

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



بررسی موتور احتراق داخلی و سیکل رانکین آلی در سیستم‌های تولید موضعی قدرت

معین یوسفی^۱، مهدی علی‌احیایی^۲

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی پردیس، شهر جدید پردیس، ایران

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی پردیس، شهر جدید پردیس، ایران

E-mail: moeenyousefi1370@gmail.com

چکیده :

نیاز به انرژی الکتریکی در جامعه کنونی با توجه به مصارف (خانگی، تجاری، صنعتی و کشاورزی) نیازی روز افزون می‌باشد. جهت تامین انرژی نقاط مصرف می‌بایست انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها تولید و توسط خطوط انتقال توزیع و به نقاط مصرف رسانده شود. اما اگر جهت تامین بخشی از بار شبکه بتوان انرژی الکتریکی را در محل مصرف تولید کرد، صرفه جویی قابل توجهی در کلیه بخش‌های مذکور حاصل خواهد شد. در این مقاله ما به امکان سنجی موتور رفت و برگشتی و سیکل ORC برای تولید برق و حرارت و برودت یک ساختمان مسکونی در تهران پرداختیم، برای تامین نیازهای ساختمان از سیستم تلفیقی موتور رفت و برگشتی و سیکل ORC استفاده می‌شود، با توجه به داده‌های الکتریکی، گرمایش و سرمایش، نوع موتور رفت و برگشتی و سیکل ORC را انتخاب و به محاسبه تعداد موتورها و سیکل‌های ORC پرداختیم، و نتیجه گرفتیم که حداکثر سه موتور رفت و برگشتی با توان اسمی ۱۴۵ kW و سه سیکل ORC با توان اسمی ۳۵ kW برای تامین نیازهای ساختمان کفایت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تولید موضعی قدرت، سیکل ORC، موتور احتراق داخلی

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی

E-mail: moeenyousefi1370@gmail.com

۲- نویسنده مسئول: دانشیار دانشکده مکانیک، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی E-mail: Aliehyaei@yahoo.com



۱-مقدمه:

امروزه، منابع انرژی تجدید پذیر همچون انرژی خورشیدی، ژئوترمال و همچنین بخش وسیعی از تلفات حرارتی موجود در صنایع گوناگون به طور بالقوه مستعد فراهم نمودن تقاضای بخشی از مصرف انرژی جهان می باشند. منابع حرارتی فوق الذکر به عنوان منابع حرارتی دما پایین شناخته شده و استفاده از روش‌های رایج و مرسوم جهت تبدیل این منابع حرارتی به انرژی الکتریکی امکان پذیر نمی باشد و در نتیجه بخش وسیعی از این منابع حرارتی به هدر می رود. در سال‌های اخیر، جهت تبدیل این منابع حرارتی دما پایین به توان الکتریکی سیکل‌های ترمودینامیکی مختلفی از قبیل سیکل رانکین آلی^۱، سیکل کالینا^۲، سیکل فوق بحرانی رانکین^۳، سیکل گوسامی^۴ پیشنهاد گردیده و مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است [۱].

در زمینه فوق الذکر مطالعات فراوانی صورت گرفته است: در سال 1992، آنترورزاچر به تجزیه و تحلیل درمورد گسترش سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای و CHP پرداخته است [۲]. در سال ۱۹۹۲، وربراگن و همکارانش مقاله‌ای را تحت عنوان تاثیر CHP روی آلاینده‌های CO₂ ارائه کردند. در این مقاله تاثیر برخی از متغیرهای عمده روی کاهش انتشار آلاینده‌های دی اکسید کربن بررسی کرده‌اند [۳]. در سال ۱۹۹۳، بلاک به تحقیقی در مورد پیشرفت سیستم‌های CHP در کشور هلند پرداخته است. تحقیقات نشان داد که در سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۸۸، ۱۲۰۰ مگاوات ظرفیت از سیستم‌های CHP بر پایه توربین گاز راه اندازی شد و به منظور پیشرفت آن‌ها در سال ۱۹۷۸ از سوی دولت تشویقات مالی زیادی صورت گرفت و همین امر باعث سودآوری سیستم‌های CHP شده است [۴]. در سال ۱۹۹۳، نجار و همکارانش تحقیقی در مورد ارزیابی و امکان‌سنجی سیستم‌های CHP بر پایه توربین گاز در کشور عربستان انجام داده‌اند و با بازیابی حرارت اتلافی با استفاده از سیستم‌های CHP، از منابع به صورت بهینه استفاده کردند [۵]. میدمنت و همکاران در سال ۲۰۰۲، یک سیستم CCHP را در یک سوپر مارکت نصب کردند و هزینه‌های راه‌اندازی آن در مقایسه با سیستم‌های سنتی بسیار کمتر بود. سوخت مصرفی تا ۲۰٪ صرفه جویی شد و دوره بازگشت سرمایه آن ۴ سال بود [۶]. در سال ۲۰۰۵ عبادی و همکاران در مورد تحلیل اگزورژیک نیروگاه توربین گازی ۱۱۶ مگاوات تحقیق انجام دادند و با تغییر دمای سیال ورودی به توربین اگزورژیک سیسم را مقایسه کردند [۷]. سعیدی و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی تجزیه و تحلیل اکسرژیک از یک سلول سوختی PEM 5 kW از جمله، اصلاح‌کننده بخار و آب گرم کن به استفاده داخلی آن‌ها نشان دادند که دمای سلول سوختی افزایش یافته است [۸،۹]. پیکوک مقاله‌ای در سال ۲۰۰۵ در مورد اثر Micro CHP‌های نصب شده در منازل مسکونی روی کاهش آلودگی هوا ارائه کرده است [۱۰]. در سال ۲۰۰۶ پیپه و همکاران چند سیستم CHP بر پایه موتور گاز سوز و پیل سوختی را برای چند ساختمان نمونه مقایسه کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که موتور گاز سوز برای این نوع سیستم‌ها بهتر از پیل سوختی بوده و از لحاظ اقتصادی پیل‌های سوختی هزینه بالاتری دارند [۱۱]. در سال ۲۰۰۶ کاردونا و همکاران بهینه‌سازی سیستم تولید همزمان برق، گرما و سرما را به کمک تحلیل ترموآکونومیک برای کاربری بیمارستانی انجام دادند. در این پژوهش یک سیستم تولید سه‌گانه بهینه شده که نتایج حاصل از بهینه‌سازی ترمودینامیکی اقتصادی است، نتایج مطلوب

¹ Organic Rankin Cycle

² Kalina Cycle

³ Supercritical Rankin Cycle

⁴ GosWami Cycle



و منطقی بوده و تطابق آن با واقعیت نشان داده شده است. محرک اولیه این سیستم تولید همزمان موتور احتراق داخلی است که علاوه بر تولید الکتریسیته با بکارگیری مبدل بازیاب و سیستم جذبی به تولید حرارت و برودت نیز منجر می‌گردد [۱۲]. در سال ۲۰۰۶ باز هم کاردونا و همکاران تحقیقی با هدف طراحی بهینه یک سیستم تولید همزمان با کمک روش ترمو اکونومیک برای کاربرد ساختمانی انجام شده است. در این تحقیق با بهره‌گیری از روش ترمو اکونومیک طرح بهینه‌ای از یک سیستم تولید همزمان جهت تامین نیازهای گرمایشی و سرمایشی همزمان با تولید الکتریسیته با محرک اولیه موتور احتراق داخلی برای یک ساختمان صورت گرفته است [۱۳]. احیایی و بهادری در سال ۲۰۰۷ برای پاسخگویی به نیازهای برق، آب گرم خانگی، گرمایش و سرمایش یک ساختمان مسکونی واقع در تهران، اهواز و همدان میکروتوربین‌های گازی در نظر گرفتند. آن‌ها نتیجه گرفتند که دو میکروتوربین با ۳۰ kW یا یک میکروتوربین با توان اسمی ۴۰ kW، میتواند به تمام نیازهای برق، آب گرم داخلی بار گرمایش و بخش‌های عظیمی از بارهای خنک‌کننده ساختمان را برطرف کند. نیازهای باقی مانده سرمایش ساختمان در طول ساعات گرم در تابستان می‌تواند با استفاده از تبرید جذبی اضافی، استفاده از گاز طبیعی به عنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار داد [۱۴].

عاملی و همکاران در سال ۲۰۰۷ ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم‌های CHP را برای میکروتوربین‌ها، پیل‌های سوختی و موتور احتراق داخلی دیزلی به منظور بهینه‌سازی انرژی یک ساختمان نمونه در انگلستان انجام دادند [۱۵]. کریمی و همکاران در سال ۲۰۰۷، طراحی و بهینه‌سازی سیستم تولید همزمان را با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و مصرف انرژی با محرک اولیه میکروتوربین انجام داده‌اند. در این تحقیق با در نظر گرفتن تقاضای انرژی الکتریکی، گرمایی و سرمایی به صورت ماهانه طراحی و بهینه‌سازی سیستم تولید همزمان صورت گرفته است [۱۶]. سپهر صنایع و همکاران در سال ۲۰۰۸ مقاله‌ای با عنوان انتخاب نوع محرک اولیه برای سیستم‌های تولید همزمان ارائه نمودند. سه نوع محرک اولیه‌ای که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند، توربین‌گاز، موتور دیزل و موتور گاز سوز هستند. برای هر کدام از این سه نوع محرک اولیه، به صورت جداگانه، مراحل انتخاب تعداد و تعیین توان نامی انجام شد و در پایان مقدار سود واقعی سالیانه، برای فراهم کردن نیاز مشخص قدرت و حرارت، در کارکرد اقتصادی، با انتخاب توربین‌گاز ۳/۱ MW، یا یک موتور دیزل ۲/۳ MW و یا یک موتور گاز سوز ۳/۱ MW حاصل می‌آید [۱۷].

در سال ۲۰۰۸ مونتریو و همکاران طرح یک سیستم CHP را در پرتغال اجرا کردند و آن‌ها مدلی برای یک باشگاه طراحی کردند و برای این بخش بسیار مفید بوده است. با استفاده از این مدل ارزیابی و بهینه‌سازی اقتصادی را برای این باشگاه انجام دادند. این مدل می‌تواند به رشد Micro CHP در پرتغال کمک کند که منجر به انجام رساندن اهداف پروتکل کیوتو و اتحادیه اروپا برای تولید همزمان بشود [۱۸]. سوگیراتا سیستم CCHP را در سال ۲۰۰۹ برای یک سوپرمارکت مواد غذایی از لحاظ اقتصادی و انرژی مورد ارزیابی قرار داد و نشان داد در سوخت مصرفی تا ۲۰٪ صرفه جویی می‌شود و دوره بازگشت سرمایه آن حدوداً ۴ سال است [۱۹]. احیایی و مظفری در سال ۲۰۱۰ یک روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی یک سیستم تولید برق براساس هزینه‌های سوخت و هزینه‌های خارجی از آلاینده‌های هوا ارائه کردند. آنها نشان دادند که گنجاندن هزینه خارجی آلاینده‌های هوا، نسبت هوا را بیش از حد مطلوب افزایش می‌دهد اگر محدودیت دما به خاطر در نظر گرفتن متالوژی نادیده گرفته شود. [۲۰] در سال ۲۰۱۲ احیایی و همکاران به پژوهشی در امکان‌سنجی استفاده از موتورهای احتراق داخلی در ساختمان‌های مسکونی، تجزیه و تحلیل زیست‌محیطی، اکسرژی و اقتصادی پرداختند، بدین منظور آن‌ها یک ساختمان ۱۰ طبقه با ۴۰ واحد مسکونی و مساحت هر واحد m^2 ۲۰۰ را در شهر تهران در نظر گرفتند و نیازهای برق و حرارت و برودت را در زمان اوج مصرف برای این ساختمان بدست آوردند آن



ها در نهایت متوسط هزینه سالانه برق این سیستم را معادل 0.05 (US\$/kWh) و آنتروپی سالانه این سیستم را معادل 29.903 (GJ/year) محاسبه کردند [۲۱]. در سال ۲۰۱۲ ماگری و همکاران تحلیل الکتریکی و حرارتی روی یک سیستم Micro CHP مسکونی انجام دادند. آنها این سیستم را از لحاظ اقتصادی و انرژی با یک بویلر گازی مقایسه کردند و نشان دادند که استفاده از Micro CHP دارای راندمان بالاتر و از لحاظ اقتصادی با صرفه‌تر می‌باشد [۲۲]. در سال ۲۰۱۲ چن و همکاران در مورد یک CHP تحقیق کردند و نتایج آنان نشان داد که با استفاده از این سیستم می‌تواند تمامی نیازهای حرارتی و الکتریکی این ساختمان را فراهم کرده و راندمان کلی آن از سیستم‌های مجزا بالاتر می‌باشد [۲۳]. در سال ۲۰۱۳ ملری و همکاران بهینه‌سازی و طراحی یک سیستم تولید همزمان در مقیاس خانگی را انجام دادند چند حالت مختلف برای فراهم کردن نیازهای گرمایشی و الکتریکی ساختمان در نظر گرفتند و نتایج آنها منجر به کاهش سوخت مصرفی و کاهش آلودگی زیست محیطی شد. در همین سال استیمیکن و همکاران نیز کاری مشابه با ملری انجام دادند و نتایج آنها تقریباً یکسان بود [۲۴]. سلما و همکاران در سال ۲۰۱۳ به تجزیه تحلیل امکان‌سنجی استفاده از CHP در صنعت فرآوری زیتون پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تا ۴۹٪ صرفه جویی در سوخت اولیه خواهند داشت و دوره بازگشت سرمایه آن نیز ۳/۶ سال خواهد بود [۲۵]. عتابی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به امکان‌سنجی فنی استفاده از سلول‌های فتوولتائیک جهت تامین نیازهای برق، حرارت و برودت ساختمان مسکونی واقع در شهر تهران پرداختند. در این تحقیق آن‌ها به طراحی یک سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه سراسری برق با دو سناریو در نظر گرفته شد. در سناریوی اول طراحی یک سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه سراسری برق برای تامین برق مصرفی و در سناریو دوم طراحی همین سیستم برای تامین برق و حرارت و برودت ساختمان مسکونی انجام شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که در سناریو اول تعداد ۱۰ عدد پانل با توان مصرفی (W) ۲۵۰ طراحی و در سناریو دوم با توجه به محاسبات تعداد ۵۴ عدد پانل با توان مصرفی (W) ۲۵۰ مورد نیاز است [۲۶]. در سال ۲۰۱۵ فرهنگ و همکاران به منظور بررسی امکان به کارگیری سیستم‌های CCHP برای پاسخگویی به نیازهای انرژی برای ساختمان‌ها با اندازه‌های مختلف، یک ساختمان مسکونی نمونه در شهر مشهد را در نظر گرفتند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در مقدار صرفه جویی در انرژی اولیه حداکثر ۱۷/۲۴٪ و در ساختمان‌های بزرگ بالاترین میزان صرفه جویی در هزینه‌های انرژی ۵۱/۱۸٪ است [۲۷]. جوان و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بهینه‌سازی سیال سیستم ترکیبی CCHP برای واحد‌های مسکونی پرداختند. آن‌ها در این مطالعه برای بازیابی گرمای اتلافی در موتور احتراق داخلی از طریق گاز خروجی، مایعات کاری مشترک یعنی R-134a، R-11، R-123، R-16 را انتخاب کردند و مشاهده کردند که R-11 سیال خوبی برای به حداکثر رساندن راندمان و اکسرژی است و نرخ هزینه کل این سیستم را به حداقل می‌رساند [۲۸].

در مقاله حاضر امکان‌سنجی سیکل ORC و سیکل موتورهای رفت و برگشتی برای تولید برق، حرارت و برودت یک ساختمان مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله بعد از محاسبه بارهای الکتریکی، حرارتی و برودتی تعداد موتور رفت و برگشتی و سیستم ORC متصل به آن برای تامین نیازهای ساختمان انجام شد.

۲- محاسبه بارهای الکتریکی، حرارتی، برودتی و آب گرم مصرفی ساختمان مورد مطالعه:

ساختمان مورد بررسی در این مطالعه یک ساختمان ۱۰ طبقه است با ۴۰ واحد که مساحت هر واحد 174 m^2 است. ارتفاع ساختمان ۳۰ m، طول ساختمان از شرق به غرب ۴۰ m و عرض آن از شمال به جنوب ۲۰ m است، ۳۰٪ از مناطق جنوب و

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

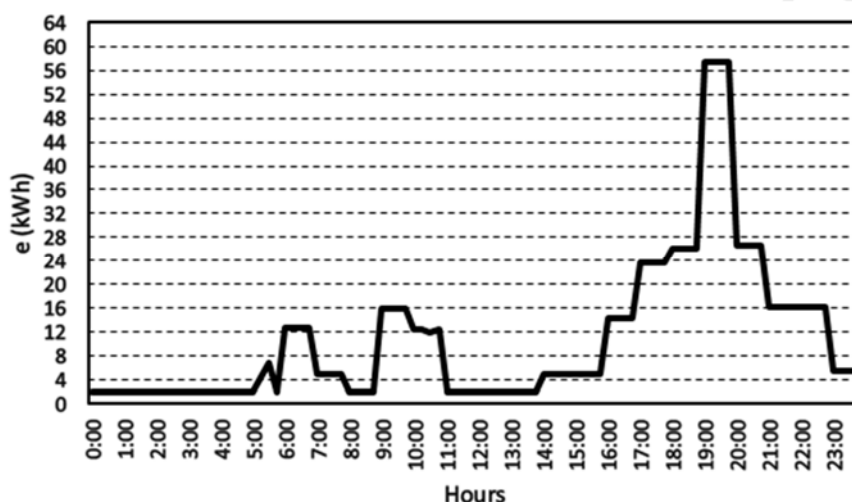
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



شمال دیوار و ۲۰٪ از مناطق شرق و غرب دیوارهای ساختمان پنجره دارد. دیوارهای خارجی و داخلی به ترتیب ۲۲ و ۱۲ سانتی متر ضخامت دارند که همه از آجر و گچ ساخته شده در داخل کشور استفاده شده است، سقف نیز ۲۲ سانتی متر ضخامت دارد ساخته شده از آجر و مواد سقف سازی، هیچ عایق حرارتی در دیوار یا سقف ساختمان به کار نرفته است. شکل (۱) نرخ کل مصرف انرژی الکتریکی برای ساختمان مورد نظر را برای ماه ژانویه و جدول (۱) نرخ کل مصرف انرژی الکتریکی برای ۱۵ هر ماه را در ساعات مختلف یک روز نشان می‌دهد.



شکل (۱): نرخ کل مصرف انرژی الکتریکی بر حسب کیلو وات ساعت (kWh) برای وسایل الکتریکی در ماه ژانویه

جدول (۱): نرخ الکتریسیسته مصرفی ساختمان برای مصارف الکترونیکی (kW)

hour	Jan (kW)	Feb (kW)	Mar (kW)	Apr (kW)	May (kW)	Jun (kW)	Jul (kW)	Aug (kW)	Sep (kW)	Oct (kW)	Nov (kW)	Dec (kW)
۰	۲	۱٫۹	۱٫۹۵	۲٫۰۵	۲٫۴۶	۲٫۷	۲٫۹	۲٫۸	۲٫۵۲	۲٫۵۲	۲٫۱	۲٫۰۵
۲	۲	۱٫۹	۱٫۹۵	۲٫۰۵	۲٫۴۶	۲٫۷	۲٫۹	۲٫۸	۲٫۵۲	۲٫۵۲	۲٫۱	۲٫۰۵
۴	۲	۱٫۹	۱٫۹۵	۲٫۰۵	۲٫۴۶	۲٫۷	۲٫۹	۲٫۸	۲٫۵۲	۲٫۵۲	۲٫۱	۲٫۰۵
۶	۱۲٫۶۲	۸٫۹۸	۱٫۹۵	۹٫۱۳	۲٫۴۶	۲٫۷	۲٫۹	۲٫۸	۱۰٫۸۴	۱۴٫۰۷	۲٫۱	۹٫۱۳
۸	۲	۱٫۹	۱٫۹۵	۲٫۰۵	۲٫۴۶	۲٫۷	۲٫۹	۲٫۸	۲٫۵۲	۲٫۲۵	۲٫۱	۲٫۰۵
۱۰	۱۲٫۳۵	۱۲٫۲۵	۱۲٫۳	۱۲٫۴	۱۲٫۷۳	۱۳٫۰۵	۱۳٫۲۵	۱۳٫۲۵	۱۲٫۸۷	۱۲٫۶	۱۲٫۴۵	۱۲٫۴
۱۲	۲	۱٫۹	۱٫۹۵	۲٫۰۵	۲٫۴۶	۲٫۷	۲٫۹	۲٫۸	۲٫۵۲	۲٫۲۵	۲٫۱	۲٫۰۵

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



۱۴	۴,۸	۴,۷	۴,۷۲	۴,۸۵	۵,۲۶	۵,۵	۵,۷	۵,۶	۵,۳۲	۵,۰۵	۴,۹	۴,۸۵
۱۶	۱۴,۲۴	۴,۷	۴,۷۲	۱۴,۲۹	۵,۲۶	۵,۵	۵,۷	۵,۶	۵,۳۲	۵,۰۵	۱۴,۳۴	۱۴,۲۹
۱۸	۲۶/۱	۲۸,۴۲	۲۸,۴۷	۲۸,۵۷	۱۰,۱	۱۰,۳۴	۱۰,۵۴	۱۰,۴۴	۱۰,۱۶	۲۸,۷۷	۲۸,۶۲	۲۸,۵۷
۲۰	۲۶,۶۵	۲۷,۷۳	۲۳,۹۳	۲۶,۷	۲۸,۲۹	۲۸,۵۳	۲۷,۵۵	۲۸,۶۳	۲۸,۳۵	۲۷,۱۳	۲۶,۷۵	۲۶,۷
۲۲	۱۶,۰۶	۱۶,۰۶	۱۶,۱۱	۱۶,۲۱	۱۶,۶۲	۱۶,۸۶	۱۷,۰۶	۱۶,۹۶	۱۶,۶۸	۱۶,۴۱	۱۶,۲۶	۱۶,۲۱

جداول (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب میزان بارهای سرمایش و گرمایش و آب گرم مصرفی را برای ساختمان مورد اشاره در ساعات

مختلف ۱۵ هر ماه که نماینده کل ماه است را نشان می‌دهد.

جدول (۲): میزان بار گرمایشی مورد نیاز ساختمان مسکونی (kW)

Load/hour	Jan (kW)	Feb (kW)	Mar (kW)	Apr (kW)	May (kW)	Jun (kW)	Jul (kW)	Aug (kW)	Sep (kW)	Oct (kW)	Nov (kW)	Dec (kW)
۲	1210.7	1079.6	496	96	.	.	.	.	.	169.2	755.4	1081.7
۶	1282.4	۱۲۰۸	676	228	.	.	.	.	.	320	832	۱۲۳۳/۸
۱۰	1166.8	1136	568	112	.	.	.	.	.	212	711.1	1120
۱۴	900	789.2	0	0	.	.	.	.	.	0	613.9	872
۱۸	998.4	857.4	0	0	.	.	.	.	.	0	۶۰۹/۹	892
۲۲	1116	973.2	۳۸۸	0	.	.	.	.	.	89.2	680	995.6

جدول (۳): میزان بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان مسکونی (kW)

Load/hour	Jan (kW)	Feb (kW)	Mar (kW)	Apr (kW)	May (kW)	Jun (kW)	Jul (kW)	Aug (kW)	Sep (kW)	Oct (kW)	Nov (kW)	Dec (kW)
۲	722	1664	1316	1088	940	.	.	.
۶	576	912	1076	1008	780	.	.	.
۱۰	۷۹۲	1236	1160	1272	916	.	.	.

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



۱۴	۰	۰	۰	۰	۱۱۹۲	1672	1600	1544	1148	۰	۰	۰
۱۸	۰	۰	۰	۰	1192	1192	1720	1636	1184	۰	۰	۰
۲۲	۰	۰	۰	۰	968	1412	1580	1488	1052	۰	۰	۰

جدول (۴): میزان آب گرم مصرفی مورد نیاز ساختمان مسکونی (kW)

Load/hour	Jan (kW)	Feb (kW)	Mar (kW)	Apr (kW)	May (kW)	Jun (kW)	Jul (kW)	Aug (kW)	Sep (kW)	Oct (kW)	Nov (kW)	Dec (kW)
۲	۰	۰	۰	۰	0	0	0	0	0	۰	۰	۰
۶	39.3	۳۳٫۸	27.8	26.8	۱۶٫۸	۶٫۳	2.3	۹٫۸	۱۴٫۳	۱۸٫۸	۳۴٫۳	۳۸٫۸
۱۰	39.3	۳۳٫۸	27.8	26.8	۱۶٫۸	۶٫۳	2.3	۹٫۸	۱۴٫۳	۱۸٫۸	۳۴٫۳	۳۸٫۸
۱۴	39.3	۳۳٫۸	27.8	26.8	۱۶٫۸	۶٫۳	2.3	۹٫۸	۱۴٫۳	۱۸٫۸	۳۴٫۳	۳۸٫۸
۱۸	39.3	۳۳٫۸	27.8	26.8	۱۶٫۸	۶٫۳	2.3	۹٫۸	۱۴٫۳	۱۸٫۸	۳۴٫۳	۳۸٫۸
۲۲	39.3	۳۳٫۸	27.8	26.8	۱۶٫۸	۶٫۳	2.3	۹٫۸	۱۴٫۳	۱۸٫۸	۳۴٫۳	۳۸٫۸

3- انتخاب موتور رفت و برگشتی به همراه سیکل رانکین آلی مورد نیاز ساختمان مسکونی:

اشکال (۲) و (۳) به ترتیب سیستم پیشنهادی برای تامین بارهای حرارتی، الکتریکی و آب گرم مصرفی را برای فصول گرم و سرد سال نشان می‌دهد. برای تامین نیازهای انرژی ساختمان از سیستم تلفیقی موتور رفت و برگشتی و سیکل ORC استفاده می‌شود. دستگاه و موتور دیزل ژنراتور قسمتی از برق ساختمان را تامین می‌نماید. قسمتی از گازهای داغ خروجی دستگاه موتور به عنوان منبع حرارتی سیکل ORC استفاده می‌شود. از مابقی انرژی گازهای داغ خروجی موتور برای تامین آب گرم مصرفی ساختمان استفاده می‌شود. بارهای گرمایش و سرمایش ساختمان در فصول زمستان و تابستان توسط پمپ حرارتی تامین می‌گردد. برق مصرفی دستگاه فوق توسط برق تولیدی سیکل ORC و موتور رفت و برگشتی تامین می‌شود. در جداول (۵) و (۶) مشخصات موتور رفت و برگشتی و سیکل رانکین آلی نشان داده شده است.

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

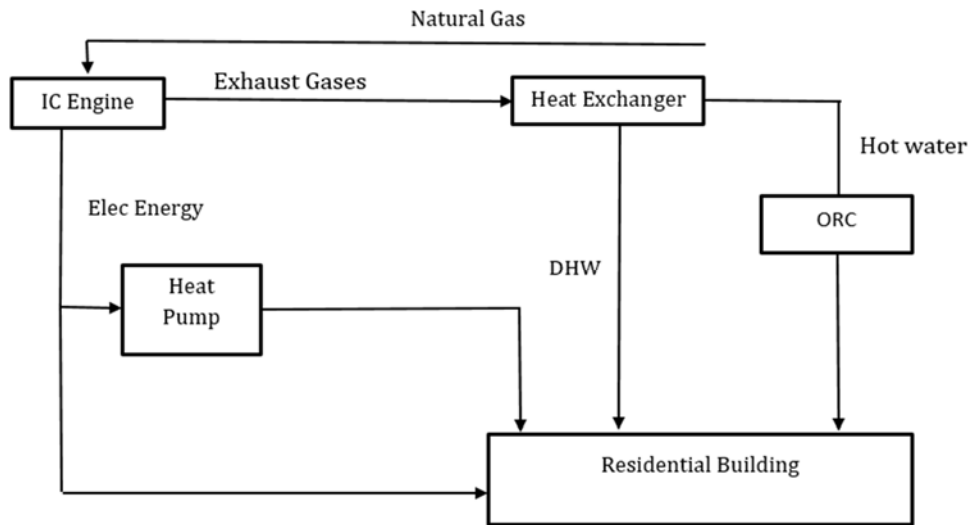
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

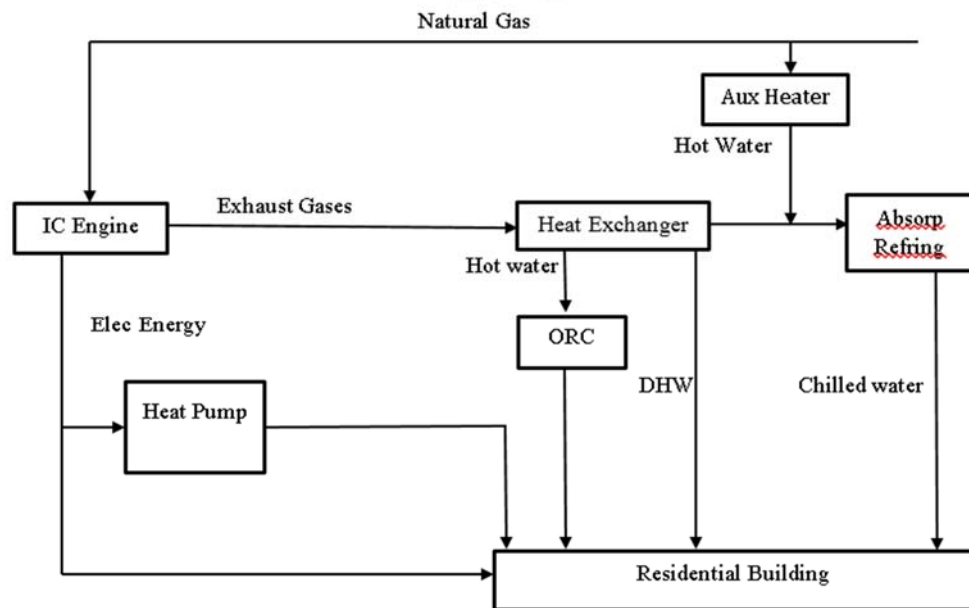
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



شکل (۲): سیستم تامین نیازهای برق مصرفی، حرارت و آب گرم مصرفی در زمستان



شکل (۳): سیستم تامین نیازهای برق مصرفی، برودت و آب گرم مصرفی در تابستان

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



جدول (۵): مشخصات موتور مورد استفاده در برج مسکونی [۲۹]

Engine type	G3306B
Cylinder number	In-Line 6,4-Stroke-Cycle
Cylinder bore	121 mm (4.75 in)
Length cylinder	929 mm
Width cylinder	668 mm
Height cylinder	797 mm
Stroke	152 mm (6.0 in)
Firing Order	1-3-4-2
Speed	1800 rpm
Compression ratio	10.5 : 1
Maximum power	145 kW
Weight	948 kg
Molar air : fuel	1.5

جدول (۶): مشخصات ماشین ORC مورد استفاده در برج مسکونی [۳۰]

Nominal Rating	Up to 35 kW _e @ 380-500 V / 3phase / 50 & 60 Hz
Ambient Operation	0°C - 38°C (32°F - 100°F)
Power Factor Correction	Load and Site Dependent – from 0.9 to 1
Total Harmonic Distortion	2% for Voltage; 10% for current
Emissions	Zero (Closed Binary Cycle)
Working Fluid	R245fa (Pentafluoropropane)
Heat Source	Hot Water 77°C - 116°C (170°F - 240°F)
Cooling Requirement	Water 4°C - 65°C (40°F-150°F)

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



همانطور که می‌دانیم رابطه گرما و انرژی الکتریکی تولید شده بر حسب قانون اول ترمودینامیک تعیین می‌گردد و لذا برای محاسبه تعداد واحد های موتور رفت و برگشتی و سیستم رانکین آلی از روابط ذیل استفاده می‌شود.
رابطه e و q طبق فرمول زیر قابل محاسبه است [۱۴]:

$$q = e (1/\eta - 1) \quad (1)$$

که در آن q : مجموع گرمای مورد نیاز سیکل ORC و گرمای تولیدی موتور رفت و برگشتی (kW)، e : قدرت الکتریکی که سیکل ORC و موتور رفت و برگشتی تولید می‌کند (kW)، η : بازدهی گرمایی موتور رفت و برگشتی
به دلیل اینکه ما از دو سیستم مجزا برای تولید برق استفاده می‌کنیم (موتور رفت و برگشتی و سیکل ORC)، پس ما دو q خواهیم داشت، یکی q_{ORC} و دیگری q_{engine} و همچنین دو η ، طبق فرمول زیر:

$$q = q_{ORC} + q_{engine} \quad (2)$$

که در این رابطه q_{ORC} : نرخ گرمای مورد نیاز سیکل ORC (kW) است و q_{engine} : نرخ گرمای تولیدی موتور رفت و برگشتی (kW) است.

$$q_{engine} = e_{engine} \left(\frac{1}{\eta_{engine}} - 1 \right) \quad (3)$$

$$q_{ORC} = e_{ORC} \left(\frac{1}{\eta_{ORC}} - 1 \right) \quad (4)$$

که در آن η_{engine} بازده گرمایی موتور رفت و برگشتی و همچنین η_{ORC} بازده گرمایی سیکل ORC است، e_{engine} : نرخ انرژی الکتریکی تولیدی موتور رفت و برگشتی (kW)، e_{ORC} : نرخ انرژی الکتریکی تولیدی سیکل ORC (kW) است.

ما می‌توانیم معادله زیر را برای تعیین تعداد واحد های مورد نیاز موتور رفت و برگشتی و سیکل ORC در طول فصل گرم استفاده کنیم:

$$n(e_{engine} + e_{ORC} - e')\beta_{hp} + nq\alpha - q' = Q_h \quad (5)$$

که در آن n تعداد واحد های یکسان موتور رفت و برگشتی به همراه سیکل ORC می‌باشد، e' انرژی الکتریکی مورد نیاز، β_{hp} ضریب عملکرد (COP) پمپ حرارتی است، q مقدار گرمای تولیدی موتور رفت و برگشتی و سیکل ORC، α ضریب کارایی مبدل حرارتی، q' مقدار انرژی مورد نیاز آب گرم مصرفی، Q_h انرژی گرمایی مورد نیاز ساختمان.

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های شیمیایی

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



واحد های e ، q ، q' و Q_h بر حسب کیلو وات (kW) است. تمام این پارامتر های انرژی واپسته به زمان هستند. برای تابستان یا وقتی که بار برودتی مورد نیاز است ما می توانیم از معادله زیر استفاده کنیم:

$$n(e_{engine} + e_{ORC} - e')\beta_{ref} + (nq\alpha - q')\beta_{abs} = Q_c \quad (۶)$$

که در آن β_{ref} : ضریب عملکرد پمپ حرارتی است، β_{abs} : ضریب عملکرد جذب یخچال برای تولید آب سرد برای خنک کننده و Q_c بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان است. با استفاده از داده های جداول (۱) الی (۶) می توان این نتیجه گیری را نمود که میزان بار غالب برای محاسبه تعداد واحد های موتور رفت و برگشتی و سیکل رانکین آلی، بار حرارتی است لذ با محاسبات صورت گرفته در گرم ترین ساعت سال (ساعت ۱۵:۰۰ July) و سردترین ساعت سال (ساعت ۵:۰۰ Jan) تعداد سه عدد موتور احتراق داخلی به همراه سیکل رانکین آلی برای تامین نیاز های برق در فصل تابستان و تعداد دو عدد برای تامین برق در فصل زمستان کافی است که براین اساس و برای تامین نمودن تمام نیاز های ساختمان می بایست سه واحد خریداری شود.

(۴) بحث و نتیجه گیری :

سیستم به کار گرفته شده شامل موتور رفت و برگشتی و سیکل ORC برای تولید برق، حرارت، برودت و آب گرم مصرفی یک ساختمان ۱۰ طبقه مسکونی واقع در شهر تهران می باشد. گاز طبیعی مورد نیاز از سیستم لوله کشی گاز شهری تامین می گردد. دستگاه موتور رفت و برگشتی قسمتی از انرژی الکتریسیته ساختمان را تامین می نماید، سیکل ORC به وسیله گاز های داغ خروجی از موتور، بخش دیگر نیاز های الکتریکی ساختمان را تامین می کند و از مابقی انرژی گاز های خروجی از اگزوز موتور در مبدل حرارتی / چیلر جذبی برای برآورده کردن گرمایش، سرمایش و آب گرم مصرفی ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به مصرف بالای انرژی در بخش ساختمان، موارد زیر را برای کاهش در هزینه های مصرفی می توان به کار بست:

(۱) با استفاده از اقدامات حفاظتی مناسب مانند عایق بندی می توان تا میزان قابل توجهی از مصرف انرژی ساختمان کاست [۱۴].

(۲) حداقل تعداد از سیستم فوق الذکر تنها برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز ساختمان به کار گفته شود. انرژی الکتریکی تولیدی توسط ORC و انرژی گاز های خروجی از اگزوز برای برآورده کردن تمام یا بخشی از انرژی مورد نیاز حرارتی و برودتی ساختمان، بسته به نیاز ساختمان، مابقی نیاز های حرارتی و برودتی ساختمان باید از طریق به کار گیری سیستم های مناسب بر آورده شود. استفاده از گاز طبیعی برای ساختمان در نظر گرفته شده در تهران و با مجموع ۵۸ kW انرژی الکتریکی است. برای پاسخگویی به این نیاز، حداقل تعداد سیستم فوق الذکر یک عدد است [۱۴].

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



فهرست اصطلاحات

COP	ضریب عملکرد
e'	انرژی الکتریکی مورد نیاز (kW)
q'	انرژی مورد نیاز آب گرم مصرفی خانگی (kW)
Q_c	بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان (kW)
Q_h	بار گرمایشی مورد نیاز ساختمان (kW)
q_{engine}	مقدار گرمای تولیدی موتور رفت و برگشتی (kW)
q_{ORC}	مقدار گرمای تولیدی سیکل ORC (kW)
η_{engine}	بازده گرمایی موتور رفت و برگشتی (kW)
η_{ORC}	بازده گرمایی سیکل ORC (kW)
α	اثر بخشی مبدل حرارتی
β_{ref}	ضریب عملکرد پمپ حرارتی
β_{abs}	ضریب عملکرد جذب یخچال برای تولید آب سرد برای خنک کننده
$\beta_{h p}$	(COP) پمپ حرارتی

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



مراجع :

- [1] T.A Davidson, Design and Analysis of a 1 kW Rankine Power Cycle, Employing a Multi-Vane Expander, for Use with a Low Temperature Solar Collector. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1977.
- [2] E. Unterwurzacher, CHP development : Impacts of energy markets and government policies, Energy Policy, 20 (1992) 893-900.
- [3] A. Verbruggen, M. Wiggin, N. Dufait, A. Martens, The impact of CHP generation on CO2 emissions, Energy Policy, 20 (12) (1992) 1207-1214
- [4] K. Blok, The development of industrial CHP in the Netherlands, Energy Policy, 21 (2) (1993) 158-175.
- [5] YSH Najjar, Ms Zaamout, Gas turbine integrated with a combined power and refrigeration closed system, Journal of the Institute of Energy, 68 (1995) 152-156.
- [6] G.G Maidment, R.M Tozer, Combined cooling heat and power in supermarkets, Applied Thermal Engineering, 22, (6), 2002, 653-665.
- [7] M.J Ebadi, M. Gorji-Bandpy, Exergetic analysis of gas turbine plants, International Journal of Exergy 2 (2005) 31-39.
- [8] M.H. Saidi, M.A. Ehyaei, A. Abbasi, Optimization of a combined heat and power PEFC by exergy analysis, Journal of Power Sources 143 (2005) 179-184.
- [9] M.H. Saidi, M.A. Ehyaei, A. Abbasi, Exergetic optimization of a PEM fuel cell for domestic hot water heater, ASME Journal of fuel cell Technology 2 (2005) 284-289.
- [10] A.D. Peacock, M. Newborough, Impact of micro-CHP systems on domestic sector CO2 emissions, Applied Thermal Engineering 25 (2005) 2653-2676.
- [11] M.D. Peape, P.D. Herdt, D. Mertens, Micro-CHP systems for residential applications, Energy Conversion and Management 47 (2006) 3435-3446.
- [12] E. Cardona, A. Piacentino, A new approach to exergoeconomic analysis and design of variable demand energy systems, Energy 31 (2006) 490-515.
- [13] E. Cardona, A. Piacentino, F. Cardona, Matching economical, energetic and environmental benefits: An analysis for hybrid CCHP-heat pump systems, Energy Conversion and Management 42 (2006) 3530-3542.
- [14] M.A. Ehyaei, M.N. Bahadori, Selection of micro turbines to meet electrical and thermal energy needs of residential buildings in Iran, Energy and Buildings 39 (2006) 1227-1234
- [15] S.M. Ameli, B. Agenew, I. Potts, Integrated distributed energy evaluation software (IDEAS) : Simulation of a micro-turbine based CHP system, Applied Thermal Engineering 27 (2007) 2161-1265.

مجموعه مقالات دهمین همایش ملی انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Renewenergy.ir



- [16] Karimi Alavijeh, S. Behbahaninia, A. Amidpour, Modeling and optimization of energy in CCHP systems with gas turbine prime mover, International Conference of Nonlinear problems (ICNPAA 2008) (2008) 24- 26.
- [17] S. Sanaye, M. Aghaei Meybodi, S. Shokrollahi, Selecting the prime movers and nominal powers in combined heat and power systems, Applied Thermal Engineering 28 (2008) 1177-1188.
- [18] E. Monterio, N.A. Moreira, S. Ferreira, Planning of micro-combined heat and power systems in the portuguese scenario, Applied Energy 86 (2009) 290-298.
- [19] N. Sugiarta, S.A. Tassou, I. Chear, D. Marriottn, Trigeneration in food retail : A energetic, economic and environmental evaluation for a supermarket application, Applied Thermal Engineering 22 (2009) 2824-2632.
- [20] M.A. Ehyaei, A. Mozafari, Energy, economic and environmental (3E) analysis of a micro gas turbine employed for on-site combined heat and power production, Energy and Buildings 42 (2010) 259-264.
- [21] M.A. Ehyaei, P. Ahmadi, F. Atabi, S.M. Heibati, M. Khorshidvand, Feasibility study of applying internal combustion engines in residential buildings by exergy, economic and environmental analysis, Energy and buildings 55 (2012) 405-413.
- [22] G. Magri, C.D. Perna, G. Serenelli, Analysis of electric and thermal seasonal performances of a residential micro-CHP unit, Applied Thermal Engineering 36 (2012) 193-201.
- [23] X.P. Chen, Y.D. Wang, H.D. Yu, D.W. Wu, Y. LI, A.p. Roskilly, A domestic CHP system with hybrid electrical energy storage 55 (2012) 361-368.
- [24] E.M. Mehleri, H. Sarimaveis, N.C. Markatos, L.G. Papageorgiou, Optimal design and operation of distributed energy systems: application to Greek residential sector, Renewable Energy, 51 (2013) 331-342.
- [25] A.R. Celma, F.C. Blázquez, F. López-Rodríguez, Feasibility analysis of CHP in an olive processing industry, Journal of cleaner production, 42 (2013) 52-57.
- [26] F. Atabi, M.A. Ehyaei, L. Kabodanian, E.M. Namini, technical feasibility study of the use of photovoltaic cells for supplying CHP requirements of a building in Tehran, Proceedings of the Second National Conference on wind and solar energy, Tehran, Iran, 2013.
- [27] M. Farahnak, M. Farzaneh-Grd, M. Deymi-Dashtebayaz, F. Dashti, Optimal sizing of power generation unit capacity in ICE-derived CCHP systems for residential building sizes, Applied Energy, 158 (2015) 203-219.
- [28] S. Javan, V. Mohamadi, P. Hanafizadeh, Fluid selection optimization of a combined cooling, heating and power (CCHP) system for residential applications, Applied Thermal Engineering 96 (2016) 26-38.
- [29] <http://www.cat.com>
- [30] <http://www.electeratherm.com>