بررسی سیستم‌های میکرو CHP برای کاربرد های مسکونی با استفاده از موتورهای استرلینگ پیستون آزاد(FPSE)

مریم السادات اخوان حجازی[۱]، ایمان رستگار[۲]، امیرمسعود کوچک زاده خیابانی[۳]

چکیده

امروزه افزایش آلودگی و نیاز جامعه به انرژی الکتریکی باعث شده تا محققین به استفاده از سیستم‌های بازیاب انرژی روی بیاورند. در این تحقیق به بررسی یک سیستم CHP با تولید سه کیلووات الکتریسیته و حرارت با محرک اولیه موتور استرلینگ پرداخته شده است، این سیستم یک نیروگاه خانگی تولید همزمان برق و حرارت است. بازده این سیستم نسبت به سیستم‌های فاقد CHP از ۳۲ درصد به حدود ۷۸ درصد می رسد. همچنین استفاده از این سیستم در مقایسه با سیستم‌های معمولی مزایای صرفه جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های پرداختی و کاهش آلودگی هوا را به همراه دارد. در این تحقیق مکان مورد آزمایش ۳۰۰۰ فوت مربع است، که توسط موتورFPSE و ژنراتور۳ کیلووات برق آن تامین می‌شود، مزیت موتور استرلینگ نسبت به موتور رفت و برگشتی که به طور خاص میتوان موتور ICE را نام برد، در این است که FPSE موتور برون سوز بوده و توسط یک مبدل حرارتی فرآیند احتراق و آلودگی تولید شده از قطعات موتور جدا نگه داشته می‌شود، اما در موتور ICE حرارت ورودی، توسط احتراق

[۱].استادیار و عضو هیئت علمی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان (نویسنده مسئول) Akhavanhejazi@gmail.com
[۲].دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان Rastegariman1374@gmail.com
[۳].دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان Amir.ebuk.ak@gmail.com

سوخت که درون سیال عامل بدست می‌آید قرار دارد، همچنین مصرف سوخت FPSE به مراتب کمتر از ICE می باشد.

کلمات کلیدی: تولید همزمان برق و حرارت، موتور استرلینگ پیستون آزاد (FPSE)، موتور احتراق داخلی (ICE)، موتور های رفت و برگشتی

مقدمه

افزایش روز افزون مصرف انرژی و کمبود منابع انرژی از یک سو و آلودگی محیط زیست و خطرات گرم شدن زمین از سوی دیگر زندگی انسان‌ها را با خطر مواجه کرده است، تجربه‌ی اقتصادی جهان نشان دهنده‌ی این است که اگرچه کشور ایران شامل منابع و معادن غنی و سرشار اولیه تولید انرژی است، اما استفاده نادرست و بی رویه از این انرژی‌ها نه تنها در آینده نزدیک کشور ایران را با خطر تامین انرژی مواجه میکند، بلکه خسارت‌های جبران ناپذیری به بودجه سالانه‌ی کشور و همچنین منابع محیط زیست وارد میکند. از این رو استفاده بهینه از انرژی و برنامه‌ریزی در این زمینه حائز اهمیت می‌باشد. استفاده از روش‌های جدید تولید انرژی که معایب روش‌های معمول را نداشته باشد، امری متداول در سراسر جهان است. یکی از این راهکارهای جدید، استفاده از سیستم‌های میکرو CHP[1] می‌باشد[6].

در طراحی سیستم‌های CHP از محرک‌های اولیه مختلفی از جمله: موتورهای احتراق داخلی، موتورهای استرلینگ، پیل‌های سوختی (غشاء تبادل پروتون، اکسید جامد، و...)، سیکل های رانکین، مجموعه ترموفوتولتاییک، ترموالکتریک‌ها و انرژی‌های جدید استفاده می‌شود که دلیل انتخاب موتور استرلینگ از میان محرک‌های فوق به چهار دلیل می باشد: ۱- بازدهی بالا ۲- دارای نویز و صدای کمتر۳- هزینه تعمیر و نگهداری پایین ۴- مصرف سوخت پایین تر

[1].Combined Heat and Power تولید همزمان حرارت و توان

موتور استرلینگ پیستون آزاد [2,5,6,8]

موتور استرلینگ ماشینی است که در یک سیکل بسته ترمودینامیکی کار کرده و انرژی گرمایی را به حرکت مکانیکی تبدیل می‌کند. نوعاً موتور استرلینگ دارای پنج زیر سیستم اصلی است: فضای انبساط، فضای تراکم، خنک کننده، بازیاب حرارتی و هیتر. موتور همچنین یک مکانیزم رانش دارد که در طول سیکل کاری تغییرات حجم را کنترل کرده و حرکت خطی متناوب پیستون‌ها را به شکل حرکت زاویه‌ای به محور محرکه منتقل می‌کند. سیال عامل در طول یک سیکل بین فضای انبساط(گرم) و فضای تراکم(سرد) جابجا می‌شود. این جابجایی توسط یک پیستون که جابجا کننده نامیده می‌شود انجام می‌پذیرد. هنگامی که سیال عامل در فضای گرم قرار دارد در اثر حرارت، فشارش افزایش می‌یابد. نوعاً فشار در طول یک سیکل نزدیک به حالت سینوسی می‌باشد. هنگامی که گاز پرفشار منبسط می‌شود، دومین پیستون که پیستون قدرت نام دارد، به سمت بیرون رانده می شود. بعد از حرکت گاز به فضای سرد و افت فشار آن، با برگشت پیستون قدرت گاز به حجم اول خود برمی‌گردد. به دلیل اینکه میزان فشار پایین است، مقدار نیروی داخلی پشت پیستون قدرت در هنگام برگشت آن در مرحله تراکم، از مقدار نیرویی که باعث بیرون راندن پیستون قدرت در مرحله انبساط می‌شود، کمتر است. بنابراین در هنگام تراکم گاز، کار کمتری نسبت به کار تولید شده در مرحله انبساط، مصرف می‌شود و این به معنی تولید یک کار مکانیکی خالص است. بازیاب حرارتی در زمانی که سیال عامل از قسمت گرم به قسمت سرد می‌رود، انرژی را در خود ذخیره می‌کند. به محض برگشت جریان، سیال سرد در هنگام عبور از بازیاب، انرژی ذخیره شده در آن را باز پس می‌گیرد و گرم می‌شود. این ذخیره سازی و بازپس دهی حرارت، یک مرتبه در هر سیکل رخ می‌دهد که نتیجه آن کاهش در اتلاف گرما و بنابراین افزایش بازده موتور است. وجود این بازیاب در موتور استرلینگ سبب می‌شود که بازده این موتور گرمایی نزدیک به بازده سیکل ایده‌آل کارنو گردد.

ویژگی موتور های استرلینگ به شرح زیر می باشد:[5]

۱- تطبیق پذیری سوخت: این موتور می‌تواند سوخت های متنوعی از جمله بیوماس، متان، سوخت مایع، گاز طبیعی و ... مصرف کند.

۲- آلایندگی پایین: فرآیند احتراق بصورت کامل انجام شده و تقریبا حدود ۱۰۰٪ هیدروکربن‌های ورودی را سوزانده و تولید آلاینده هایی از جمله No_x و Co_2 بسیار پایین است.

۳- از مزیت‌های موتور استرلینگ این است که، در سیستم های CHP بازده بالایی ایجاد میکند.

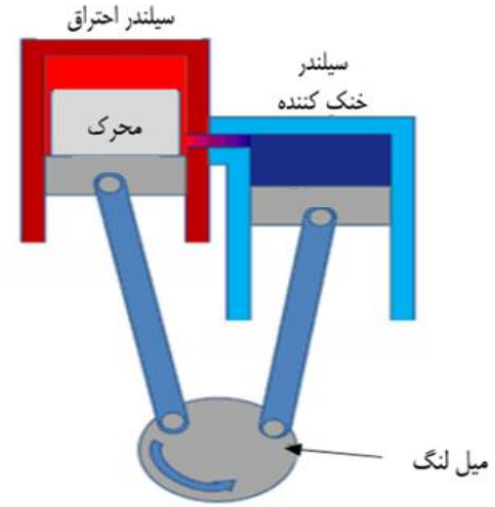
این موتورها از نظر پیستون به سه نوع تقسیم میشوند: [2]

۱) موتورهای نوع آلفا: موتورهای نوع آلفا دارای دو سیلندر مجزا برای فضاهای تراکم و انبساط بوده و در هر سیلندر یک پیستون قرار دارد. دو سیلندر مجزا به واسطه هیتر، بازیاب و کولر به هم متصل شده‌اند. پیستون گرم در کنار منبع گرم و پیستون سرد در کنار منبع سرد قرار می‌گیرد. این نوع از موتورها، از لحاظ مفهومی، ساده‌ترین ترکیب را در میان انواع ترکیبات موتور استرلینگ دارند. گرچه احتیاج به آب بندی هر دو پیستون از معایب آن به شمار می‌رود و مسئله آب بندی پیستون گرم به دلیل تماس با منبع گرم از مشکلات فنی آن می‌باشد. شکل(۱) نشان دهنده این موتوراست.

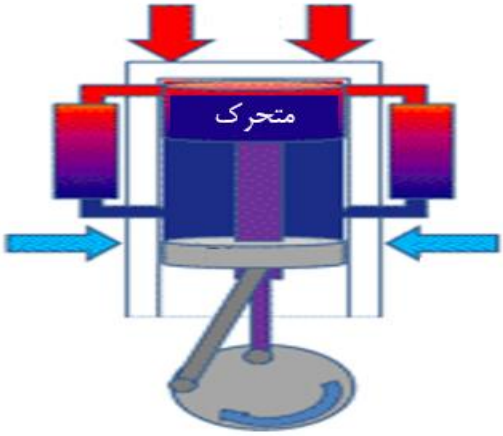
شکل۱) موتور استرلینگ نوع آلفا[2]

۲) موتورهای نوع بتا: موتور استرلینگ نوع بتا، قدیمی‌ترین ساختمان موتورهای استرلینگ می‌باشد. اختراع رابرت استرلینگ به عنوان اولین موتور استرلینگ دارای ساختمان بتا بوده است. موتورهای نوع بتا از ترکیب پیستون قدرت و جابجا کننده استفاده می‌کنند. ساختمان موتور به این گونه است که هر دو پیستون در یک سیلندر به طور خطی قرار گرفته‌اند. شکل(۲) نشان دهنده این موتور است.

۳) موتورهای نوع گاما: موتور استرلینگ نوع گاما همانند موتور نوع بتا دارای ترکیب پیستون- جابجا کننده می‌باشد. در این نوع موتور، پیستون و جابجا کننده در دو سیلندر مجزا قرار دارند. موتور استرلینگ گاما نسبت به نمونه های آلفا و بتا، دارای نسبت تراکم کمتری می‌باشد. اما به دلیل اینکه تنها پیستون قدرت نیاز به آب بندی دارد و همچنین سیلندرها مجزا هستند، ازلحاظ مکانیکی ساده‌ترین آرایش را در میان سایر چیدمان‌ها دارد. شکل(۳) نشان دهنده این موتور است.



شکل۲) موتور استرلینگ بتا [8]



شکل۳) موتور استرلینگ گاما [8]

سیستم مورد بحث در این تحقیق یک سیستم جدید تولید همزمان برق و حرارت (CHP) است که از اجزاء زیر تشکیل شده است:[2,4,6,7]

۱- محرک اولیه : موتور استرلینگ(FPSE[1])

۲- ژنراتور با ظرفیت دو کیلووات

[1] .Free-Piston Stirling Engine

۳- سیستم مبدل حرارت(HE[1])

۴- تجهیزات خنک کاری موتور، ژنراتور و اتصالات آن

۵- مدیریت و کنترل سیستم

۶- مبدل‌های انرژی

طراحی شامل سه مرحله زیر می باشد[6]

مرحله۱) انتخاب محرک اولیه مناسب

مرحله۲) طراحی الکتریکی

مرحله۳) طراحی مکانیکی

❖ **مرحله۱) انتخاب محرک اولیه مناسب به شرح زیر می باشد[6]**

برای سیستم تولید همزمان برق و حرارت، با اینکه به دلیل طول عمر مناسب موتورهای احتراق داخلی بیشتر از این نوع محرک استفاده میشود، اما موتورهای استرلینگ به تازگی در اروپا معرفی و آماده بکار شده‌اند و ویژگی‌های مناسبی برای کاربرد CHP دارند.

[1].Heat Exchanger

جدول (۱) محرک‌های قابل استفاده در سیستم‌های CHP را ذکر کرده و به مقایسه آن‌ها پرداخته است، همانطور که در جدول پیشنهادی آمده، انتخاب محرک نیاز به در نظر گرفتن دیگر ویژگی‌های سیستم نیز دارد.

جدول۱) مقایسه محرک ها برای سیستم CHP[6]

نوع موتور	موتور احتراق داخلی	موتور استرلینگ سینماتیک	موتور استرلینگ پیستون آزاد
مدل پیشنهادی شرکت ها	Honda GE 160V	Whisper Tech WhisperGen AC	**TIAX MicroPower Prototype**
توان الکتریکی ژنراتور	1	حدود 1	**0.7**
بازدهی الکتریکی ژنراتور در حالت بار کامل	20%	(11%برای واحدDC ، برای واحد AC کمتر است)	**16% الی 22%**
قدرت خاص[۲](w/kg)	N/A	حدود 9[۱]	**37 to 53**
گازهای گلخانه ای NO_x CO	<60 ppm N/A	50 to 150 ppm 100 to 400 ppm	**<60 ppm** **<100 ppm**

[۱] برآورد براساس مشخصات واحد DC دریایی

[۲] برای مونتاژ محرک اولیه و ژنراتور است که شامل مبدل حرارت نمیشود.

نویز(dB(A) @ 1m)	44[1]	63	**<55**
دوره تعمیرات	6000	2000 to 3500	**+5000**

تنها مورد تجاری دردسترس با طول عمر مناسب از موتورهای احتراق داخلی زیر 5kw که شامل 1kw هم باشد موتور هوندا است، اما موتورهای استرلینگ زیر 5kw بطور گسترده در توان 1kw یا کمتر موجود میباشد. به همین دلیل در سیستم پیشنهادی از موتور استرلینگ استفاده شده است.

مزایای انتخاب موتور استرلینگ بجای موتور های احتراق داخلی به شرح زیر میباشد [5,6]

- موتور های استرلینگ به مراتب کمتر از ICE[2] ها منوکسید کربن تولید میکنند و همچنین برای نصب داخل ساختمان به مراتب امن تر هستند.
- به مراتب صدای نویز کمتری را داخل ساختمان ایجاد میکنند پس قابل نصب داخل ساختمان هستند.
- با سوخت های متنوع تری نسبت به ICE ها عمل میکنند.
- دیرتر به تعمیر و چکاپ سالانه نیاز پیدا میکنند.
- بطور ذاتی عملکرد سیال در آن ها بخاطر نفوذ صفر از بیرون و لوپ بسته بهتر است.

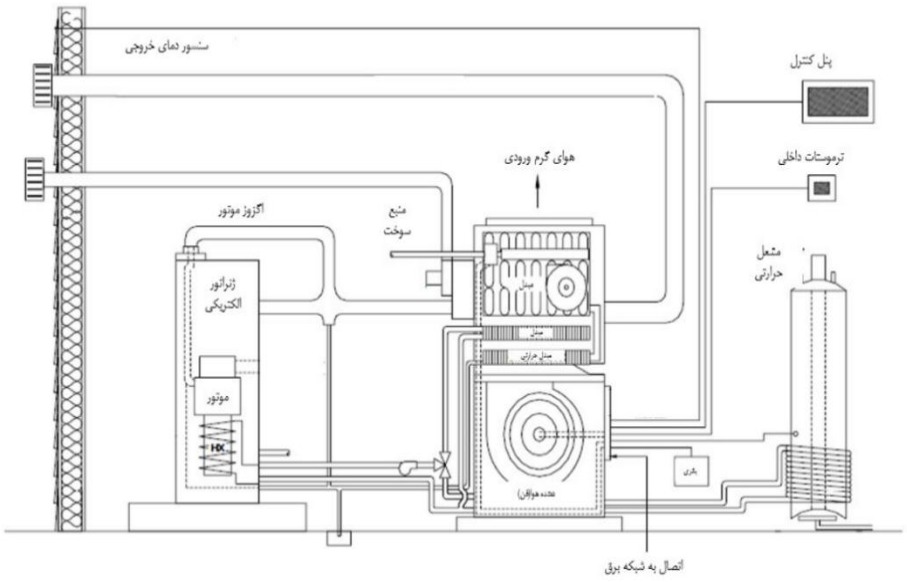
[1] محفظه صدا
[2] موتور احتراق داخلی

در نتیجه با توجه به اطلاعات بالا از تکنولوژی FPSE در سیستم CHP استفاده شد، که در ادامه نوع خاصی از آن انتخاب خواهد شد.

جدول(۲) سه نوع موتور FPSE را مقایسه میکند که طراحی موتور TIAX از همه بصرفه و آسان تر است. ساختمان این موتور در شکل(۴) نشان داده شده است.

جدول۲) مقایسه سه موتور FPSE[6]

پارامتر های طراحی	Infinia	Sunpower	TIAX
پیکر بندی	Gamma	Beta	**Gamma**

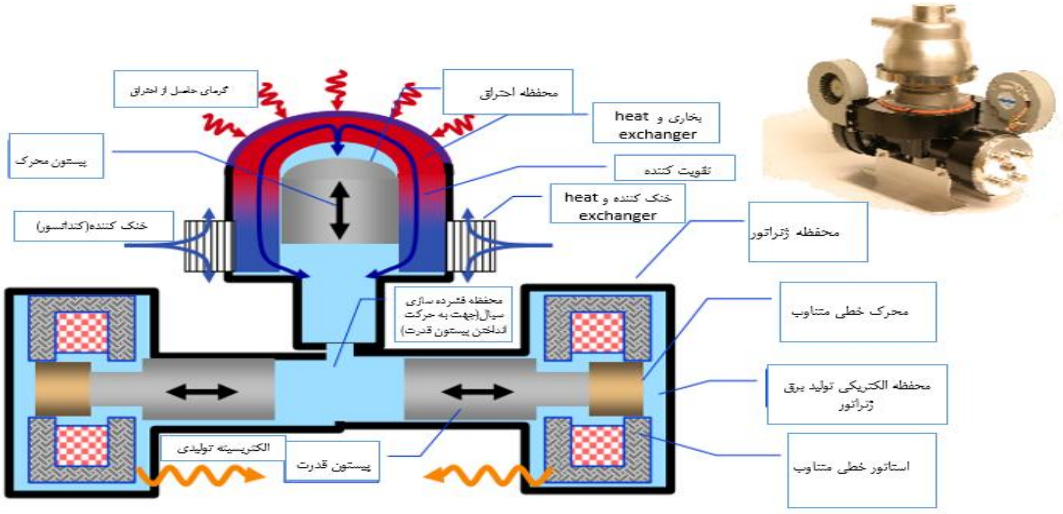


-در حال حاضر برای ۵۰۰۰ ساعت طراحی شده است که نیاز به، تغییرات طراحی برای رسیدن به میکرو CHP دائم دارد.	-پرهزینه -نیازمند حالات چندگانه ارتجاعی -شفت اتصال پیستون متصل به فنر ارتجاعی از طریق پیستون قدرت	-پرهزینه و مشکل در طول مونتاژ -نیاز به پیستون قطر بزرگتر	**توضیحات**

شکل۴) پارامتر های طراحی FPSE شرکت TIAX[6]

مشخصات اجزائ سیستم:[4,7]

شکل (۵) نشان دهنده ی سیستم میکرو CHP با استفاده از گرمکن می باشد. این سیستم متشکل از یک واحد موتور- ژنراتور و یک کوره مخصوص هوای گرم است.



شکل ۵) سیستم CHP با گرمکن با استفاده از FPSE [4]

در این مدل طراحی شده تمامی تجهیزات داخل ساختمان نصب میشود، این ژنراتور میتواند با انواع موتورها از قبیل موتور های استرلینگ، موتور های احتراق داخلی، موتور بخار و... متصل شود. برای کاربرد های مسکونی محدوده ی ظرفیت انرژی الکتریکی ژنراتور ۱ تا ۳ کیلو وات می باشد و با استفاده از مبدل حرارتی با ظرفیت تولید ۳/۵ تا ۳۰ کیلووات میتوان حرارت تولید کرد.

بخش کنترلی این سیستم شامل دو بخش، یکی درون ساختمان و دیگری مربوط به کنترل دمای تجهیزات خارجی می باشد. موتور-ژنراتور همزمان که در حال تولید برق می باشد در صورت لزوم حرارت لازم برای گرم کردن هوا و یا آب را فراهم میکند. در زمانی که برق شبکه قطع می شود ژنراتور از طریق یک اینورتر که متصل به یک منبع تغذیه dc است راه اندازی میشود.

مزیت های این سیستم عبارتند از:

۱-از آنجا که سیستم CHP طراحی شده در داخل ساختمان قرار میگیرد میزان لوله کشی کم و تلفات گرمایی هدررفته در مسیر کاهش میابد.

۲-چون محرک اولیه از سیستم گرمایش ساختمان جدا است، نصب آن به مراتب راحت تر و قابل انعطاف تر از یک سیستم یکپارچه بزرگ است.

۳-نصب منبع رادیاتور در بیرون این ویژگی را دارد که دیگر نیاز به انرژی اضافی نداریم تا صرف شود و مازاد حرارت را از سیستم خارج کند پس بازده ما افزایش میابد.

مشخصات طراحی: براساس نتیجه تحقیقات تجاری و ارزیابی تکنولوژی طرح، مشخصات طراحی مورد نظر برای تهیه طرح مفهومی در جدول (۳) ارائه شده است:

جدول۳) مشخصات طراحی سیستمCHP [6]

مشخصات	پارامتر ها
ظرفیت ژنراتور ۱ تا ۲ (kw)	توان الکتریکی ژنراتور
۱۵٪ بازده کارآمد(LHV)	بازدهی الکتریکی ژنراتور
متناسب با نیاز مجموعه	ظرفیت ذخیره انرژی الکتریکی
موتور استرلینگ(FPSE)	نوع محرک اولیه
-محرک اولیه: نصب شده در داخل -محرک اولیه مجزا از سیستم تهویه -سیستم خنک کننده محرک اولیه به وسیله آب -بازیافت گرمای هدر رفت اگزوز -هدایت گرمای اضافی توسط رادیاتور به خارج از خانه -تولید گرمایش فقط بصورت هوای گرم(بدون آب گرم)	بسته بندی
گاز طبیعی و پروپان	نوع سوخت
۶۰۰۰ دلار	هزینه نهایی نصب
سالیانه	دوره زمانی تعمیرات و نگه داری

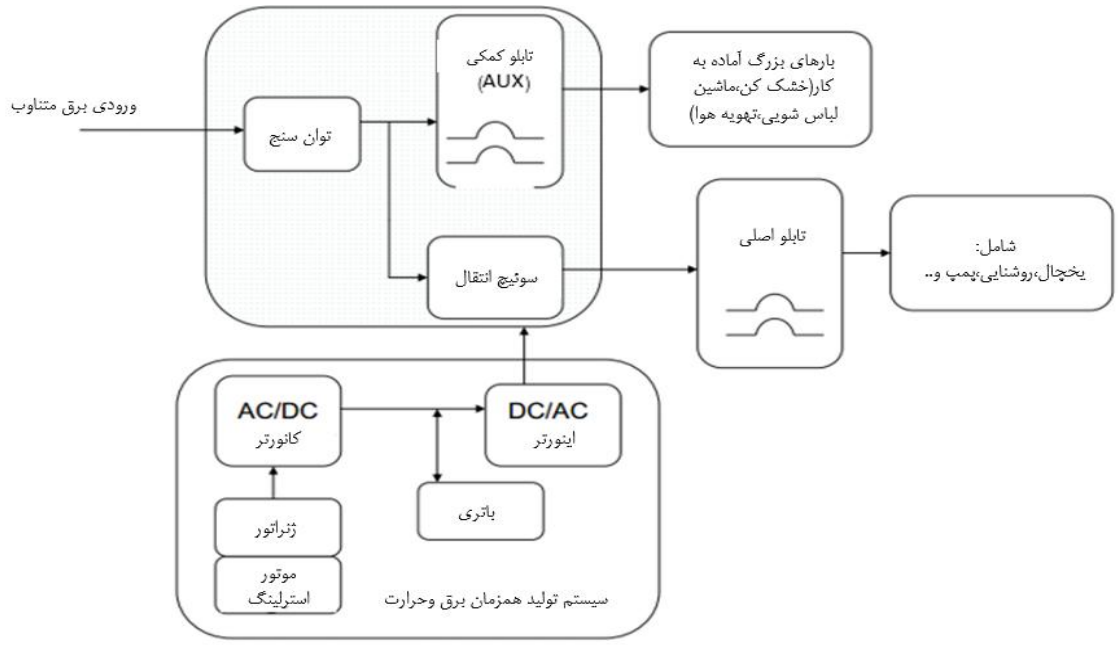
❖ **مرحله۲) مراحل طراحی سیستم الکتریکی به شرح زیر می باشد [6]**

۱- تعیین نوع رابط شبکه

۲- تعیین انتخاب تکنولوژی ذخیره انرژی

۳- تعیین ظرفیت ژنراتور

۱- رابط شبکه: طراحی سیستم متصل به شبکه مطابق شکل(۶) می باشد.



شکل۶) سیستم های متصل به شبکه سیستم میکروCHP [6]

در ادامه طراحی الکتریکی به بررسی باتری(منبع ذخیره انرژی) و تعیین ظرفیت ژنراتور می پردازیم.

سیستم ذخیره انرژی در مواقع مختلفی عمل میکند:

۱-در زمان عملکرد اورژانسی مکمل ظرفیت ژنراتور برای رسیدن به پیک بار میباشد و اجازه می دهد بارهای بیشتری با هم عمل کند.

۲-زمانی که ژنراتور به بار کمی متصل است برق اضافی را ذخیره میکند.

دو نوع باتری برای ذخیره انرژی مورد بررسی قرار می گیرد:[6]

- ۱- اسیدی
- ۲- لیتیومی [1,6]

باتری لیتیومی در مقابل باتری اسیدی خیلی کوچک است که در این کاربرد مزیت مهمی نیست ولی هزینه پروژه برای باتری لیتیومی بسیار زیاد است پس در نتیجه باتری اسیدی بهتر از باتری لیتیمی است.

ژنراتور یک نیروی اولیه را برای روشن کردن موتور و بارهای لحظه ای ساختمان فراهم میکند، پس در واقع ژنراتور خود نیروی اولیه روشن کردن را به موتور میدهد ولی هنگامی که بار ساختمان بیش از ظرفیت بار نامی ژنراتور می شود باتری کمکی به کمک ژنراتور می آید.

ظرفیت ژنراتور و باتری باید طوری انتخاب شود تا زمانی که ۹۵ درصد بار ساختمان فعال است، شارژ باتری پایین تر از ۵۰ درصد نشود.

باید ژنراتور، ظرفیت تولید بیش از بار خانه را داشته باشد، ظرفیت باتری در مواقع پیک بار باید بگونه ای باشد که به کمک ژنراتور بیاید و مکمل آن باشد، توان آن باید بین ۳ تا ۱۰ کیلو وات باشد که در مجموع سیستم CHP بتواند بین ۴ تا ۱۲ کیلو وات خروجی داشته باشد.

❖ **مرحله۳)طراحی مکانیکی شامل گام‌های زیر می‌باشد .**

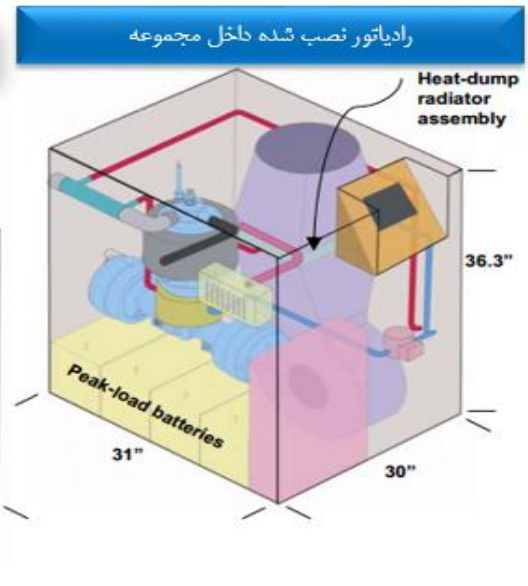
۱) مشخص کردن اندازه و محل قرارگیری اجزائ مکانیکی شامل: سیم پیچ بازیاب حرارت، رادیاتور، پمپ، فن، دمنده، لوله کشی و... .

۲) استخراج نحوه بسته بندی محصول.

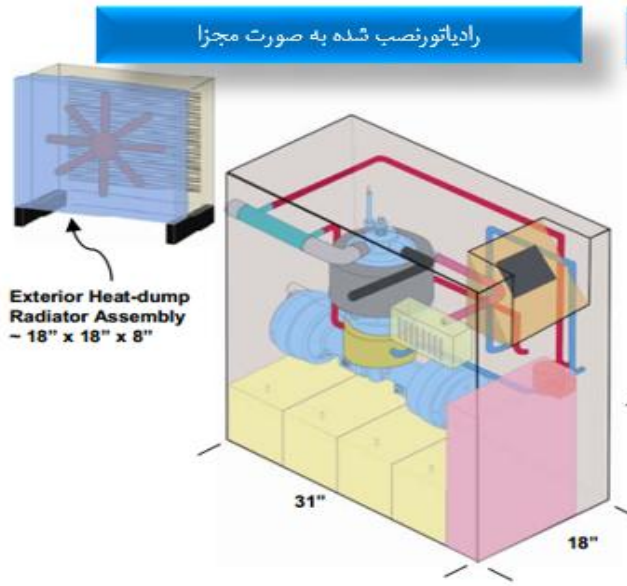
۳) تولید نقشه های مفهومی.

توجه: مجزا بودن بخش های مختلف سیستم بصرفه‌تر و بهینه‌تر از حالتی است که سیستم را بصورت یکپارچه طراحی کنیم!

شکل (۷) و (۸) نشان دهنده این است که سیستم به صورت مجزا دارای ابعاد کوچکتری نسبت به سیستم یکپارچه است.



شکل۷) سیستم یکپارچه [6]

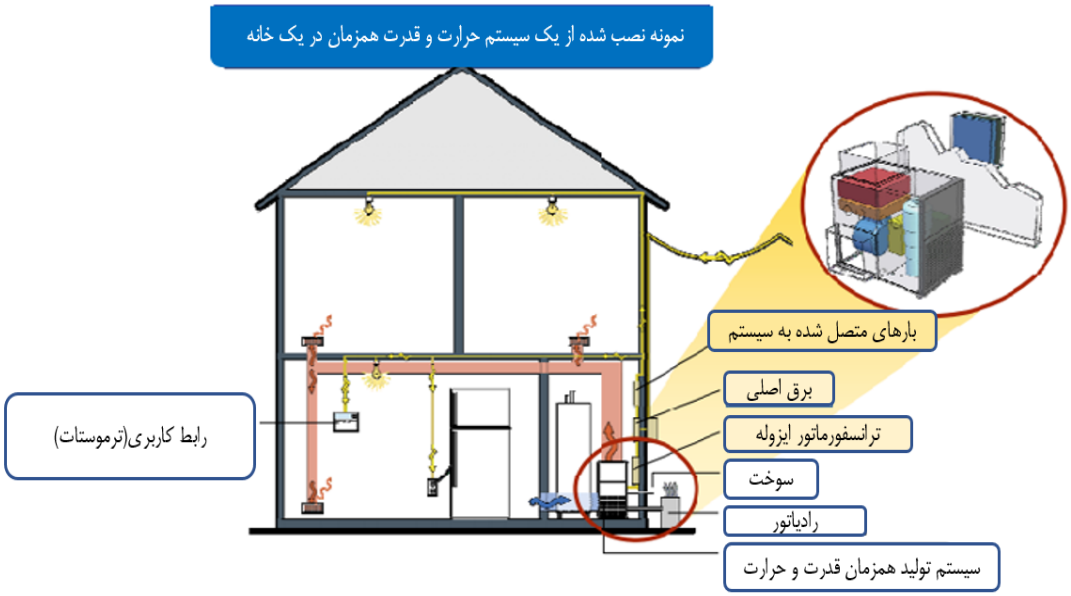


شکل۸) سیستم مجزا[6]

طراحی سیستم CHP برروی یک ساختمان[3,6]

شکل (۹) نشان دهنده یک نمونه نصب شده از یک سیستم CHP است. که برخی از ویژگی های کلیدی این سیستم عبارتند از:

۱- سیستمی بدون نیاز به نیروی انسانی ۲- توانایی تامین قدرت بارهای خانگی در زمان قطع برق ۳- توانایی عملکرد با گاز پروپان یا گاز طبیعی ۴- طراحی شده برای گرم کردن خانه توسط گرمای محصور تولید شده توسط سیستم CHP ۵- استفاده از یک شبکه هوشمند بار برای حداکثر ذخیره انرژی الکتریکی در هنگام قطع برق ساختمان



شکل۹) سیستم CHP استفاده شده برای تولید برق و حرارت ساختمان[6]

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سیستم تولید همزمان قدرت و حرارت در مقیاس میکرو با حداکثر ظرفیت ۲ کیلووات الکتریسیته و با محرک اولیه FPSE طراحی شد. این بررسی شامل سه مرحله بود، در مرحله اول به انتخاب محرک اولیه پرداخته شد، محرک از میان موتورهای استرلینگ، درون‌سوز انتخاب شد، همان گونه که بیان شد موتورهای استرلینگ به دلیل افزایش بازدهی، کاهش سوخت، هزینه تعمیر و نگه داری کمتر و همچنین به دلیل این که جزو موتورهای برون‌سوز است دارای آلودگی کمتری می‌باشد. در مرحله دوم به بررسی طراحی الکتریکی پرداخته شد، در سیستم جدید برخلاف سیستم های معمول قبلی از کنترلرهای اتوماتیک به جای کنترلرهای دستی استفاده شد، همین امر باعث راه‌اندازی راحت‌تر و بازدهی بیشتر می‌شود. در طراحی مکانیکی با جداسازی

منابع آب‌گرم و بعضی از ادوات مکانیکی فضای اشغالی کاهش یافته و باتوجه به توضیحات فوق این سیستم نسبت به سیستم‌های قبلی دارای بازدهی بیشتر و تلفات کمتر بوده و طبق آزمایش‌های انجام شده در قسمت‌های قبل بازدهی حرارتی تا حدود ۶۷٪ و بازدهی الکتریکی تاحدود ۳۳٪ افزایش میابد.

بنابراین ا ستفاده از این سیستم درمقایسه با سیستم های معمول تولید الکتریسیته وحرارت، مزایای صرفه جویی در مصرف انرژی را به همراه خواهد داشت.

سپاسگزاری

از جناب آقای مهندس عصار کاشانی و شرکت دیزل مولد امید که حمایت های مالی این پروژه را بر عهده داشتند بدین وسیله قدردانی میکنیم.

مراجع

[1] Bianchi M, De Pascale A, Melino F.(2013).Performance analysis of an integrated CHP system with thermaland Electric Energy Storage for residential application. Applied Energy,ELSEVIER,112,928-938.

[2] Christoph M, Arnaud G,Rafael A,Li S,Xue Y.(2007).Stirling Engine.University of GAVLE.

[3] Ebrahimi M,Keshavarz A,Jamali A.(2012). Energy and exergy analyses of a micro-steam CCHP cycle for a residential building.ELSEVIER, Energy and Buildings,45,202-210.

[4] Mayer K.(2006). Final Technical Report Research, Development and Demonstration of Micro-CHP Systems for Residential Applications.ECR International.

[5] Pourmovahed A, Opperman T, Lemke B.(2011). Performance and Efficiency of a Biogas CHP System Utilizing a Stirling Engine. International Conference on Renewable Energies and

Power Quality(ICREPQ'11), European Association for the Development of Renewable Energies,Environment and Power Quality (EA4EPQ)

[6] Robert A Zogg.(2006). Research, Development, and Demonstration of Micro-CHP Systems for Residential Applications. Prepared by:TIAX LLC

[7] (2008).CHP Technology.Deparment of Energy & Climate change.

[8] http//www.mpoweruk.com/stirling_engine.