدت زمان اعمال بار-برق مورد نیاز را رسم و سپس بزرگ‌ترین مستطیل ممکن را رسم کرده و نقطه‌ای که مستطیل رسم شده محور عمودی (برق) را قطع می‌کند در حقیقت مقدار ظرفیت برق تولیدی توسط محرک را مشخص می‌کند. برق و گرمای تولیدی اگر بیشتر از نیاز باشد، برای مصارف دیگر استفاده می‌شود و اگر کمتر باشد، برق با خریداری از شبکه و گرما با استفاده از بویلر تامین می‌شود [۷].

۶- نتایج

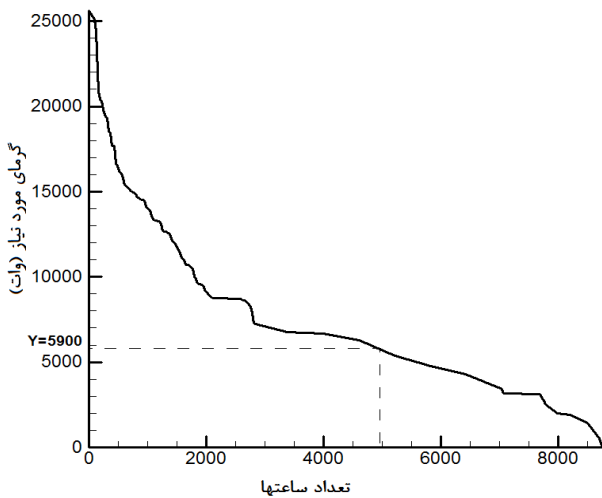
برای مشخص کردن ظرفیت محرک برای طراحی سیستم تولید همزمان سرما، گرما و برق به روش بزرگ‌ترین مستطیل، لازم است نمودارهای مدت زمان اعمال بار-گرمای مورد نیاز را رسم کرد. برای رسم نمودار مدت زمان اعمال بار-گرما، ابتدا مقدار گرمای مورد نیاز برای سیستم گرمایشی و آب گرم مصرفی در تمام ساعات‌های سال محاسبه می‌شود. گرمای مورد نیاز را از

3. Maximum Rectangle Thermal Demand Management (MRTDM)

4. Maximum Rectangle Electric Demand Management (MREDM)

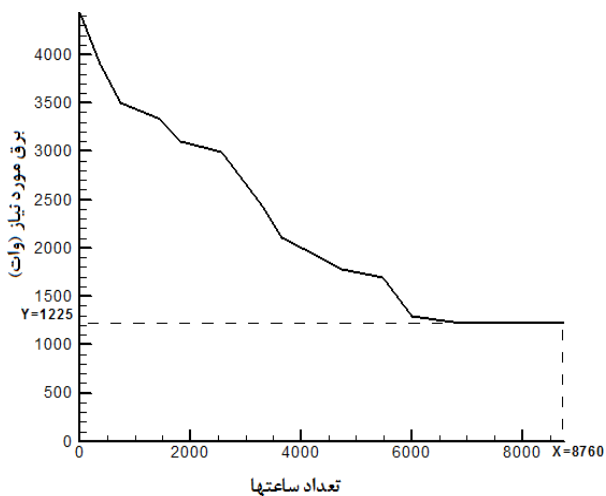
1. Maximum Thermal Demand Management (MTDM)

2. Maximum Electric Demand Management (MEDM)



شکل ۹ مدت زمان اعمال بار- گرمای مورد نیاز (۱۱ طبقه)

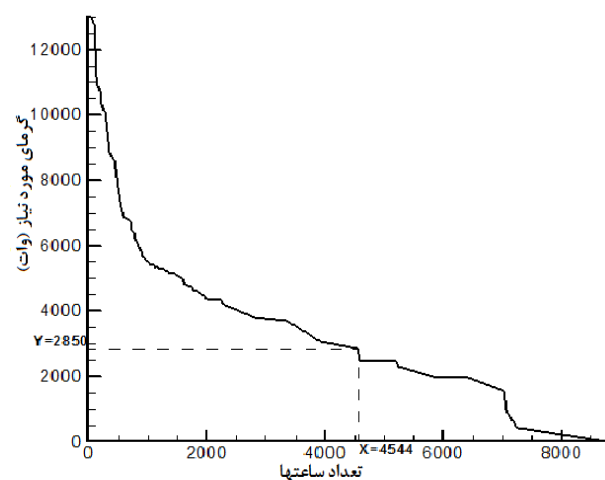
طبق شکل ۱۰ و ۱۱، برای ساختمان‌های مسکونی مورد بررسی، با توجه به محاسبه برق مورد نیاز و رسم نمودار مدت زمان اعمال بار-برق مورد نیاز و رسم بزرگ‌ترین مستطیل ممکن زیر نمودار، مشخص شده که محرک باید طوری انتخاب شود که به ترتیب برای پنج و یازده طبقه مقدار ۱۲۲۵ و ۲۳۱۰ وات برق تولید نماید. البته محرک با ظرفیت‌های اشاره‌شده در همه ساعات نیازهای خانوار را تامین نمی‌کند. در جدول ۲ قیمت‌ها به صورت مثال آورده شده‌اند که تا حدودی از قیمت‌های واقعی متاثر می‌باشند. برای محاسبه دقیق، قیمت‌های روز دستگاه‌ها و سیاست روز دولت و نرخ روز ارز مورد نیاز است. همچنین محرک همیشه در حالت بار کامل کار می‌کند.



شکل ۱۰ مدت زمان اعمال بار- برق مورد نیاز (۵ طبقه)

ماکزیمم به مینیمم مرتب کرده و همچنین مدت زمان اعمال بار را مشخص و سپس نمودار مدت زمان اعمال بار- مقدار گرما رسم می‌شود. با توجه به نمودار، بزرگ‌ترین مستطیل ممکن زیر نمودار را رسم می‌کنیم و نقطه‌ای که مستطیل رسم‌شده محور عمودی را قطع می‌کند ظرفیت گرمای بازیافت‌شده از محرک در نظر گرفته می‌شود. یعنی محرک طوری انتخاب می‌شود که این مقدار گرما را بتوان از آن بازیافت نمود.

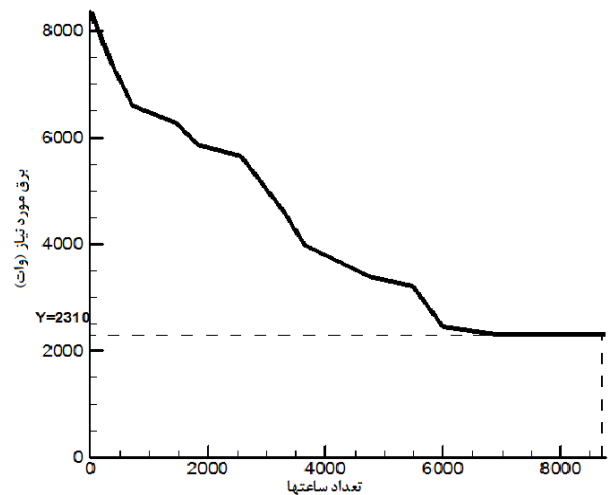
طبق شکل ۸ و ۹، برای ساختمان مسکونی پنج و یازده طبقه مورد بررسی، با توجه به محاسبه گرمای مورد نیاز و رسم نمودار مدت زمان اعمال بار-گرمای مورد نیاز و رسم بزرگ‌ترین مستطیل ممکن زیر نمودار، مشخص شده است که محرک باید طوری انتخاب شود که مقدار گرمایی که باید از محرک بازیافت شود برای پنج و یازده طبقه به ترتیب برابر ۲۸۵۰ و ۵۹۰۰ وات باشد. برای رسم نمودار مدت زمان اعمال بار- برق مورد نیاز، مقدار برق مصرفی توسط تجهیزات روشنایی و الکتریکی بدون در نظر گرفتن برق مصرفی توسط تجهیزات سرمایشی را در تمام ساعات‌های سال محاسبه کرده و مانند روش قبل برق مورد نیاز را از ماکزیمم به مینیمم مرتب می‌کنیم و همچنین مدت زمانی که این مقدار برق مورد نیاز می‌باشد را مشخص کرده و سپس نمودار مدت زمان اعمال بار-برق مورد نیاز را رسم و براساس نمودار رسم‌شده بزرگ‌ترین مستطیل ممکن زیر نمودار رسم می‌شود. نقطه‌ای که مستطیل رسم‌شده محور عمودی (برق) را قطع کرده، مقدار برق تولیدی توسط محرک در نظر گرفته شده است. یعنی محرک باید طوری انتخاب شود که این مقدار برق را تولید کند.



شکل ۸ مدت زمان اعمال بار- گرمای مورد نیاز (۵ طبقه)

۶-۱- سرمای مورد نیاز فقط از طریق چیلر جذبی

شکل‌های ۱۲ و ۱۴ مقدار صرفه‌جویی در مصرف سوخت و شکل‌های ۱۳ و ۱۵ مقدار کاهش انتشار آلودگی در سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج در استراتژی‌های مختلف را نشان می‌دهند. در سیستم تولید همزمان در استراتژی‌های بزرگترین مستطیل برق و بزرگترین مستطیل گرمای مورد نیاز در چهار ماه سرد سال (آذر، دی، بهمن و اسفند) مقدار مصرف سوخت کمتر شده است. همچنین، با توجه به کاهش مصرف سوخت، مقدار انتشار آلودگی نیز کاهش می‌یابد که در حقیقت نشانه کارایی سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج است. به دلیل اینکه طراحی به روش بزرگترین مستطیل برق و گرما در حقیقت مقداری از گرما و برق مورد نیاز را تامین می‌کند و در بیشتر ساعات فصل سرما تولید اضافه‌ای در این روش وجود ندارد، در نتیجه تمام برق و گرمای تولید شده در این روش که با مصرف سوخت همراه می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

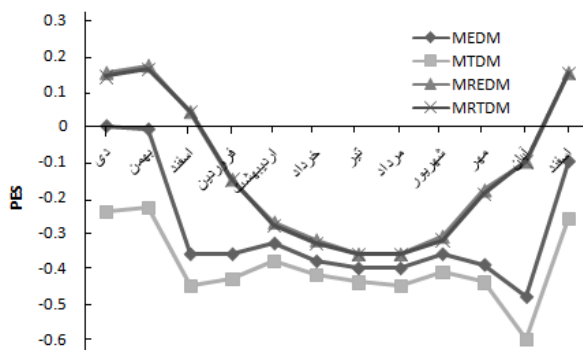


شکل ۱۱ زمان اعمال بار- برق مورد نیاز (۱۱ طبقه)

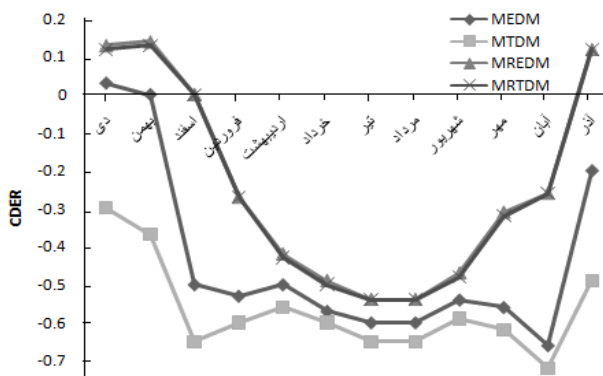
جدول ۲ مشخصات و قیمت سیستم‌ها

مقدار	نشانه	سیستم رایج
	CON	سیستم رایج
۰/۳۲	η_e^{CON}	راندمان*
۳	COP_{ec}	ضریب عملکرد چیلر الکتریکی*
۰/۸	η_{hc}	راندمان کویل گرمایشی
۰/۸	η_b	راندمان بویلر*
۰/۹۲	η_{dist}	راندمان توزیع برق*
	CCHP	سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما
۰/۲۶	η_e	راندمان الکتریکی محرک**
۰/۸	η_f	راندمان سیستم بازیافت گرما*
۰/۷	COP_{ac}	ضریب عملکرد چیلر جذبی*
	μ	CO ₂ ضریب تبدیل انتشار
۵۴۵	μ_e	برق شبکه (گرم بر کیلووات ساعت)*
۱۸۵	μ_f	گاز طبیعی (گرم بر کیلووات ساعت)*
	CO	هزینه‌ها (قیمت‌ها)
۱۷۰۰	CO^e	برق شبکه (ریال بر کیلووات ساعت)*
۶۰۰	CO^{gas}	گاز طبیعی (ریال بر مترمکعب)*
70×10^6	CO_{pgu}^{Inv}	محرک تولید برق (ریال بر کیلووات)**
17×10^4	CO_b^{Inv}	بویلر (ریال بر کیلووات)*
10×10^6	CO_{ac}^{Inv}	چیلر جذبی (ریال بر کیلووات)**
16×10^5	CO_{ec}^{Inv}	چیلر الکتریکی (ریال بر کیلووات)**

* اقتباس از مرجع [۱۳]، ** اقتباس از مرجع [۱۴، ۱۶]، *** اقتباس از مرجع [۱۵]، **** ۷۰ میلیون بر کیلووات



شکل ۱۲ صرفه‌جویی در مصرف سوخت در ماه‌های سال در استراتژی مختلف، ساختمان ۵ طبقه

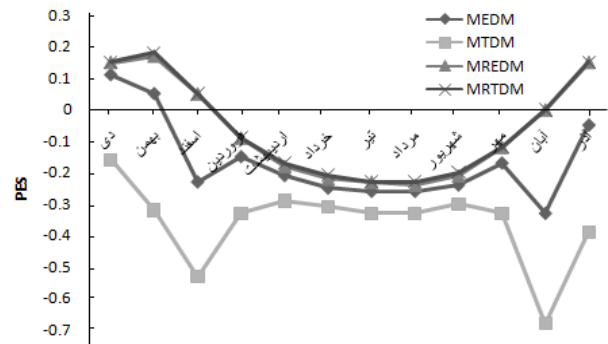


شکل ۱۳ کاهش انتشار آلودگی در ماه‌های سال در استراتژی مختلف، ساختمان ۵ طبقه

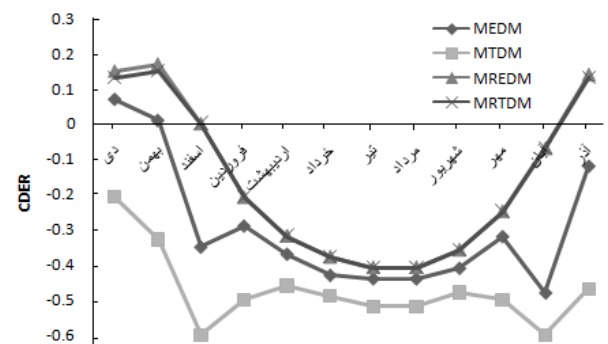
سوخت در سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج، که سرمای مورد نیاز از چیلر الکتریکی با ضریب عملکرد بالا تامین می‌شود، و همچنین انتشار آلودگی بیشتر می‌باشد. همان‌طور که در نمودارها مشخص است، هر چه مقدار سرمای مورد نیاز در ماه‌های سال بیشتر باشد، مقدار مصرف سوخت نسبت به سیستم رایج و همچنین انتشار آلودگی بیشتر می‌شود.

در روش ماکزیمم برق مورد نیاز محرک طوری انتخاب می‌شود که بیشترین مقدار برق مورد نیاز را تامین کند. با توجه به شکل ۱۲ و ۱۴، در دو ماه از ماه‌های سرد سال، دی و بهمن، مصرف سوخت در سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج کمتر می‌شود. ولی برای ساختمان پنج طبقه آنچنان اختلاف بارزی ندارند و تقریباً به سمت صفر میل می‌کنند و این اختلاف برای ساختمان یازده طبقه بیشتر به نظر می‌رسد. همان‌طور که از نمودار مشخص است، مقدار صرفه‌جویی در مصرف سوخت در استراتژی ماکزیمم بار الکتریکی نسبت به بزرگ‌ترین مستطیل کمتر می‌باشد، به خاطر اینکه گرمای تولیدشده در روش ماکزیمم بار الکتریکی در بعضی از ساعات ماه‌های سرد سال بیشتر از مقدار گرمای مورد نیاز می‌باشد، در نتیجه باعث کاهش صرفه‌جویی مصرف سوخت نسبت به بزرگ‌ترین مستطیلی که در اکثر ساعات ماه سرد سال تولید اضافه ندارد، می‌شود. در نتیجه کاهش صرفه‌جویی مصرف سوخت باعث افزایش انتشار آلودگی نسبت به بزرگ‌ترین مستطیل می‌شود. در بقیه ماه‌های سرد سال، آبان، آذر و اسفند، چون گرمای مورد نیاز نسبت به ماه‌های دی و بهمن کمتر می‌باشد، در حقیقت گرمای بازیافت‌شده بسیار بیشتر از گرمای مورد نیاز می‌باشد و این یعنی تولید گرمای بدون استفاده که با مصرف سوخت به‌دست آمده است؛ در نتیجه باعث افزایش مصرف سوخت و افزایش انتشار آلودگی نسبت به سیستم رایج می‌شود. در ماه‌های گرم برای تامین سرمای مورد نیاز از چیلر جذبی استفاده می‌شود. برای تامین گرمای مورد نیاز برای چیلر جذبی به بویلر کمکی نیاز داریم. به دلیل ضریب عملکرد پایین چیلر جذبی نسبت به چیلر الکتریکی باعث افزایش مصرف سوخت و افزایش انتشار آلودگی در سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج می‌شود.

در روش ماکزیمم گرمای مورد نیاز نیز سیستم براساس بیشترین گرمای مورد نیاز طراحی می‌شود، طوری که حتی در



شکل ۱۴ صرفه‌جویی در مصرف سوخت در ماه‌های سال در استراتژی مختلف، ساختمان ۱۱ طبقه

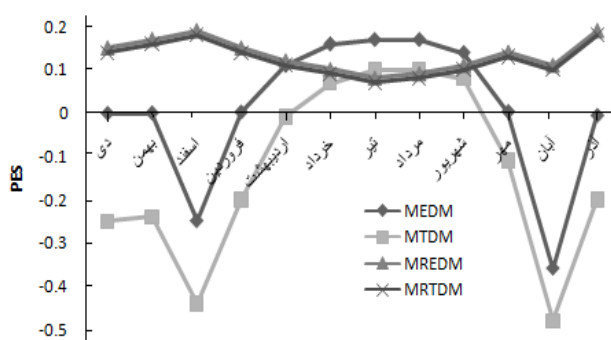


شکل ۱۵ کاهش انتشار آلودگی در ماه‌های سال در استراتژی مختلف، ساختمان ۱۱ طبقه

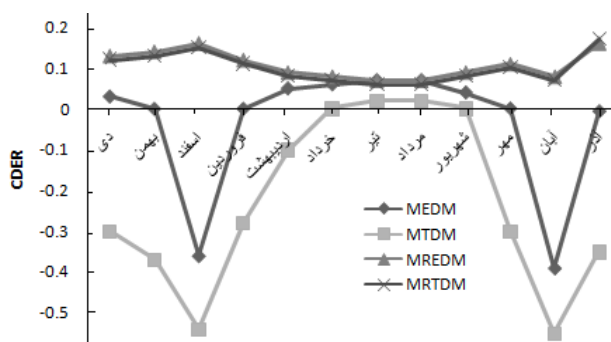
در ماه آبان در آب و هوای تهران، نیاز بار گرمایشی و سرمایشی تقریباً پایین می‌باشد و عملاً اکثر گرمای تولیدشده به‌هدر می‌رود. تولید این مقدار گرما توسط سیستم تولید همزمان با مصرف سوخت همراه می‌باشد، در صورتی که به این مقدار گرما و برق تولیدی احتیاج نمی‌باشد؛ در نتیجه مصرف سوخت در این ماه در سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج بیشتر می‌باشد و با توجه به افزایش مصرف سوخت، انتشار آلودگی نیز افزایش می‌یابد.

در ماه‌های دیگر سال، به دلیل نیاز بار سرمایشی و با توجه به اینکه بار سرمایشی مورد نیاز در سیستم تولید همزمان فقط توسط چیلر جذبی انجام می‌شود، چیلر جذبی نیز دارای ضریب عملکرد بسیار پایینی می‌باشد. ضریب عملکرد پایین باعث می‌شود که برای تولید سرمای مورد نیاز به گرمای زیادی نیاز باشد. گرمای مورد نیاز برای تولید سرما از مقدار گرمای بازیافت‌شده بیشتر می‌باشد و نیاز به استفاده از بویلر کمکی برای تامین گرمای مورد نیاز وجود دارد. به همین دلیل مصرف

شهریور که در حقیقت ماه‌های گرم سال می‌باشند و در این ماه‌ها به سرمای زیادی نیاز وجود دارد، این سرما توسط چیلر جذبی با مصرف گرمای بازیافت‌شده به‌دست می‌آید. در نتیجه گرمای بازیافت‌شده، علاوه بر تامین گرمای مورد نیاز، برای تامین سرما توسط چیلر جذبی مصرف می‌شود و همه گرمای بازیافت‌شده مصرف می‌شود. در این حالت، همان‌طور که در ابتدا اشاره شده است، برای تولید سرما در صورت نیاز از چیلر الکتریکی در کنار چیلر جذبی استفاده می‌شود. در نتیجه چون گرمای بازیافت‌شده همه سرمای مورد نیاز را تامین نمی‌کند، بقیه سرما توسط چیلر الکتریکی باید تامین شود. برق مصرفی توسط چیلر الکتریکی از برق تولیدی توسط محرک در صورت مزاد تامین می‌شود. در نتیجه در این حالت علاوه بر استفاده از گرمای بازیافت‌شده، از برق تولیدی اضافی برای چیلر الکتریکی استفاده می‌شود؛ در نتیجه مقدار تولید بدون مصرف در این ماه‌ها خیلی پایین می‌باشد و به این دلیل، مقدار مصرف انرژی و انتشار آلودگی در سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج کمتر می‌باشد.



شکل ۱۶ صرفه‌جویی در مصرف سوخت در ماه‌های سال در استراتژی مختلف، ساختمان ۵ طبقه



شکل ۱۷ کاهش انتشار آلودگی در ماه‌های سال در استراتژی مختلف، ساختمان ۵ طبقه

اکثر ساعت‌های سرد سال نیز به این مقدار گرما نیاز نمی‌باشد؛ در حقیقت تولید اضافه گرما که هیچ مصرفی ندارد. این گرمای تولیدی با مصرف سوخت همراه می‌باشد؛ در نتیجه مقدار مصرف سوخت در ماه‌های سرد سال در سیستم تولید همزمان نسبت به سیستم رایج افزایش می‌یابد. در ماه‌های گرم سال نیز، به همان دلایلی که در استراتژی‌های قبلی اشاره شده است، مصرف سوخت در سیستم تولید همزمان افزایش می‌یابد و با توجه به افزایش مصرف سوخت در تمام ماه‌های سال نسبت به سیستم رایج، انتشار آلودگی نیز افزایش می‌یابد.

۶-۲- سرما توسط چیلر جذبی به همراه چیلر الکتریکی

در حالت طراحی براساس بزرگترین بار گرمایی، در حقیقت سیستم طوری طراحی می‌شود که بیشترین بار گرمایی مورد نیاز در طول سال را تامین کند. به تبع زمان‌های زیادی در طول سال وجود دارد که نیازی به این گرما وجود ندارد و همان‌طور که در شکل ۱۶ و ۱۸ نشان داده شده، در ماه‌های سرد سال آذر، دی، بهمن مقدار مصرف انرژی در حالت تولید همزمان بیشتر از سیستم رایج می‌باشد. در ماه‌های آبان و اسفند، به خاطر اینکه بار گرمایی و سرمایشی مورد نیاز خیلی کمتر از مقدار تولیدی توسط سیستم تولید همزمان می‌باشد، مصرف انرژی در این دو ماه به مقدار زیادی نسبت به ماه‌های دیگر بیشتر است و به تبع انتشار آلودگی نیز، همان‌طور که در شکل‌های ۱۷ و ۱۹ نشان داده شده است، نسبت به سیستم رایج بیشتر می‌باشد. در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و مهر، چون علاوه بر گرما به مقداری سرما نیاز داریم، در نتیجه گرمای مورد نیاز از گرمای بازیافت‌شده تامین شده و از بقیه گرمای بازیافت‌شده برای تولید سرما، با استفاده از چیلر جذبی استفاده می‌شود. ولی با توجه به اینکه مقدار گرمایش و سرمایش مورد نیاز از مقدار گرمای بازیافت‌شده بیشتر می‌باشد، در نتیجه در این مدت نیز مقدار مصرف انرژی و در نتیجه انتشار آلودگی در سیستم تولید همزمان از سیستم رایج بیشتر است. در این مدت در حقیقت با مصرف سوخت گرما و برقی تولید می‌شود که هیچ بهره‌برداری از آن نمی‌شود. ولی در این ماه‌ها چون علاوه بر گرما، به مقداری سرما نیز نیاز داریم، در نتیجه گرمای اضافی توسط چیلر جذبی مصرف می‌شود. در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف انرژی و انتشار آلودگی نسبت به ماه‌های سرد سال شرایط بهتری دارد. در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و

نتیجه همه گرمای بازیافت‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، برق تولیدی، در زمان‌هایی که مقدار تولیدی بیشتر از مقدار مورد نیاز برای تجهیزات الکتریکی و روشنایی می‌باشد، توسط چیلر الکتریکی برای تولید سرما مورد نیاز، در صورتی که سرمای مورد نیاز بیشتر از سرمای تولید چیلر جذبی باشد، استفاده می‌شود. با این کار برق تولیدی مازاد نیز توسط سیستم تولید همزمان مصرف می‌شود که در نتیجه مقدار مصرف انرژی و انتشار آلودگی نسبت به سیستم رایج کمتر می‌باشد.

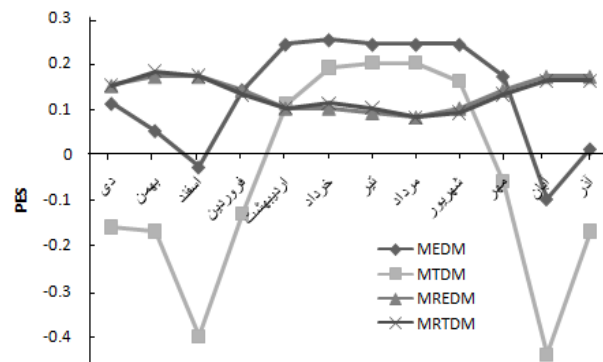
در حالت بزرگ‌ترین مستطیل برق و بزرگ‌ترین مستطیل گرما، موتور محرک انتخاب شده قسمتی از برق و گرمای مورد نیاز در سال را تامین می‌کند. در این استراتژی از تمام گرمای بازیافت‌شده و برق تولیدی برای تامین انرژی مورد نیاز مصرف‌کننده استفاده می‌شود و چون تولید اضافه نداریم، در تمام ماه‌های سال مقدار مصرف انرژی و انتشار آلودگی کمتر از سیستم رایج می‌باشد.

۷- عملکرد سالانه

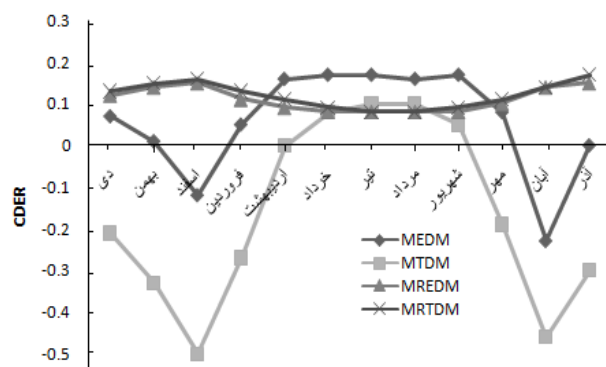
شکل‌های ۲۰ و ۲۱ عملکرد سالانه صرفه‌جویی در مصرف سوخت و کاهش انتشار آلودگی را برای استراتژی‌های مختلف برای منزل مسکونی پنج طبقه نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودارها مشخص می‌باشد، استراتژی بزرگ‌ترین مستطیل برق و گرما، در حالتی که سرمایه‌ش مورد نیاز توسط چیلر جذبی و چیلر الکتریکی تامین شود، بهترین استراتژی می‌باشد که با ۱۳٪ و ۱۲٪ صرفه‌جویی در مصرف سوخت، ۱۱٪ و ۱۰٪ کاهش انتشار آلودگی نسبت به سیستم رایج همراه می‌باشد. همچنین، در استراتژی بزرگ‌ترین برق مورد نیاز نیز در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود و انتشار آلودگی نیز در سیستم تولید همزمان کاهش می‌یابد، ولی نسبت به دو استراتژی قبلی بسیار کمتر می‌باشد.

بدترین استراتژی نیز استراتژی بزرگ‌ترین گرمای مورد نیاز در صورتی که سرمایه‌ش مورد نیاز فقط از طریق چیلر جذبی تامین شود که در این حالت مصرف سوخت به اندازه ۳۹٪ و انتشار آلودگی به اندازه ۵۶٪ در سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما نسبت به سیستم رایج افزایش می‌یابد.

شکل‌های ۲۲ و ۲۳، عملکرد سالانه صرفه‌جویی در مصرف سوخت و کاهش انتشار آلودگی را برای استراتژی‌های مختلف

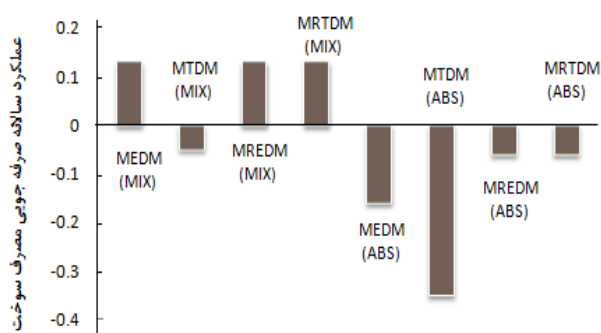


شکل ۱۸ صرفه جویی در مصرف سوخت در ماه‌های سال در استراتژی مختلف، ساختمان ۱۱ طبقه

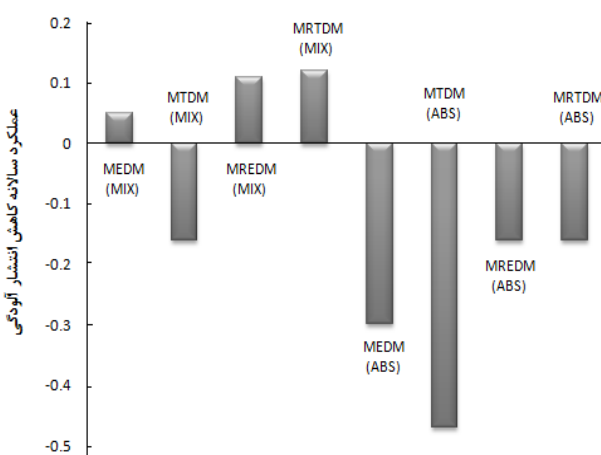


شکل ۱۹ کاهش انتشار آلودگی در ماه‌های سال در استراتژی مختلف، ساختمان ۱۱ طبقه

در حالت بزرگ‌ترین برق مورد نیاز، گرمایی که بازیافت می‌شود درصدی از گرمای مورد نیاز در ماه‌های سرد سال آذر، دی و بهمن می‌باشد، و گرمای بازیافت‌شده برای تامین گرمای زمستان مصرف می‌شود. ولی نقطه ضعف این حالت این است که برق تولیدی در اکثر ساعات بیشتر از مقدار مورد نیاز می‌باشد، ولی در کل چون درصد زیادی از گرمای مورد نیاز فصل سرد تامین می‌شود، مقدار مصرف انرژی و انتشار آلودگی نسبت به سیستم رایج کمتر می‌باشد. این اختلاف برای منزل مسکونی یازده طبقه خیلی بیشتر از پنج طبقه می‌باشد. در ماه‌های آبان و اسفند، همان‌طور که در استراتژی قبلی اشاره شده است، مقدار مصرف انرژی و انتشار آلودگی نسبت به سیستم رایج بیشتر می‌باشد، ولی در بقیه ماه‌ها چون علاوه بر گرما، به سرما نیاز داریم و گرمای بازیافت‌شده علاوه بر تامین گرما، برای تامین سرما توسط چیلر جذبی مصرف می‌شود، در



شکل ۲۲ عملکرد سالانه صرفه جویی مصرف سوخت در استراتژی مختلف (۱۱ طبقه)



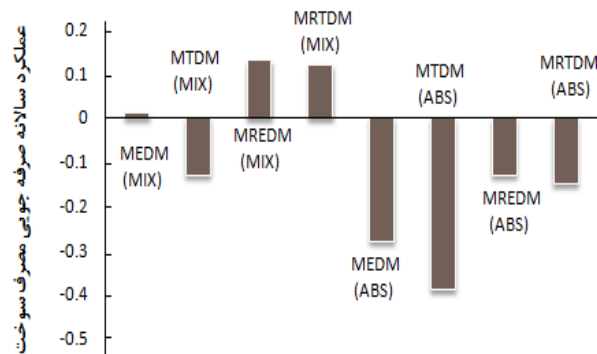
شکل ۲۳ عملکرد سالانه کاهش انتشار آلودگی در استراتژی مختلف (۱۱ طبقه)

۸- نتیجه گیری و جمع بندی

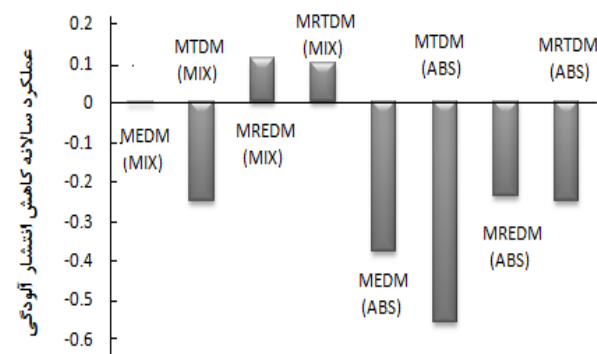
با توجه به انرژی مورد نیاز منزل مسکونی بررسی شده و استراتژی‌های طراحی سیستم تولید همزمان برق و گرما و سرما، به طراحی سیستم تولید همزمان برای ساختمان‌های مسکونی مورد بررسی پرداخته شده و همچنین برای مقایسه سیستم تولید همزمان برق و گرما و سرما نسبت به سیستم رایج، معیار کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار آلودگی در نظر گرفته شده است و در نهایت مدت زمان برگشت سرمایه محاسبه شده است. با توجه به بررسی انجام شده، در آب و هوای تهران استراتژی طراحی براساس بزرگ‌ترین مستطیل برق و مستطیل گرمای مورد نیاز و طراحی براساس ماکزیمم بار الکتریکی مورد نیاز بهترین استراتژی‌ها می‌باشند، در صورتی که برای تامین سرما علاوه بر چیلر جذبی از چیلر الکتریکی نیز

برای ساختمان مسکونی یازده طبقه نشان می‌دهد. استراتژی بزرگ‌ترین مستطیل برق و بزرگ‌ترین مستطیل گرما، در حالتی که سرمایه‌ش مورد نیاز توسط چیلر جذبی و چیلر الکتریکی تامین شود، جزو بهترین استراتژی‌ها می‌باشند که با ۱۳٪ و ۱۳٪ صرفه جویی در مصرف سوخت، ۱۲٪ و ۱۱٪ کاهش انتشار آلودگی نسبت به سیستم رایج همراه می‌باشد. همچنین در استراتژی بزرگ‌ترین برق مورد نیاز نیز به میزان ۱۳٪ در مصرف سوخت صرفه جویی می‌شود و انتشار آلودگی نیز در سیستم تولید همزمان کاهش می‌یابد، ولی نسبت به دو استراتژی قبلی بسیار کمتر می‌باشد و حدود ۵٪ می‌باشد.

بدترین استراتژی نیز، استراتژی بزرگ‌ترین گرمای مورد نیاز در صورتی که سرمایه‌ش مورد نیاز فقط از طریق چیلر جذبی تامین شود، می‌باشد که مصرف سوخت به اندازه ۳۵٪ و انتشار آلودگی به اندازه ۴۷٪ در سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما نسبت به سیستم رایج افزایش می‌یابد.



شکل ۲۰ عملکرد سالانه صرفه جویی مصرف سوخت در استراتژی مختلف (۵ طبقه)



شکل ۲۱ میانگین سالانه کاهش انتشار آلودگی در استراتژی مختلف (۵ طبقه)

Pgu	محرك
r	بازيافت گرما
0	محيط
1	استحمام
2	شستن ظرف

علايم يوناني

ρ	چگالي (kg/l)
μ	ضريب انتشار آلودگي (kg/kWh)
η	راندمان

۱۰- مراجع

- [1] Orlando J. A., *Cogeneration Design Guide*, USA, ASHRAE Inc, 1996.
- [2] ASHRAE handbook, *Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment (I-P Edition)*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, ISBN 978-1-933742-33-5, 2008.
- [3] Mago P. J., Fumo N., Chamra L. M., "Performance Analysis of CCHP and CHP Systems Operating Following the Thermal and Electric Load", *Int J Energy Res*, Vol. 33, 2009, pp. 852-864.
- [4] Onovwiona H. I., Ugursal V. I., "Residential Cogeneration Systems: Review of the Current Technology", *Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 10, 2006, pp. 389-431.
- [5] Mago P. J., Chamra L. M., "Analysis and Optimization of CCHP Systems Based on Energy, Economical, and Environmental Considerations", *Energy Build*, Vol. 41, 2009, pp. 1099-1106
- [6] Cardona E., Piacentino A., "A Methodology for Sizing a Trigeneration Plant in Mediterranean Areas", *Appl Therm Eng*, Vol. 23, 2003, pp. 1665-1680.
- [7] Hongbo R. N., Weijun G. O., "Economic and Environmental Evaluation of Micro CHP Systems with Different Operating Modes for Residential Buildings in Japan", *Energy and Buildings*, Vol.42, 2010, pp. 853-861.
- [8] Mago P., Chamra L., "Analysis and Optimization of CCHP systems based on energy, economical, and Environmental Considerations", *Energy and Buildings*, Vol. 41, 2009, pp. 1099-1106.
- [9] Jalalzadeh A., "A Comparison of Electrical and Thermal Load Following CHP Systems", *ASHRAE Transactions*, Vol. 110, 2004, pp. 85-94.

[۱۰] دستورالعمل برآورد بار در طراحی شبکه فشار ضعیف، شرکت توزیع نیروی برق، ۱۳۹۰.

استفاده شود. برای پنج طبقه در استراتژی بزرگترین مستطیل برق و مستطیل گرما، ۱۳٪ و ۱۲٪ و برای یازده طبقه، ۱۳٪ و ۱۳٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود. همچنین انتشار آلودگی در این استراتژی‌ها به ترتیب برای پنج طبقه ۱۱٪ و ۱۰٪ و یازده طبقه ۱۲٪ و ۱۱٪ نسبت به سیستم رایج کاسته می‌شود. برای یازده طبقه در استراتژی بزرگترین برق نیز، ۱۳٪ از مصرف سوخت و ۵٪ از انتشار آلودگی کاسته می‌شود. در صورتی که فقط چیلر جذبی به کار گرفته شود نسبت به سیستم رایج، مصرف سوخت و انتشار آلودگی بیشتر می‌شود که بدترین استراتژی نیز بزرگترین برق و گرمای مورد نیاز می‌باشند. در استراتژی بزرگترین گرما برای پنج طبقه به ترتیب ۳۹٪ و ۵۶٪ و برای یازده طبقه ۳۵٪ و ۴۷٪ مصرف سوخت و انتشار آلودگی نسبت به سیستم رایج افزایش می‌یابد. مدت زمان برگشت سرمایه نیز در استراتژی‌های بزرگترین برق، بزرگترین مستطیل برق و بزرگترین مستطیل گرمای مورد نیاز برای ساختمان پنج طبقه به مدت ۷ سال و برای یازده طبقه به مدت ۵/۵ سال می‌باشد.

۹- فهرست علايم

CO	هزينه
C_w	گرماي ویژه ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
F	سوخت
T	دما (K)
V	حجم (l)
W	آب

انديس‌ها

ac	چيلر جذبي
b	بويلر
c	سرما
dist	توزيع
e	الکتريسيته
ec	چيلر الکتریکي
f	سوخت
h	گرما
hc	کويل گرمایشی
inv	سرمایه‌گذاری

- [13] Teymouri F., Sattari S., "Technical and Economic Feasibility Study of using Micro CHP in the Different Climate Zones of Iran", *Energy*, Vol. 36, 2011, pp. 4790-4798
- [14] <http://www.berliner-e-agentur.de>. Visited on November 2011.
- [15] <http://www.tavanir.org.ir>. Visited on November 2011.
- [16] <http://criepi.denken.or.jp/jp/index.html>. visited in November 2011.
- [11] Ehyaei M. A., Bahadori M. N., "Selection of Micro Turbines to Meet Electrical and Thermal Energy Needs of Residential Buildings in Iran", *Energy and Buildings*, Vol. 39, 2007, pp. 1227-1234.
- [12] Mago P. J., Huffed A. "Evaluation of a Turbine Driven cchp System for Large Office Building under Different Operating Strategies", *Energy and building*, Vol.42, 2010, pp. 1628-1636.