ISME2014-XXXX

مدل‌سازی سیستم تولید همزمان (CCHP) با استفاده از انرژی‌نو در نرم‌افزار TRNSYS

محمدحسین شفیعی میم[۱]، محمد حجتی[۲]

استادیار دانشکده مکانیک، دانشگاه سیستان‌وبلوچستان، h.shafiei@eng.usb.ac.ir
دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه سیستان‌وبلوچستان، mohamadhojati35@gmail.com

چکیده

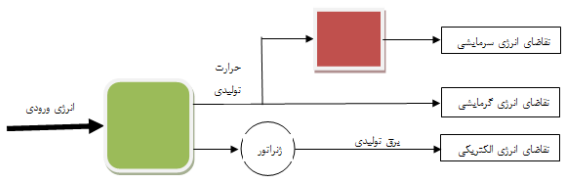
یک راهکار اساسی برای کاهش مصرف انرژی و نیز کاهش آلاینده-های زیست محیطی، استفاده از سیستم‌های جدید تولید همزمان سرما، گرما و توان[۱] می‌باشد. همچنین استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهت برطرف نمودن انواع مختلف نیازمندی‌ها به انرژی به این مهم کمک قابل توجهی می‌کند. در کار حاضر مدل-سازی و شبیه‌سازی یک سیستم تولید همزمان سرما، گرما و توان با استفاده از نرم‌افزار مناسب TRNSYS انجام شده است. این سیستم شامل کلکتور خورشیدی صفحه تخت به عنوان پیش‌گرم‌کن آب ورودی، یک هیتر گرمایی به‌عنوان جبران گرمای مورد نیاز، یک منبع ذخیره آب‌گرم و یک چیلرجذبی LiBr می‌باشد. پارامترهای مختلف جوی موثر بر سیستم همچون شدت تابش خورشید و دمای محیط را در طول یک سال اندازه‌گیری شده و به نرم‌افزار معرفی می‌گردد و سپس با توجه به مساحت کلکتور خورشیدی میزان انرژی مورد نیاز برای مخزن ذخیره و همچنین دبی عبوری بهینه از کلکتور و حجم مخزن مناسب برای سیستم تعیین می‌گردد. بررسی نتایج مشخص می‌کند که با افزایش مساحت کلکتور مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز سیستم افزایش یافته و مقدار نیاز سیستم به گرم‌کن کمکی کاهش می‌یابد. دبی بهینه برای سیستم ۲۰۰۰kg/hr به‌دست آمد و رابطه مستقیمی بین اندازه کلکتور، دبی بهینه و حجم مخزن ذخیره به-دست آمده است.

واژه های کلیدی

چیلرجذبی، کلکتورخورشیدی، تولیدهمزمان، TRNSYS.

مقدمه

با توجه به رشد روز افزون قیمت حامل‌های انرژی فسیلی و فناپذیری آن‌ها در آینده نزدیک، لزوم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از قبیل باد، خورشید، زمین گرمایی و غیره روز به روز محسوس‌تر می‌شود. ازطرفی با توجه به ناپیوسته بودن انرژی تولید شده توسط منابع تجدیدپذیر، در عمل ترکیبی از انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر می‌تواند راه حل مناسبی جهت تولید انرژی الکتریسیته در شرایط مختلف جوی باشد. در واقع با ترکیب مناسب این منابع می‌توان به سیستم تولیدی مقرون به صرفه، پاک و مطمئن رسید. امروزه از همین‌رو سیستم‌های ترکیبی تولید انرژی به یکی از امید بخش‌ترین راه حل ها برای مرتفع کردن نیاز برق مناطق مختلف تبدیل شده است. استفاده از نیروگاه ترکیبی، فن‌آوری است که در چند سال اخیر نشان داده که برای کاهش نقص‌ها و معایب سیستم‌های استفاده‌کننده از سوخت‌های فسیلی مفید می‌باشند و به این روش انرژی مورد نیاز مناطق دور دست قابل تامین می‌باشد. از طرفی استفاده از سیستم‌های ترکیبی که شامل سیکل تولید همزمان سرما، گرما و توان می‌باشد می‌توان در مجموع به پایین‌ترین سطح مصرف سوخت رسید. بخش اصلی این سیستم، محرک اولیه است. با ورود انرژی به محرک اولیه، مقداری از آن به برق و بقیه به حرارت تبدیل می‌گردد که حرارت تولید شده می‌تواند برای گرمایش استفاده گردد. در واقع با استفاده از چیلرهای جذبی می‌توان از حرارت خروجی محرک اولیه جهت تولید انرژی سرمایشی استفاده کرد. بنابراین تمام نیازهای الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی را می‌توان با استفاده از این سیستم‌ها بر طرف نمود. در شکل (۱) نمایی از یک سیستم تولید همزمان سرما، گرما و توان نمایش داده شده است.



شکل ۱: نمایی از یک سیستم تولید همزمان

انرژی خورشیدی به عنوان مولد گرما برای راه‌اندازی یک سیستم تولید همزمان ایده‌ای بسیار مناسب به نظر می‌رسد. عموما سیستم-های قدیمی و سنتی تولید همزمان از توربین‌های بخار، توربین‌های گازی، موتورهای مکانیکی و الکتریکی و یا موتورهای احتراق داخلی به‌عنوان حرکت‌دهنده اولیه و اصلی استفاده می‌کرده‌اند که مصرف بالای سوخت فسیلی را در پی داشته است. در سال‌های اخیر، محققان توجه بیشتری به سیستم تولید همزمان با در نظر گرفتن انرژی خورشید به عنوان سوخت پاک و در دسترس داشته‌اند تا از این طریق مصرف انرژی اولیه و آلودگی حاصل از آن‌ها را کاهش دهند[۱و۲و۴و۶]. ژا و همکاران[۲] یک سیستم تولید همزمان را در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از کلکتور خورشیدی به عنوان مولد تولید گرما مورد بررسی قرار دادند. سیستم تولید همزمان ارائه شده توسط ژا از یک مخزن بزرگ متصل به یک کلکتور خورشیدی با

[1] CCHP(combined cooling, heating and power)

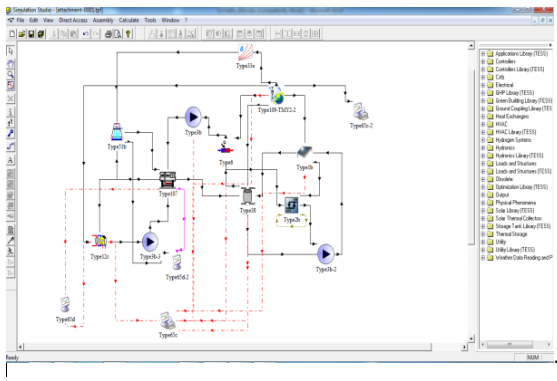
جاذب‌های سهموی شکل و یک چیلرجذبی با ژل‌سیلیکا تشکیل شده بود. فومو از کلکتورهای خورشیدی در سیستم‌های تولید همزمان برای کاهش مصرف انرژی اولیه و CO_2 تولیدی در ساختمان استفاده کرد و تجزیه و تحلیل اقتصادی و انرژی برروی این سیستم‌ها انجام داد[۳]. جیو و همکاران یک سیستم جدید تولید همزمان را که برپایه تجزیه ترکیبات متانول با انرژی خورشیدی قرارداشت پیشنهاد دادند، این سیستم می‌توانست در دماهای پایین و متوسط راندمان سیستم را بالا برده و تا حدودی در مصرف انرژی و سوخت‌های فسیلی صرفه-جویی کند[۴]. وانگ یک سیستم تولید همزمان با استفاده از انرژی خورشیدی پیشنهاد کرد که یک چرخه رانکین و یک چرخه تولید سرمایش را بایکدیگر ترکیب کرده و یک بهینه‌سازی از پارامترها انجام داده تا عملکرد بهینه را به‌دست آورد[۵]. تورا و همکاران یک روند سیستماتیک برای طراحی مطلوب سیستم‌های تولید همزمان ارائه کرده در حالی که از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر با آلودگی اندک استفاده کردند[۶].

در این پژوهش به منظور افزایش راندمان، افزایش توان تولید،کاهش مصرف سوخت و در کل کاهش هزینه‌ها به بررسی سیستم‌های تولید همزمان توان، گرما و سرما به با انرژی تجدیدپذیر خورشید پرداخته خواهد شد.

ویژگی این تحقیق نسبت به سایر کارهای انجام شده این است که تا کنون سیستم ترکیبی به‌صورت تلفیقی از سیستم تولید همزمان و انرژی نو به‌طور همزمان انجام نشده و همچنین بررسی پارامترهای موثر در طراحی سیستم با توجه به انرژی نو دریافتی توسط سیستم صورت نپذیرفته است. هدف اصلی این تحقیق طراحی یک سیستم گرم‌کننده خورشیدی همراه با یک مخزن ذخیره انرژی[1] برای تامین نمودن بخشی از انرژی لازم برای فرایندهای گرمایش و سرمایش تولید همزمان می‌باشد. برای تحلیل سیستم مورد نظر از نرم‌افزار TRNSYS استفاده شده است. در این نرم‌افزار ابتدا اجزاء سیستم خورشیدی با استفاده از ابزار از پیش آماده نرم‌افزار به یکدیگر متصل شده و مدار مورد نظر را تشکیل خواهند داد، سپس با وارد کردن پارامترهای میزان تشعشع، شرایط آب و هوایی و دیگر داده‌های لازم میزان بار گرمایشی تولید شده محاسبه خواهد شد.

مشخصات سیستم

سیستم تولید همزمان طراحی شده تجهیزات لازم جهت تولید برق و حرارت با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و مولفه‌های توزیع و ذخیره‌کننده حرارتی مانند چیلر جذبی، مبدل حرارتی، گرم‌کن کمکی، منبع ذخیره از نوع ترموسیفونی و برج‌خنک‌کن را دارا می-باشد. سیستم مورد بررسی نسبت به سامانه چرخه حرارتی معمولی و سامانه تولید همزمان برق و حرارت[2] از پیچیدگی بالاتری به لحاظ مصرف و تبدیل انرژی برخوردار می‌باشد. بازدهی سامانه مزبور صرفا به شکل‌های ثابت سامانه‌های فرعی و پارامترهای عملکردی بستگی نداشته بلکه شامل انطباق و اتصال سامانه‌های فرعی و پارامترهای یاد شده می‌باشد. تمامی اتصالات میان سامانه‌ها و پارامترها به‌صورت کامل و ایده‌آل در نظر گرفته شده است. با اتصال سیستم تولید همزمان سه‌گانه طراحی شده به آب‌شهر و با استفاده از یک پمپ الکتریکی با توان بسیار کم، آب را از مجراهای تعبیه شده در سطح زیرین کلکتور عبور داده و تا حدی گرم می‌گردد. سپس آب گرم شده به مخزن ذخیره انتقال یافته و با توجه به دمای سیال که خود تابعی از شدت تابش خورشید می‌باشد، کمبود انرژی حرارتی آب با استفاده از گرم‌کن کمکی در نظر گرفته شده تامین می‌گردد. پس از رسیدن دمای آب به دمای ورودی چیلر توسط پمپ آب به درون چیلر فرستاده شده تا برودت مورد نیاز فضای مورد نظر تامین گردد. چیلر در نظر گرفته شده در این سیستم یک چیلر جذبی می‌باشد که در واقع دو دسته چیلرهای جذبی آب و آمونیاک و چیلرهای جذبی لیتیم‌بروماید و آب وجود دارد. در واقع در هر سیکل تبرید جذبی یک سیال جاذب و یک سیال مبرد وجود دارد که تقسیم بندی فوق بر این مبنا انجام شده است. در سیستم آب و آمونیاک، سیال مبرد آمونیاک وسیال جاذب آب است. در سیستم لیتیم‌بروماید و آب، سیال مبرد آب و سیال جاذب، محلول لیتیم بروماید است. با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی در این سیستم از لیتیم‌بروماید و آب استفاده شده است تا هم در محدوده دمایی متوسط و دماهای بالا سیستم تولید همزمان کارایی حداکثری را داشته باشد. ساختار شماتیک سیستم تولید همزمان مورد نظر در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: سیستم CCHP مدل‌سازی شده با TRNSYS

لازم به ذکر است که برای اعمال شرایط آب و هوایی متغیر، بررسی میزان تابش خورشید در شهر تهران انجام گرفته است و زاویه بهینه در نظر گرفته شده برای کلکتور ۲۵ درجه می‌باشد. جنس مخزن ذخیره را از مس و پلی‌اورتان در نظر گرفته و با یک لایه محافظ ۰٫۶ میلی‌متر گالوانیزه پوشش داده شده است. از یک‌سری سنسور برای کنترل دماهای خروجی از کلکتور، آب ذخیره شده در مخزن و ورودی به چیلر استفاده می‌نماییم.

[1] TES
[2] CHP

معادلات حاکم

در کار حاضر برای سیستم خورشیدی از گردآورنده صفحه تخت استفاده شده است که معادلات آن در ادامه آمده است. با نوشتن رابطه تعادل انرژی بر حسب دماهای ورودی و خروجی می‌توان حرارت مفید جذب شده Q_u را با توجه به رابطه (۱) بدست آورد[۷]:

$$Q_u = \dot{m} C_P \ T_{out} - T_{in} \quad (۱)$$

که در رابطه (۱) T_{in} و T_{out} به ترتیب دمای ورود و خروج سیال از کلکتور و C_P و $\dot{m}$ به ترتیب ظرفیت حرارتی و دبی جرمی سیال می‌باشند. از طرف دیگر با در نظر گرفتن اتلاف حرارتی کلکتور به محیط مجددا می‌توان رابطه انرژی را به صورت رابطه (۲) بدست آورد[۷]:

$$Q_u = A_P F_R \left[S - U_l \ T_{in} - T_a \right] \quad (۲)$$

در رابطه (۲) T_a دمای محیط است و F_R ضریب برداشت حرارت (Heat Removal Factor) می‌باشد که به صورت رابطه (۳) تعریف می‌گردد[۷]:

$$F_R = \frac{\dot{m} C_P}{U_l A_P}\left[1 - \exp\left(-F' U_l A_P / \dot{m} C_P\right)\right] \quad (۳)$$

که در این رابطه، F' ضریب راندمان کلکتور (Collector Efficiency Factor) می‌باشد و از رابطه (۴) بدست می‌آید[۷]:

$$F' = 1 \Big/ \left(W U_l \left[\frac{1}{U_l \left[(W - D_o)\phi + D_o \right]} + \frac{\delta_a}{k_a D_o} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \right] \right) \quad (۴)$$

$$\phi = \tanh\left[(U_l / k_p \delta_p)^{\frac{1}{2}} (W - D_o)/2 \right] \Big/ \left[(U_l / k_p \delta_p)^{\frac{1}{2}} (W - D_o)/2 \right] \quad (۵)$$

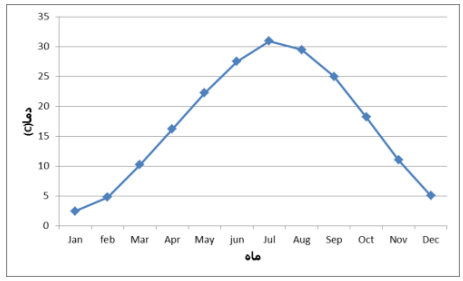
Φ میزان تأثیر صفحه می‌باشد، تعادل انرژی در حالت دائم برای صفحه جذب‌کننده رابطه (۶) را می‌دهد[۷]:

$$Q_u = A_P S - U_l A_P \ T_P - T_a \quad (۶)$$

در روابط اخیر W فاصله مجاری چسبیده به صفحه جذب‌کننده، D_0 و D_i به ترتیب قطر خارجی و قطر داخلی مجاری، h_f ضریب انتقال حرارت جابجایی درون مجاری، δ_p و δ_a به ترتیب ضخامت متوسط صفحه جذب‌کننده و چسب متصل‌کننده مجاری به صفحه جذب‌کننده، k_p و k_a به ترتیب ضریب هدایت گرمایی صفحه جذب‌کننده و چسب متصل‌کننده مجاری به صفحه جذب‌کننده، T_P دمای متوسط صفحه جذب‌کننده و A_P مساحت سطح کلکتور می‌باشند.U_l ضریب افت حرارت کلی می‌باشد.

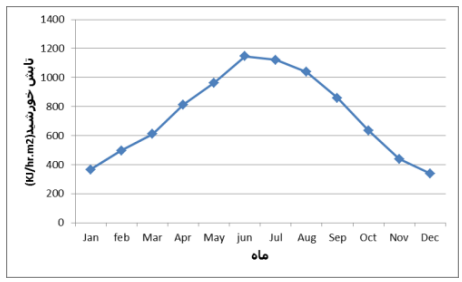
نتایج

میانگین دما در ماهای مختلف سال،برای شهر تهران که به‌عنوان ورودی در نرم‌افزار TRNSYS استفاده شده است در شکل (۳) نشان داده شده است.



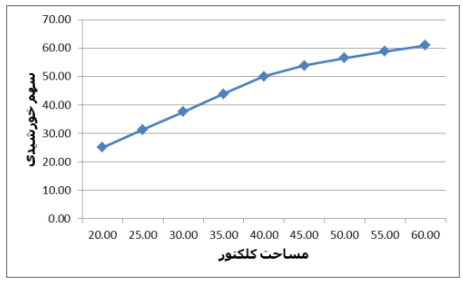
شکل ۳: میانگین دما در ماهای سال

یکی دیگر از پارامترهای موثر بر عملکرد سیستم، تابش خورشیدی می‌باشد که میانگین میزان این تابش در ۱۲ ماه سال نیز در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: میانگین شدت تابش خورشید در ۱۲ ماه

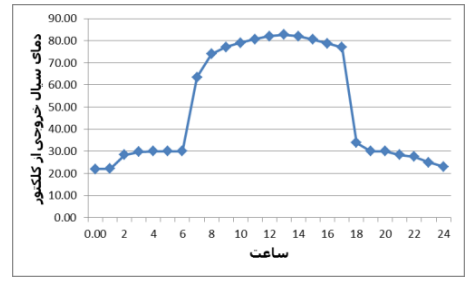
در شکل (۵) میزان تاثیر مساحت کلکتور بر مقدار انرژی مورد نیاز برای گرم نمودن آب ورودی به چیلر جذبی را مشاهده می‌نماییم.



شکل ۵: تاثیر مساحت کلکتور بر انرژی مورد نیاز

در شکل (۵) به وضوح مشاهده می‌شود که با افزایش مساحت کلکتور مقدار بیشتری از انرژی مورد نیاز برای چیلر تامین می‌گردد، اما این افزایش مساحت محدودیت‌هایی را دارد که ما برای طراحی، فضای در اختیار داشته را در نظر گرفته‌ایم.

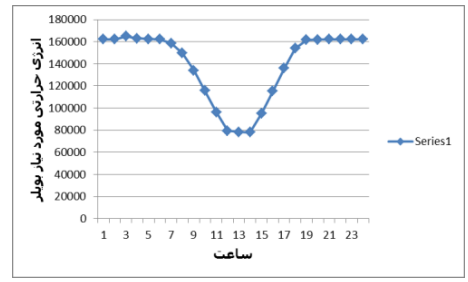
در شکل (۶) با توجه به شدت تابش و دمای محیط اعمالی به نرم‌افزار دمای سیال خروجی از کلکتور در طول یک روز نشان داده شده است.



شکل ۶: دمای سیال خروجی از کلکتور

در شکل (۶) مشاهده می‌شود که در ساعات میانی روز با توجه به شدت تابش بالاتر، قسمت اعظم گرمای مورد نیاز از کلکتور تامین شده و در ساعات ابتدایی و انتهایی روز که میزان تابش به شدت کاهش یافته از گرم‌کن کمکی استفاده می‌نماییم تا بتوانیم دمای سیال را به دمای مورد نیاز چیلر برسانیم.

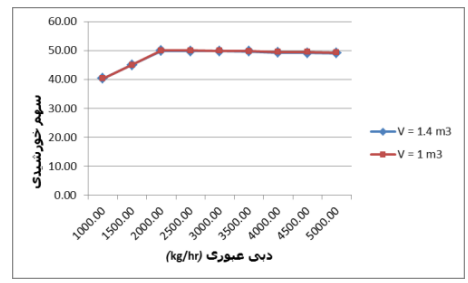
در شکل (۷) مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز بویلر با توجه به سهم کلکتور خورشیدی در تامین انرژی حرارتی در طول روز نشان داده شده است.



شکل ۷: حرارت مورد نیاز بویلر با در نظر گرفتن کلکتور در طول شبانه روز

همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌گردد در ساعات میانی روز که حداکثر شدت تابش را داریم قسمت بیشتر انرژی حرارتی مورد نیاز بویلر توسط کلکتور تامین شده و استفاده از گرم‌کن کمکی در زمان‌های ابتدایی و انتهایی روز لازم به نظر می‌رسد.

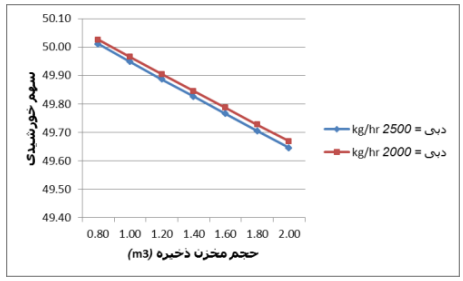
با توجه به اهمیت جریان جرمی عبوری از کلکتور در شکل (۸) مقدار دبی جرمی برحسب سهم خورشیدی را نمایش داده‌ایم.



شکل ۸: میزان سهم خورشیدی براساس تغیرات دبی

کاملا واضح و روشن است که با افزایش نرخ جریان جرمی از یک مقدار به بعد شیب نمودار ما هیچ تغییری نکرده و میزان سهم خورشیدی ثابت مانده است. پدیده فوق بدین معنی می‌باشد که کلکتور سیستم ما با افزایش جریان جرمی توانایی گرم کردن سیال عبوری را ندارد.

در شکل (۹) روند تغییرات سهم خورشیدی نسبت به حجم مخزن ذخیره در دو نرخ جریان جرمی متفاوت نشان داده شده است.



شکل ۹: میزان سهم خورشیدی بر اساس حجم مخزن ذخیره

همان طور که در شکل (۸) نشان داده شد تغییرات دبی در یک محدوده مشخص می‌باشد، بنابراین در دو نرخ جریان جرمی متفاوت سهم خورشیدی را براساس حجم مخزن ذخیره نمایش داده شده است و با توجه به نمودار می‌توان گفت که در دبی کمتر، با افزایش حجم مخزن ذخیره سهم خورشیدی بیشتری را دارد.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در مقاله حاضر ترکیب جدید سیستم سرمایش، گرمایش و توان پیشنهاد شده است. این سیستم با استفاده از انرژی خورشیدی به‌عنوان منبع تولید گرما کار می‌کند. این سیستم سیکل رانکین و سیکل تبرید را ترکیب می‌نماید و می‌تواند خروجی گرمایشی، سرمایش و توانی را در یک زمان تولید کند، بهینه زاویه شیب کلکتور نیز ۲۵ درجه می‌باشد. با توجه به افزایش مساحت کلکتور، می‌توان مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز را افزایش داده و مقدار نیاز سیستم به گرم‌کن کمکی را کاهش داد. همچنین با اعمال داده‌های هواشناسی به نرم‌افزار روند تغییرات جریان جرمی را به‌دست آورده و دبی جرمی بهینه ۲۰۰۰kg/hr به‌دست آمد. لازم به ذکر است که با توجه به مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز برای مخزن ذخیره در ساعات مختلف شبانه‌روز میزان انرژی تولیدی توسط گرم‌کن کمکی به‌دست آمده است. همچنین با تغییرات دبی در یک سهم خورشیدی مشخص برای هر دو دبی بهترین حجم مخزن را به‌دست آمده است.

فهرست علائم

A	مساحت، m2
Q	انرژی حرارتی، Kw
T	دما، K
C	ظرفیت حرارتی، j/kgK
U	ضریب افت حرارتی کلی
W	عرض صفحه، m
δ	ضخامت

زیرنویس

u	انرژی مفید
in	ورودی
out	خروجی
l	هدر رفته
a	محیط
i	داخلی
o	خارجی

مراجع

[1] J. H. Horlock,"Cogeneration Combined Heat and Power (CHP)", 1987.

[2] Zhai H, Dai YJ, Wu JY, Wang RZ. Energy and exergy analyses on a novel hybrid solar heating, cooling and power generation system for remote areas. Appl Energy 2009;86(9):1395-404.

[3] Fumo N, Chamra LM,Bortone V. Potential of solar thermal energy for CCHP systems. In: Proceedings of the ASME 3rd international conference on energy sustainability. Vol. 2; 2009. P. 57-3.

[4] Guo D, Sui J, Jing HG. Combined cooling, heating and power based on methanol decomposition with solar energy. Jn Eng Thermophys 2009;30(10):1621-4.

[5] Wang JF, Dai YP, Gao L, Ma SL. A new combined cooling, heating and power system driven by solar energy. Renew Energy 2009;34(12):2780-8.

[6] Tora EA, El-Halvagi MM. Integrated conceptual design of solar-assisted trigeneration systems. Comput Chem Eng 2011;35(9):1807-14.

[7] Xiaowu W, Ben H. Exergy analysis of domestic-scale solar water heaters. Renew Sustain Energy Rev 2005;9:638–45.