

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی

مدل سازی یک سیستم تولید همزمان با محرک گازسوز و انرژی خورشیدی برای ساختمان مکانیک و عمران دانشگاه صنعتی شاهرود، پردیس ۲

نگارنده:

پوریا خلیلیان

استاد راهنما:

مهندس احمد مددی

استاد مشاور:

دکتر محمود چهارطاقی

دی ۱۳۹۷

شماره: ۱۵۴، ۲۸۷، ۹۷
تاریخ: ۱۳/۱۱/۹۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای **پوریا خلیلیان** با شماره دانشجویی ۹۵۰۵۵۹۴ رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **سیستم‌های انرژی** تحت عنوان **مدل‌سازی یک سیستم تولید همزمان با محرک گازسوز و انرژی خورشیدی برای ساختمان مکانیک و عمران** دانشگاه صنعتی شاهرود، پردیس ۲ که در تاریخ ۱۳۹۷/۱۰/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: قبولی) ☒ مردود ☐ نوع تحقیق: ☐ نظری ☐ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	مهندس احمد مددی	مربی	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور	دکتر محمود چهارطافی	دانشیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر رامین ذاکری	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر سید مجید هاشمیان	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر محمد ضامن	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد محسن شاه‌مردان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود

را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن

ایستاده‌ام برسم.

سپاس‌گزاری

سپاس نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این مرحله از تحصیل را به پایان برسانم. همچنین از اساتید فاضل و اندیشمند جناب آقای مهندس احمد مددی و جناب آقای دکتر محمود چهارطاقی که همواره بنده را در تهیه این پایان نامه، مورد لطف و محبت خود قرار داده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعهدنامه

اینجانب **پوریا خلیلیان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی مکانیک-گرایش سیستم‌های انرژی** دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه با عنوان "**مدل‌سازی یک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما با محرک گازسوز و انرژی خورشیدی برای ساختمان مکانیک و عمران دانشگاه صنعتی شاهرود، پردیس ۲**"، تحت راهنمایی **جناب آقای مهندس مددی و جناب آقای دکتر محمود چهارطاقی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آن) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

از جمله مشکلات جهان امروز، کاهش سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوخت-های فسیلی در راستای تأمین توان، سرمایه‌گذاری و گرمایش جهت فراهم نمودن شرایط آسایش افراد است. از این رو سیستم‌های تولید همزمان با کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش میزان تولید آلاینده‌ها یکی از روش‌های مؤثر جهت تأمین این نیازها است. از سوی دیگر انرژی خورشیدی، انرژی پاک و رایگانی است که می‌تواند در تأمین بخشی از این نیازها نقش مفیدی ایفا کند. ترکیب سیستم‌های تولید همزمان و سیستم‌های خورشیدی می‌تواند تأثیری دوچندان بر زندگی انسان و محیط‌زیست داشته باشد. از این رو در این پژوهش یک سیستم تولید همزمان با محرک گازسوز و کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت برای کاربری آموزشی در دانشگاه صنعتی شاهرود مورد آنالیز انرژی و اقتصادی قرار گرفته است. ظرفیت مورد بررسی در این پژوهش برابر ۱۲۵۳ کیلووات توان برق و ۱۵۰۰ کیلووات بار گرمایشی و ۲۵۰ تن تبرید ظرفیت سرمایه‌گذاری بوده است که توسط نرم‌افزار کریر مورد محاسبه قرار گرفته است. سپس تأمین تقاضای مجموعه تحت ۴ سناریو متفاوت به کمک کد نویسی در محیط نرم‌افزار متلب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد تأمین این تقاضا به کمک موتور گازسوز و کلکتورهای خورشیدی بهترین سناریو بوده و نیازی به بویلر پشتیبان نخواهد بود. همچنین نتایج نشان می‌دهد این ترکیب منجر به راندمان ۹۷ درصدی در حالت CCHP و راندمان ۶۹ درصدی در حالت CHP می‌گردد. همچنین مقدار دو پارامتر CR (درصد کاهش هزینه‌های عملکردی) و FESR (درصد کاهش مصرف سوخت) در این ترکیب به ترتیب برابر ۵۶/۱۴ و ۴۰/۶۴ محاسبه شده است. علاوه بر این دوره‌ی بازگشت سرمایه با در نظر گرفتن نرخ بهره حدود ۱۰ سال خواهد بود.

کلمات کلیدی

سیستم تولید همزمان برق و حرارت و برودت، کلکتور صفحه تخت، موتور گازسوز، آنالیز انرژی، آنالیز اقتصادی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و مرور کلی.....	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ سیستم تولید همزمان	۲
۳-۱ مقایسه سیستم‌های سنتی و سیستم‌های تولید همزمان	۴
۴-۱ مزایای سیستم‌های تولید همزمان	۵
۵-۱ کلکتورهای خورشیدی	۶
۶-۱ کلکتورهای صفحه تخت	۶
۷-۱ موتور گازسوز	۹
۸-۱ چیلرهای جذبی	۱۰
فصل دوم: مرور کارهای گذشته	۱۳
۱-۲ مقدمه	۱۴
۲-۲ مروری بر کارهای گذشته	۱۴
۳-۲ ضرورت انجام کار و جنبه‌های نوآوری	۲۰
فصل سوم: شبیه‌سازی و مطالعه‌ی موردی	۲۳
۱-۳ مقدمه	۲۴
۲-۳ تشریح سیستم پیشنهادی	۲۴
۳-۳ آنالیز انرژی سیستم متمرکز (سیستم تولید جداگانه)	۲۶
۴-۳ آنالیز انرژی سیستم تولید همزمان	۲۷

۳-۵	آنالیز انرژی موتور گازسوز	۳۲
۳-۶	آنالیز انرژی کلکتورهای صفحه تخت	۳۷
۳-۷	راندمان سیستم تولید همزمان	۴۲
۳-۸	آنالیز اقتصادی	۴۳
۳-۸-۱	درصد کاهش مصرف سوخت	۴۶
۳-۸-۲	درصد کاهش هزینه‌های عملکردی	۴۶
۳-۸-۳	دوره‌ی بازگشت سرمایه	۴۷
۳-۹	مطالعه‌ی موردی	۴۸
۳-۱۰	سناریوهای مورد مطالعه	۴۹
سناریو ۱:		۵۰
سناریو ۲:		۵۰
سناریو ۳:		۵۰
سناریو ۴:		۵۰
۳-۱۱	مدل‌سازی	۵۱
فصل چهارم:	نتایج	۵۳
۴-۱	مقدمه	۵۴
۴-۲	اعتبار سنجی	۵۴
۴-۳	نتایج آنالیز انرژی	۵۵
۴-۳-۱	راندمان سیستم CCHP	۷۱
۴-۴	نتایج آنالیز اقتصادی	۷۴

۷۵	۱-۴-۴ نتایج پارامتر FESR و کاهش پارامتر CR
۷۶	۲-۴-۴ نتایج ارزش حال خالص
۷۸	۳-۴-۴ نتایج نرخ بازگشت داخلی
۷۹	۴-۴-۴ نتایج دوره‌ی بازگشت سرمایه
۸۱	فصل پنجم: جمع‌بندی نتایج و ارائه‌ی پیشنهادها
۸۲	۱-۵ مقدمه
۸۲	۲-۵ جمع‌بندی نتایج
۸۳	۳-۵ ارائه‌ی پیشنهادها
۸۴	مراجع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): نمای کلی از کلکتور صفحه تخت [۴] ۷
- شکل (۲-۱): اجزای تشکیل دهنده کلکتور صفحه تخت [۴] ۸
- شکل (۳-۱): اجزای تشکیل دهنده کلکتور صفحه تخت، جریان عبوری سیال و نحوه عملکرد آن [۵] ۸
- شکل (۴-۱): اجزای تشکیل دهنده کلکتور صفحه تخت [۶] ۹
- شکل (۱-۳): شماتیک سیستم تولید همزمان پیشنهادی ۲۶
- شکل (۲-۳): انرژی‌های ورودی و خروجی از یک موتور احتراق داخلی [۴۲] ۳۳
- شکل (۳-۳): نمای برش خورده‌ای از کلکتور صفحه تخت [۳] ۳۸
- شکل (۴-۳): تغییرات دمای محیط در شهر شاهرود [۵۶] ۴۹
- شکل (۱-۴): مقدار ساعت روشنایی در روز ۵۶
- شکل (۲-۴): ساعت طلوع خورشید در طول سال در شهر شاهرود ۵۶
- شکل (۳-۴): ساعت غروب خورشید در طول سال در شهر شاهرود ۵۷
- شکل (۴-۴): میزان تابش ساعتی بر روی صفحه‌ی افقی در شهر شاهرود ۵۸
- شکل (۵-۴): میزان تابش روزانه در شهر شاهرود ۶۰
- شکل (۶-۴): تغییرات تابش خورشیدی بر حسب زاویه‌ی کلکتور خورشیدی ۶۱
- شکل (۷-۴): تغییرات تابش خورشیدی بر حسب زاویه‌ی سمت صفحه ۶۲
- شکل (۸-۴): میزان حرارت مفید دریافتی بر کلکتور ۶۳
- شکل (۹-۴): تغییرات توان تولیدی موتور گازسوز بر حسب نسبت تراکم ۶۵
- شکل (۱۰-۴): تغییرات توان تولیدی بر حسب دمای محفظه‌ی احتراق موتور گازسوز ۶۶
- شکل (۱۱-۴): تغییرات دمای خروجی از اگزوز موتور گازسوز نسبت به دمای محفظه‌ی احتراق ۶۷

- شکل (۴-۱۲): تغییرات دمای خروجی از اگزوز موتور گازسوز نسبت به سوخت تزریقی..... ۶۷
- شکل (۴-۱۳): تغییرات دمای قبل از محفظه‌ی احتراق بر حسب نسبت تراکم موتور گازسوز..... ۶۸
- شکل (۴-۱۴): تغییرات میزان سوخت تزریقی به سیستم بر حسب نسبت تراکم موتور گازسوز..... ۶۸
- شکل (۴-۱۵): تغییرات میزان سوخت تزریقی بر حسب دمای محفظه‌ی احتراق موتور گازسوز..... ۶۹
- شکل (۴-۱۶): تغییرات فشار خروجی از موتور گازسوز بر حسب نسبت تراکم..... ۷۰
- شکل (۴-۱۷): تغییرات فشار خروجی از موتور گازسوز بر حسب سوخت مصرفی موتور گازسوز..... ۷۰
- شکل (۴-۱۸): نمودار راندمان سیستم تولید همزمان سیستم پیشنهادی..... ۷۱
- شکل (۴-۱۹): تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان بر حسب تغییرات دمای محفظه‌ی احتراق..... ۷۲
- شکل (۴-۲۰): تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان بر حسب تغییرات سوخت تزریقی به موتور گازسوز..... ۷۳
- شکل (۴-۲۱): تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان بر حسب تغییرات نسبت تراکم موتور گازسوز..... ۷۳
- شکل (۴-۲۲): تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان هیبریدی بر حسب تغییرات زاویه‌ی کلکتور..... ۷۴
- شکل (۴-۲۳): نمودار صرفه‌جویی در هزینه‌های عملکردی و مصرف سوخت..... ۷۶
- شکل (۴-۲۴): نمودار هزینه‌های سالانه سیستم تولید همزمان..... ۷۷
- شکل (۴-۲۵): نمودار نتایج ارزش حال خالص..... ۷۸
- شکل (۴-۲۶): نمودار نرخ بازگشت داخلی سرمایه..... ۷۹
- شکل (۴-۲۷): نمودار دوره‌ی بازگشت سرمایه..... ۸۰

فهرست جداول

- جدول (۱-۳): خروجی‌های موتور احتراق داخلی Waukesha [۴۹] ۳۷
- جدول (۲-۳): مشخصات کلکتور صفحه تخت [۶] ۳۹
- جدول (۳-۳): هزینه اولیه‌ی تجهیزات [۶, ۴۶, ۵۲] ۴۵
- جدول (۴-۳): مشخصات جغرافیایی شهر شاهرود [۵۷] ۴۹
- جدول (۵-۳): مشخصات تجهیزات بر اساس سناریوهای مورد مطالعه ۵۱
- جدول (۶-۳): پارامترهای ورودی نرم‌افزار متلب [۴۷, ۵۲, ۵۷] ۵۲
- جدول (۱-۴): خلاصه نتایج اعتبار سنجی ۵۵

فصل اول:

مقدمه و مرور کلی

۱-۱ مقدمه

عواملی مانند افزایش روز افزون جمعیت و تقاضای انرژی و همچنین افزایش قیمت حامل‌های انرژی و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و کمبود منابع سوخت‌های فسیلی، باعث شده است سیستم‌های نوین با عملکرد مناسب‌تر و راندمان بالاتر جایگزین سیستم‌های سنتی گردد.

انرژی پاک و رایگان خورشیدی باعث شده است این انرژی به صورت‌های مستقیم و غیرمستقیم مورد استفاده قرار گیرد. سیستم‌های تولید همزمان نیز با استفاده از حرارت اتلافی محرک‌های اولیه باعث افزایش راندمان، کاهش هزینه‌ها و کاهش تولید آلاینده‌ها می‌گردد. از این رو ترکیب انرژی خورشیدی با سیستم‌های تولید همزمان افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش مصرف سوخت و کاهش تولید آلاینده‌ها را به همراه خواهد داشت.

در این پژوهش با توجه به این موضوع، به تشریح سیستم تولید همزمان با کلکتورهای خورشیدی پرداخته شده است. کلکتورهای متفاوتی جهت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی وجود دارد که در این پژوهش کلکتورهای صفحه تخت انتخاب شده است.

۱-۲ سیستم تولید همزمان

سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما، سیستم تأمین کننده انرژی است که در آن انرژی الکتریکی مورد نیاز در محل، به وسیله‌ی یک محرک اولیه تولید می‌گردد و حرارت اتلافی از محرک اولیه به منظور تأمین گرمایش، آبگرم مصرفی و یا سرمایش بازیاب می‌گردد. یکی از بخش‌های کاربردی سیستم تولید همزمان استفاده در بخش ساختمان است. این بخش در کشور ایران بیشترین سهم مصرف انرژی اولیه را به خود اختصاص داده است. این سیستم‌ها در مکان‌های تجاری، صنعتی، عمومی و یا حتی خانگی می‌تواند به کارگرفته شود [۱].

سیستم ترکیبی سرمایش، گرمایش و برق (CCHP) و سیستم ترکیبی گرمایش و برق (CHP) که سیستم‌های تولید هم‌زمان نامیده می‌شود، یک تکنولوژی اثبات شده و قابل اعتماد است که عمده‌تاً در دستگاه‌های متمرکز قدرت در مقیاس بزرگ و کاربردهای صنعتی استفاده شده است. به دلیل بالا بودن راندمان سیستم‌های تولید هم‌زمان در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی سیستم‌های تولید هم‌زمان صورت گرفته است.

در اغلب کاربردهای سیستم‌های تولید هم‌زمان، انرژی شیمیایی سوخت به انرژی مکانیکی و گرمایی تبدیل می‌گردد. معمولاً انرژی مکانیکی برای تولید برق و انرژی گرمایی برای تولید گرمایش و سرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم‌های تولید هم‌زمان در مراکز خرید، فرودگاه‌ها، بیمارستان‌ها، هتل‌ها، ادارات، مراکز آموزشی و منازل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سیستم‌های تولید هم‌زمان از سه قسمت اصلی به شرح ذیل تشکیل می‌شوند [۱، ۲].

▪ واحد تولید قدرت یا همان محرک اولیه، مانند توربین گاز، میکرو توربین، موتور استرلینگ و...

▪ واحد گرمایش مانند بویلرها، کویل‌های حرارتی

▪ واحد سرمایش مانند چیلرهای جذبی و چیلرهای الکتریکی

با کمک فن‌آوری تولید هم‌زمان، حرارتی که از گازهای داغ‌گزر و سیال خنک‌کننده در حال چرخش در سیستم به هدر می‌رود، با استفاده از مبدل‌های حرارتی مناسب بازیافت می‌گردد. بازیافت حرارت برای تأمین آبگرم، یا حتی بخار آب نیز می‌تواند بکار گرفته شود. حرارت بازیافت شده برای کاربری‌های مختلفی مانند تأمین آبگرم مصرفی، گرمایش محیط و یا استفاده در چیلر جذبی و تولید سرمایش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. انتخاب سیالی که جهت گرمایش و یا سرمایش محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد، خود تابع شرایطی است که می‌تواند آب گرم، بخار پرفشار یا کم‌فشار و یا حتی هوای گرم باشد.

در سیستم‌های تولید هم‌زمان سه‌گانه‌ی سرمایش، گرمایش و برق، تولید سرمایش با توجه به کاربردهای آن متفاوت است. به عنوان مثال در کاربردهای صنعتی تولید سرمایش می‌تواند در کل ماه‌های سال صورت پذیرد، یا در کاربردهای مسکونی و اداری و آموزشی در ماه‌های مختلفی از سال تولید سرمایش صورت پذیرد. با توجه به اینکه این پژوهش، مختص یک ساختمان آموزشی- اداری می‌باشد و با توجه به محل این پژوهش، نیاز تولید سرمایش، از اوایل خرداد تا پایان شهریور خواهد بود.

۳-۱ مقایسه سیستم‌های سنتی و سیستم‌های تولید هم‌زمان

در روش‌های قدیمی یا سنتی تولید انرژی الکتریکی که انرژی شیمیایی سوخت در نیروگاه‌های بزرگ گازی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، معمولاً بخش اعظمی از انرژی گرمایی به دست آمده از سوخت به محیط تخلیه شده و تلف می‌شود و این باعث کاهش راندمان نیروگاه‌های گازی در حدود ۳۰ درصد شده است. از طرفی کاربران در بخش‌های مسکونی و تجاری گرمای مورد نیاز را از طریق بویلرها، دیگ‌ها و یا پکیج‌های حرارتی تأمین می‌کنند. در مقایسه با سیستم‌های تولید انرژی سنتی، سیستم تولید هم‌زمان قابلیت تأمین حداقل بخشی از بار الکتریکی مورد نیاز را داشته و نیازهای گرمایشی و سرمایشی را با بازیافت گرمای اتلافی، از موتور و اگزوز به منظور تأمین نیاز کاربران مورد استفاده قرار می‌دهند. به این ترتیب سیستم تولید هم‌زمان قادر به بهره‌برداری بیشتر از انرژی ورودی سوخت به سیستم بوده و دارای راندمان بالاتری نسبت به سیستم سنتی است.

۴-۱ مزایای سیستم‌های تولید همزمان

سیستم‌های تولید همزمان دارای مزایای فراوانی است. از جمله:

▪ افزایش راندمان و کاهش هزینه‌ها: استفاده از سیستم تولید همزمان باعث افزایش راندمان کلی نیروگاه و کاهش هزینه‌های اجرایی می‌شود. بازده نیروگاه گازی معمولاً کمتر از ۳۵ درصد است این بدان معنی است که بیش از ۶۵ درصد از ارزش حرارتی سوخت مصرفی در نیروگاه‌ها، هدر می‌رود. بازده کلی سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت حدود ۶۵ درصد است که با استفاده از بازیافت حرارت تلف شده توسط مبدل حرارتی در سیستم‌های تولید همزمان میزان راندمان به ۸۰ درصد هم خواهد رسید [۲].

▪ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: استفاده از سیستم‌های تولید همزمان سه‌گانه و دوگانه باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. سیستم تولید همزمان سه‌گانه نسبت به یک نیروگاه معمولی از سوخت کمتری استفاده می‌کند به طوری که کاهش مصرف سوخت تا ۴۵ درصد را دارند. در نتیجه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط سیستم‌های تولید همزمان کمتر خواهد بود.

▪ کوتاه‌تر شدن خطوط انتقال انرژی: سیستم‌های تولید همزمان در نزدیکی مصرف‌کننده ساخته می‌شوند و نسبت به نیروگاه‌های برق که اغلب در بیرون از شهر ساخته می‌شوند نیاز به خطوط انتقال برق کمتری دارند که باعث کاهش هزینه و همچنین کاهش تلفات انرژی می‌شود. در نیروگاه‌های تولید برق معمولاً برق مورد نیاز کاربران توسط یک یا چند نیروگاه در محلی دور از شهر تولید شده و بعد از طی فاصله تقریباً زیاد به مصرف‌کنندگان می‌رسد. فاصله زیاد منجر به تلفات انرژی و همچنین تحمیل هزینه‌های انتقال می‌شود. در سیستم‌های تولید همزمان، انرژی در محل مصرف تولید شده و در همان محل نیز مصرف می‌شود که این کار باعث حذف هزینه‌های انتقال انرژی و حذف هزینه‌های احداث پست برق می‌گردد.

▪ افزایش قابلیت اطمینان: سیستم‌های تولید همزمان قابلیت اطمینان بالایی دارند، به این دلیل که خطوط انتقال در همان محل مصرف می‌باشد. در مقایسه با سیستم‌های تولید برق در نیروگاه‌ها که فاصله زیادی را برای انتقال انرژی به محل مصرف طی می‌کنند، در صورت ایجاد حوادث طبیعی باعث قطع برق شده و با وقوع این حوادث خسارات اقتصادی برای سیستم و مصرف‌کننده‌ها ایجاد می‌شود.

۱-۵ کلکتورهای خورشیدی

کلکتورهای حرارتی خورشیدی به دو دسته کلی متمرکز کننده^۱ و غیر متمرکز کننده^۲ تقسیم‌بندی می‌شوند.

کلکتورهای متمرکز کننده از سهموی‌هایی تشکیل شده‌اند که نور خورشید را بر نقطه کانونی خود منعکس می‌کنند. با کنار هم قرار دادن این سهموی‌ها و حرکت دادن یک سیال از روی نقطه کانونی آن‌ها می‌توان گرمای تابشی خورشید را جذب کرد و برای گرمایش و یا تولید برق استفاده کرد. کلکتورهای غیر متمرکز کننده شامل کلکتورهای صفحه تخت^۳ و کلکتورهای لوله خلأ هستند [۳، ۴].

۱-۶ کلکتورهای صفحه تخت

کلکتورهای صفحه تخت از ساده‌ترین و پراستفاده‌ترین نوع کلکتورها به شمار می‌رود. شکل (۱-۱) نمونه‌ای از کلکتورهای صفحه تخت را نشان می‌دهد.

^۱ Concentrator

^۲ None Concentrator

^۳ flat plate collector



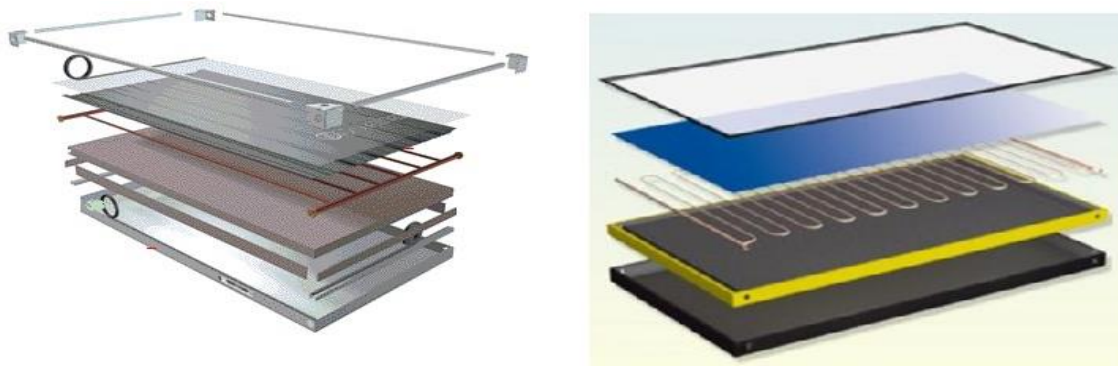
شکل (۱-۱): نمای کلی از کلکتور صفحه تخت [۴]

کلکتورهای صفحه تخت، جذب‌کننده‌های انرژی خورشیدی هستند که در آن‌ها انرژی تشعشعی خورشیدی به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های این کلکتورها، می‌توان به توانایی جذب تشعشع پخش‌شده و مستقیم به‌طور همزمان اشاره نمود. از جمله مزایای دیگر این کلکتورها عدم نیاز به دنبال‌کننده‌ی خورشیدی و تعمیرات و نگهداری آسان آن‌ها است.

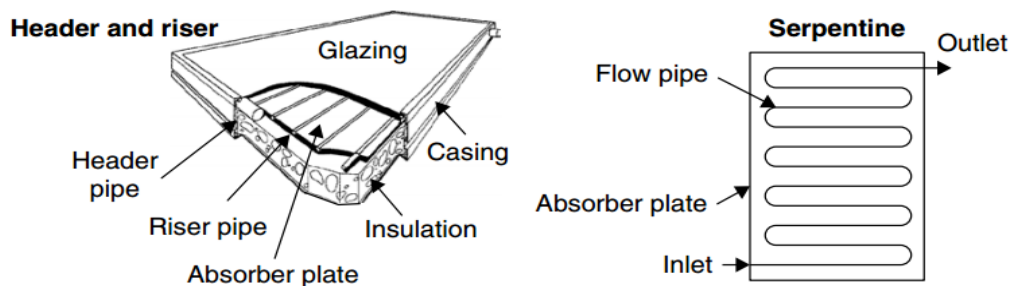
ساختار آن به شکل یک جعبه مستطیل شکل بوده که در داخل آن یک صفحه جاذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم با پوششی به رنگ‌های خاص قرار گرفته است. این صفحه، جاذب انرژی حرارتی خورشید است. در زیر صفحه، لوله‌های کوچکی قرار گرفته که آب یا سیال انتقال حرارت در آن‌ها جریان دارد. اطراف کلکتور به منظور کاهش اتلاف حرارتی نیز عایق‌بندی شده و روی سطح جعبه با پلاستیک شفاف یا شیشه پوشیده شده است.

کلکتورهای صفحه تخت که در سال ۱۹۵۰ توسط هتل و ویلیر توسعه داده شدند از رایج‌ترین کلکتورها هستند. این کلکتورها شامل یک جاذب انرژی خورشیدی از نوع صفحه تخت به رنگ تیره، یک پوشش

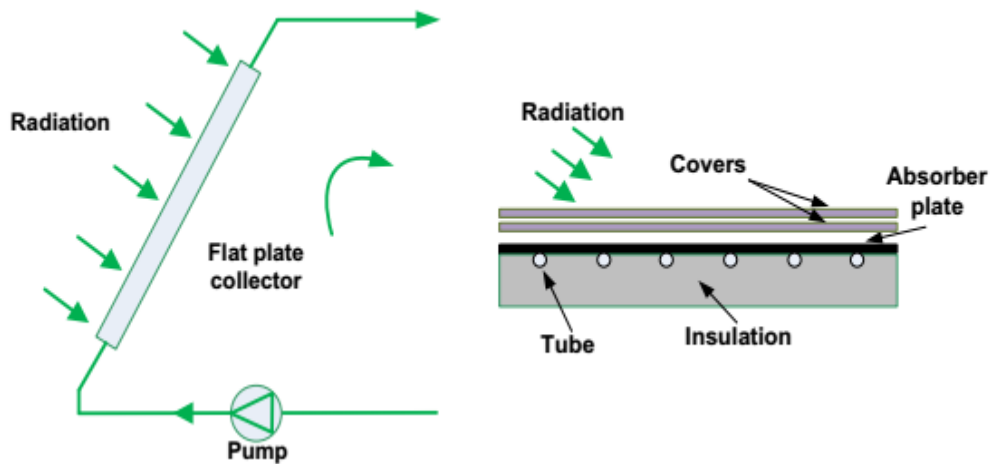
شفاف جهت عبور انرژی خورشید، یک سیال دهنده گرما (هوا، ضد یخ یا آب) برای انتقال گرما از جاذب و یک عایق حرارتی در پشت خود هستند. جاذب شامل یک ورقه‌ی جاذب نازک (پلیمری پایدار در برابر حرارت، آلومینیوم، فولاد یا مس که یک پوشش سیاه یا ویژه در آن به کار رفته) است که اغلب بر آن شبکه یا کویلی از اتصالات سیال در یک چهارچوب عایق شده با شیشه یا کاور پلی کربنات قرار می‌گیرد. در پنل‌های گرمایش آب سیال معمولاً از طریق لوله‌ها سیرکوله می‌شود تا حرارت را از طریق جاذب به مخزن آب عایق شده منتقل کند. مبنای سنجش کیفیت کلکتورهای خورشیدی میزان راندمان آن‌ها است که رابطه مستقیم با کیفیت صفحات جاذب دارد. شکل‌های (۲-۱) تا (۴-۱) اجزای تشکیل‌دهنده‌ی کلکتورهای صفحه تخت را نشان می‌دهند [۴، ۵].



شکل (۲-۱): اجزای تشکیل‌دهنده‌ی کلکتور صفحه تخت [۴]



شکل (۳-۱): اجزای تشکیل‌دهنده‌ی کلکتور صفحه تخت، جریان عبوری سیال و نحوه‌ی عملکرد آن [۵]



شکل (۴-۱): اجزای تشکیل دهنده‌ی کلکتور صفحه تخت [۶]

۷-۱ موتور گازسوز

یکی از انواع محرک‌های اولیه برای سیستم‌های تولید همزمان موتورهای احتراق داخلی یا موتورهای رفت و برگشتی است. موتورهای احتراق داخلی به چندین صورت وجود دارند و شاید معمول‌ترین شکل از موتورهای رفت و برگشتی، موتورهای بنزینی با احتراق جرقه‌ای در اتومبیل‌ها باشد. عمده‌ی موتورهای رفت و برگشتی را در سیستم‌های تولید همزمان با اندازه‌های متوسط تا بزرگ موتورهای دیزل ثابت که با سوخت دیزل (گازوئیل) یا در یک حالت دوگانه با گاز طبیعی کار می‌کنند، تشکیل می‌دهد.

این موتورها ضمن وجود برخی خصوصیات مشترک با یکدیگر، موارد اختلافی نیز در کاربردهای تولید همزمان دارند. قدرت موتورهای رفت و برگشتی همانند توربین‌های گازی و برای دو حالت کار دائم و مقطعی ارائه شده است. قدرت اسمی موتورهای رفت و برگشتی همان‌طور که برای توربین‌های گاز نیز مطرح است در شرایط استاندارد درجه حرارت محیط، فشار و اختلاف سطح نسبت به دریا بوده و قدرت استاندارد باید برای شرایط محلی نصب دستگاه مزبور تنظیم گردد. این نوع موتورها برای کاربرد تولید همزمان، در بسیاری از سطوح قدرت و با طرح‌های مختلف وجود دارد. ظرفیت این نوع محرک‌ها از مقادیر ۵۰ کیلووات تا بیش

از ۲۰۰ مگاوات قابل تغییر است. بعضی از تولیدکننده‌ها حتی سیستم تولید هم‌زمان کوچک را با قدرت خروجی کم (تا میزان ۶ کیلووات) نیز پیشنهاد می‌کنند.

منابع قابل استحصال حرارت از موتور گازسوز عبارت‌اند از:

- سیال ژاکت خنک‌کننده
- روغن روانکار
- گازهای خروجی از اگزوز موتور

به خاطر وجود مشکلات ناشی از فشار، خوردگی و شوک حرارتی نمی‌توان مستقیماً از سیال موجود در سیستم استفاده کرده به همین دلیل به کارگیری و انواع مبدل‌های حرارتی لازم است.

۸-۱ چیلرهای جذبی

در چیلرهای جذبی می‌توان از انرژی حرارتی موجود در سیستم‌های تولید هم‌زمان برای ایجاد سرمایش یک محیط استفاده نمود. در این قسمت به‌طور خلاصه عملکرد چیلرهای جذبی و کاربرد آن‌ها برای سیستم‌های تولید هم‌زمان تشریح خواهد شد.

در چیلرهای جذبی از سیالات بخصوص و سیکل ترمودینامیکی مشخصی استفاده می‌شود که درجه حرارت‌های پایین را بدون نیاز به یک کمپرسور بخار که در چیلرهای مکانیکی وجود دارد ایجاد می‌کنند. یک چیلر جذبی به‌جای استفاده از کمپرسور بخار از پمپ‌های مایع و منابع با درجه حرارت پایین مثل آب گرم، بخار یا گاز داغ استفاده می‌کند. در چیلرهای جذبی از سیالات محلولی استفاده می‌شود که از دو جزء تشکیل شده‌اند.

اصول کلی عملکرد چیلر جذبی بر این اساس است که بعد از پمپ شدن محلول به فشار بالا، از انرژی با درجه حرارت پایین برای تبخیر یک جزء محلول استفاده می‌شود. از این جزء به عنوان مبرد در این سیکل استفاده می‌شود. چند نمونه از محلول‌های مورد استفاده در چیلرهای جذبی عبارت‌اند از:

- آب و آمونیاک
- لیتیوم بروماید و آب
- لیتیوم کلراید و آب

در مورد اول آمونیاک به عنوان مبرد بوده و در ۲ مورد دیگر آب به عنوان مبرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کاربردهای تولید همزمان، ویژگی مهم چیلرهای جذبی آن است که از انرژی درجه حرارت نسبتاً پایین که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم از محرک اولیه به دست می‌آید، می‌توانند برای تولید آب سرد جهت سرمایش استفاده کنند. استفاده از چیلرهای جذبی به خصوص برای محل‌هایی که بارهای حرارتی آب و فضاها در مدت معینی از سال حداقل می‌باشند، مفید است. برای این موارد، خروجی حرارتی یک سیستم تولید همزمان را می‌توان برای گرمایش در خلال فصل سردتر سال و با استفاده از چیلر جذبی برای سرمایش در خلال فصل گرم‌تر سال استفاده کرد. ضمن اینکه عدم استفاده از چیلرهای تراکمی، باعث ثابت‌تر شدن بارهای الکتریکی در طول سال می‌شود.

همان‌طور که در این فصل به آن اشاره شد، سیستم‌های تولید همزمان دارای فواید بسیار زیادی است که در ترکیب با کلکتورهای خورشیدی این فواید دو چندان خواهد گردید. در این فصل به تجهیزات مورد استفاده در یک سیستم تولید همزمان نیز اشاره شد که به صورت اجمالی هر کدام تشریح گردید.

در ادامه به محققینی که در زمینه‌ی سیستم‌های تولید همزمان نقشی ایفا کرده‌اند پرداخته خواهد شد و برخی نکات مغفول در کار آن‌ها سرلوحه‌ی کار حاضر قرار خواهد گرفت تا با شبیه‌سازی یک سیستم جامع

هیبریدی با انرژی خورشیدی و سیستم تولید همزمان، نیازهای ساختمان مورد بررسی را تأمین نماید. نتایج مهم مستخرج از این شبیه‌سازی نیز در فصل بعد از آن به چالش کشیده خواهد شد و در نهایت با جمع‌بندی نتایج و ارائه پیشنهادهای در مورد سیستم پیشنهادی، تصمیم‌گیری خواهد شد.

فصل دوم:

مرور کارهای گذشته

۱-۲ مقدمه

مروری بر کارهای انجام شده در زمینه‌ی سیستم‌های تولید همزمان در ابعاد مختلفی می‌توان بررسی نمود که شامل مواردی چون نوع محرک‌های اولیه، نوع سیستم‌های خنک‌کننده، نوع کاربرد، نوع سوخت و نوع آنالیز انجام شده است؛ اما آنچه که در این پژوهش مهم‌تر است مرور تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی انتخاب و مدل‌سازی یک سیستم تولید همزمان سه‌گانه برای یک مکان خاص نظیر مکان اداری-آموزشی به همراه کلکتورهای خورشیدی است.

۲-۲ مروری بر کارهای گذشته

تاکنون مطالعات زیادی بر روی سیستم‌های تولید همزمان سه‌گانه صورت گرفته است که دارای محرک‌های اولیه متفاوتی از جمله: موتورهای احتراق داخلی، موتورهای استرلینگ، توربین‌های بخار، انرژی خورشیدی و ... بوده‌اند و همچنین برخی نیز از ترکیب این محرک‌ها بهره برده‌اند، که به تعدادی از آنها اشاره شده است.

مطالعات انجام شده در زمینه سیستم‌های تولید همزمان با یک محرک اولیه:

وو و وانگ [۷] وضعیت توسعه سیستم‌های CCHP را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها چهار نمونه سیستم CCHP با فن‌آوری‌های موجود برای ظرفیت‌های مختلف را بررسی کردند. که در آن برخی از محرک‌های اصلی و فن‌آوری‌های فعال حرارتی را نیز به‌طور خلاصه معرفی کردند. آن‌ها نشان دادند که راندمان سیستم CCHP می‌تواند حدود ۷۰ تا ۹۰٪ باشد. این مقدار به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از راندمان سیستم‌های مستقل متداول تأمین انرژی است.

همچنین یک سیستم میکرو CCHP خانگی که شامل یک چیلر جذبی بود توسط هانگ فو و همکاران [۹] مورد بررسی تجربی قرار گرفت. آن‌ها عملکرد چیلر جذبی را تحت شرایط مختلف گرمایشی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که تقریباً یک رابطه خطی بین چیلر جذبی با تغییر دمای آب گرم ورودی وجود دارد.

پسپیسیل و همکاران [۱۰] سیستم‌های تولید همزمان دوگانه و سه‌گانه را برای تأمین انرژی یک ساختمان بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که در مقایسه با سیستم تولید جداگانه، سیستم تولید همزمان دوگانه به میزان ۳۱٪ و سیستم تولید همزمان سه‌گانه به میزان ۳۹٪ در مصرف انرژی اولیه صرفه‌جویی می‌کند.

چیکو و مانکارلا [۱۱] به بررسی اقتصادی بر روی سیستم‌های تولید همزمان با محرک اولیه موتور احتراق داخلی پرداختند. آن‌ها شش طرح مختلف را برای تولید سرمایش با هم مقایسه نمودند که یکی از طرح‌ها سیستم تولید همزمان سه‌گانه است. آن‌ها اثر نوسانات قیمت برق و گاز را روی زمان بازپرداخت مورد مطالعه قرار دادند. این آنالیز یک تصویر منطقی خوبی برای مقایسه راه‌حل‌های مختلف عرضه می‌کند.

کونگ و همکاران [۲۱] به بررسی تجربی از عملکرد یک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما، متشکل از یک موتور گازسوز با سوخت LPG و یک چیلر جذبی به همراه یک ژنراتور در مقیاس کوچک پرداختند. ظرفیت سیستم شامل ۱۲ کیلووات برق، ۲۸ کیلووات حرارت و ۹ کیلووات سرمایش بود. نتایج نشان داد که این سیستم می‌تواند صرفه‌جویی بیشتری در انرژی اولیه نسبت به سیستم‌های سنتی داشته باشد.

کاوادایاس و همکاران [۲۳] به طراحی یک سیستم تولید همزمان پرداختند. هدف اصلی آن‌ها در طراحی سیستم پیشنهادی، کارایی اقتصادی و عملکرد پارامتری بود. آن‌ها اهمیت تعرفه انرژی را به عنوان استراتژی

عملی برای طراحی این سیستم در ساختمان یک بیمارستان بکار بردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که رسیدن به بار حرارتی و سرمایش بهتر و همچنین بهترین تعرفه‌های انرژی به اندازه اولیه موتور و استراتژی عملیاتی بستگی دارد. چو و همکاران [۲۴] به روش‌هایی برای بررسی انرژی و انرژی و عملکرد بهینه‌ی سیستم در تولید همزمان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد این سیستم باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گردد.

مطالعات انجام شده در زمینه سیستم‌های خورشیدی:

مکدونانیل و لاوندس [۱۲] نشان دادند که استفاده از بازتابنده‌ها راهی ارزان و کارآمد برای افزایش تشعشع خورشیدی برخوردی به روی صفحه جاذب به شمار می‌رود. بیکر و همکاران [۱۳] با انجام مطالعه عددی نشان دادند در صورتی که کلکتورها در شیبی بیشتر از عرض جغرافیایی محل قرار گیرند، با قرار دادن سطحی برای بازتاب تشعشع در پایین کلکتور، عملکرد کلکتور در تابستان بهبود می‌یابد.

پوکار و دسپیک [۱۴] نیز نشان دادند که هرگاه از بازتابنده با زاویه‌ی ثابت در بالای کلکتور استفاده شود، تنها در بازه زمانی کوتاهی سطح کلکتور به صورت یکنواخت تشعشع بازتابیده را دریافت می‌کند و در بقیه زمان‌ها قسمتی از تشعشع بازتابیده از روی سطح کلکتور به سمت زمین بازتاب شده و به هدر می‌رود. عظیمی [۵۰] نیز در یک مطالعه‌ی تحلیلی و آزمایشگاهی، آثار استفاده از بازتابنده‌های تخت در چهار طرف کلکتور و همچنین عدسی‌ها را بر روی عملکرد کلکتور صفحه تخت خورشیدی بررسی نمود. او نشان داد که کاربرد بازتابنده‌ها با زاویه‌ی ثابت، موجب افزایش بازده انرژی می‌شود.

جوشی و تیواری [۱۵] به بررسی انرژی، انرژی و اقتصادی یک سیستم خورشیدی برای ۴ نوع آب و هوای مختلف و چندین نوع کلکتور خورشیدی پرداختند. آن‌ها هزینه‌های تولید آب و برق را برای هر نوع

سیستم مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد ترکیب صفحات فتوولتائیک با آبگرمکن‌های خورشیدی صفحه تخت مناسب‌ترین نوع ترکیب خورشیدی برای تأمین آبگرم و برق است.

وانگ و همکاران [۱۷] در پژوهشی یک مبدل گرمایی جذب انرژی خورشیدی^۱ (SDAHT) که با محلول $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ کار می‌کند، برای تأمین انرژی با درجه حرارت بالا پیشنهاد دادند. آن‌ها از کلکتورهای صفحه تخت برای تأمین ورودی مورد نیاز حرارت در پیکربندی سیستم پیشنهادی استفاده نمودند که به طرز چشمگیری گستره کاربرد کلکتورهای صفحه تخت را گسترش می‌دهد. آن‌ها از مفهوم ترمواکونومیک به کمک نرم‌افزار EES برای ارزیابی و بهینه‌سازی SDAHT به منظور کمینه کردن هزینه‌های سرمایه سالانه در هر کیلووات حرارتی (CPK) و دوره بازگشت سرمایه^۲ (PP) استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که یک دمای جذب‌کننده اواپراتور مطلوب وجود دارد که CPK و PP می‌توانند حداقل مقادیر را به دست آورند. با شدت تابش خورشیدی در ۶۰۰ وات بر مترمربع، دمای تولید (تبخیر) در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد، دمای تراکم در ۳۸ درجه سانتی‌گراد، دمای جذب در ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد و بازده اقتصادی به ۰/۸ رسید. دمای مطلوب جذب‌کننده و CPK مربوط به این دما ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد و CPK برابر ۹۲۸ یورو بر کیلووات و بازگشت سرمایه برابر ۴ سال خواهد بود.

ستینو و همکاران [۱۸] استفاده مؤثر از منابع انرژی تجدیدپذیر را عامل اصلی برای رسیدن به اهداف اتحادیه اروپا در زمینه تغییرات اقلیمی و انرژی‌های تجدید پذیر دانستند. آن‌ها فن‌آوری‌های موجود برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی و حرارتی را مورد بررسی قرار دادند. پنل‌های فتوولتائیک، کلکتورهای حرارتی، پمپ‌های حرارتی، سیستم‌های خنک‌کننده و ذخیره انرژی با توجه به دسترسی به برنامه‌های کاربردی در مقیاس کوچک مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و روش‌های مختلفی برای تهیه

^۱ solar double absorption heat transformer

^۲ Payback period

گرمایش، سرمایش و آبگرم بهداشتی از منبع خورشیدی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و از دیدگاه راندمان، آنالیز اقتصادی و آنالیز زیست محیطی مورد مقایسه گرفت. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد انتخاب بهترین نوع سیستم وابسته به عوامل مختلفی است که بایستی متناسب با نوع اقلیم و کاربری انتخاب گردد.

راجو و نارایانا [۱۹] تأثیر کلکتورهای صفحه تخت را بر روی خروجی سیستم در حالت فعال خورشیدی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که سیستم با دو کلکتور صفحه تخت در حالت سری دارای راندمان بیشتری در مقایسه با یک کلکتور صفحه تخت است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که سری نمودن تعداد بیشتری از کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی باعث بالا رفتن دمای سیال داخل سیستم می‌شود.

سخن صفت و همکاران [۲۰] یک تحلیل ترمو اکونومیک برای دو سیستم مختلف خورشیدی مبتنی بر دو نوع کلکتور صفحه تخت و کلکتور لوله خلأ در شرایط آب و هوایی سرد ایران مورد مطالعه قرار دادند. تولید انرژی خورشیدی سالانه و دمای خروجی کلکتور با استفاده از نرم افزار TRNSYS16 محاسبه گردید. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که دمای ورودی و شرایط آب و هوایی دو متغیر عمده است که بر عملکرد کلکتور اثر می‌گذارد. درنهایت، با توجه به تجزیه و تحلیل حرارتی و اقتصادی، عملکرد سیستم با کلکتورهای لوله خلأ ۴۱٪ بهتر از سیستم با کلکتورهای صفحه تخت است و سود انرژی سالانه کلکتورهای لوله خلأ، ۳۰٪ بیشتر از کلکتورهای صفحه تخت در آب و هوای سرد است؛ بنابراین، استفاده از کلکتورهای لوله خلأ در آب و هوای سرد توصیه می‌شود.

مطالعات انجام شده در زمینه سیستم‌های تولید همزمان با محرک اولیه و انرژی خورشیدی:

لی و همکاران [۱۶] عملکرد یک سیستم ترکیبی خنک کننده، گرمایش و قدرت (CCHP) در حال اجرا با متانول و انرژی خورشیدی را بررسی نمودند. سیستم آن‌ها متشکل از کلکتورهای خورشیدی سهمی وار و

موتور احتراق داخلی بود. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که راندمان کلی انرژی در شش مورد متفاوت از ۴۰ تا ۵۰ درصد در شرایط تابستان و در شرایط زمستانی ۳۸ تا ۴۷ درصد است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد استفاده از این ترکیب بهبود قابل توجهی در بهره‌وری کلی انرژی ایجاد می‌کند. همچنین به همراه مزایای تولید برق از انرژی خورشیدی، می‌تواند صرفه‌جویی در مصرف انرژی فسیلی داشته باشد.

وانگ و همکاران [۲۲] یک سیستم تولید همزمان که از انرژی خورشیدی بهره می‌برد تا مصرف سوخت فسیلی‌اش را کاهش دهد، مورد بررسی قرار دادند. سیستم آن‌ها ترکیبی از سیکل رانکین و سیکل تبرید بود. آن‌ها این سیستم را به وسیله الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی کردند. نتایج آن‌ها از بهینه‌سازی در موقعیت جغرافیایی مورد نظر نشان می‌دهد که بهترین زاویه برای نصب کلکتور خورشیدی ۶۰ درجه است. وانگ و همکاران [۲۵] نیز تحلیل عملکرد ترمودینامیکی و پیکربندی یک سیستم تولید همزمان هیبریدی با موتور گازسوز و انرژی خورشیدی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که پنل‌های فوتوولتائیک راندمان انرژی را بالا برده و کلکتورهای حرارتی خورشیدی سبب افزایش راندمان انرژی می‌گردند. همچنین در پژوهشی دیگر وانگ و یانگ [۲۶] به بررسی یک سیستم تولید همزمان هیبریدی با محرک بیومس و کلکتورهای خورشیدی پرداختند و دریافتند که بیومس نقش بسزایی در بهبود راندمان انرژی کل سیستم نسبت به حالت خورشیدی مجزا دارد.

ایسای و همکاران [۲۷] به ارزیابی یک سیستم تولید همزمان CCHP به همراه انرژی خورشیدی پرداختند. هدف اصلی آن‌ها تجزیه و تحلیل سیکل بر اساس قانون اول و دوم ترمودینامیک و بررسی پارامترهای مهم مانند دمای نقطه پینچ اواپراتور و دمای ورودی پمپ ORC و فشار ورودی به توربین بود. مهرپویا و همکاران [۲۸] به تحلیل انرژی و انرژی یک سیستم هیبریدی سلول سوختی و موتور استرلینگ و سیکل جذبی پرداختند و دریافتند که نرخ تخریب انرژی به شدت وابسته به خروجی مشعل است. ژائو و همکاران [۲۹] به بررسی اثرات پیکربندی سیستم‌های تولید همزمان CCHP هیبریدی با استفاده از کلکتور

سهموی و سیکل ارگانیک رانکین پرداختند؛ که در پیکربندی آن‌ها از یک چیلر جذبی و یک مبدل حرارتی به صورت موازی برای سرمایش و گرمایش استفاده شده بود.

مخیمر و همکاران [۳۰] نیز ترکیب توربین گاز با سیستم‌های خورشیدی را پیشنهاد دادند. آن‌ها ترکیب توربین گاز را با چند نوع کلکتور خورشیدی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد ترکیب توربین ۵۰ مگاواتی با کلکتورهای خطی فرزنل اقتصادی‌ترین ترکیب ممکن است.

آیچمیر و همکاران [۳۱, ۳۲] نیروگاه سیکل ترکیبی MW ۱۵۰ را به گونه‌ای شبیه‌سازی کردند که به جای استفاده از توربین گاز، از تعداد زیادی میکرو توربین خورشیدی هیبریدی به همراه دیش سهموی بهره می‌برد. سپس آن‌ها عملکرد نیروگاه مذکور را با نیروگاه سیکل ترکیبی مقایسه نمودند. همچنین آن‌ها، توجیه فنی و اقتصادی سیستم تولید همزمان حرارت، برودت و قدرت را با محرک اولیه میکرو توربین خورشیدی، برای یک منطقه‌ی دور از شبکه برق، بررسی نمودند.

۲-۳ ضرورت انجام کار و جنبه‌های نوآوری

مطالعه در کارهای گذشته نشان می‌دهد استفاده از سیستم‌های تولید همزمان یکی از بهترین راه‌های تأمین انرژی و افزایش راندمان است. علاوه بر این ترکیب همزمان کلکتورهای خورشیدی به همراه محرک‌های اولیه‌ی رایج مانند موتور گازسوز سبب بهبود عملکرد سیستم‌های تولید همزمان می‌گردد و مصرف سوخت را به شدت کاهش می‌دهد. کاهش مصرف سوخت باعث کاهش تولید گازهای آلاینده نیز می‌گردد. تمامی این عوامل سبب شده است تا در سال‌های اخیر سیستم‌های تولید همزمان با محرک گازسوز و کلکتورهای خورشیدی مورد استفاده قرار گیرد. از این رو در این پژوهش نیز یک سیستم تولید همزمان با محرک اولیه‌ی گازسوز به همراه کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت برای کاربری اداری-آموزشی جهت تأمین بارهای مورد نیاز دانشکده مکانیک و عمران دانشگاه صنعتی شاهرود انتخاب شده است.

در این پژوهش سعی شده است تا در حد توان نکات مغفول در کارهای گذشته مد نظر قرار گیرد تا مطالعه‌ای جامع و کامل فراهم گردد. با توجه به نکات مهم مطرح شده در کارهای گذشته ساده‌ترین و ارزان‌ترین نوع کلکتورهای خورشیدی، کلکتورهای صفحه تخت است که در کنار گستردگی و مزایای فراوان موتورهای احتراق داخلی گازسوز بهترین ترکیب سیستم تولید همزمان هیبریدی تشکیل می‌گردد. از این رو در این پژوهش ۴ سناریوی مجزا به عنوان نوآوری تحقیق با این ترکیب مورد بررسی قرار گرفته است و تمام پارامترهای متغیر تأثیرگذار بر عملکرد سیستم به‌طور مجزا و همزمان بررسی شده است. در نهایت بهترین سناریو از نظر فنی و اقتصادی نیز معرفی شده است.

فصل سوم:
شبیه‌سازی و مطالعه‌ی موردی

۳-۱ مقدمه

در این فصل مدل سازی سیستم تولید همزمان بر پایه ی موتور گازسوز همراه با کلکتور خورشیدی صفحه تخت ارائه شده است. ابتدا به مدل سازی سیکل پیشنهادی پرداخته شده و در ادامه آنالیز انرژی و اقتصادی برای مجموعه ی مورد بررسی آورده شده است.

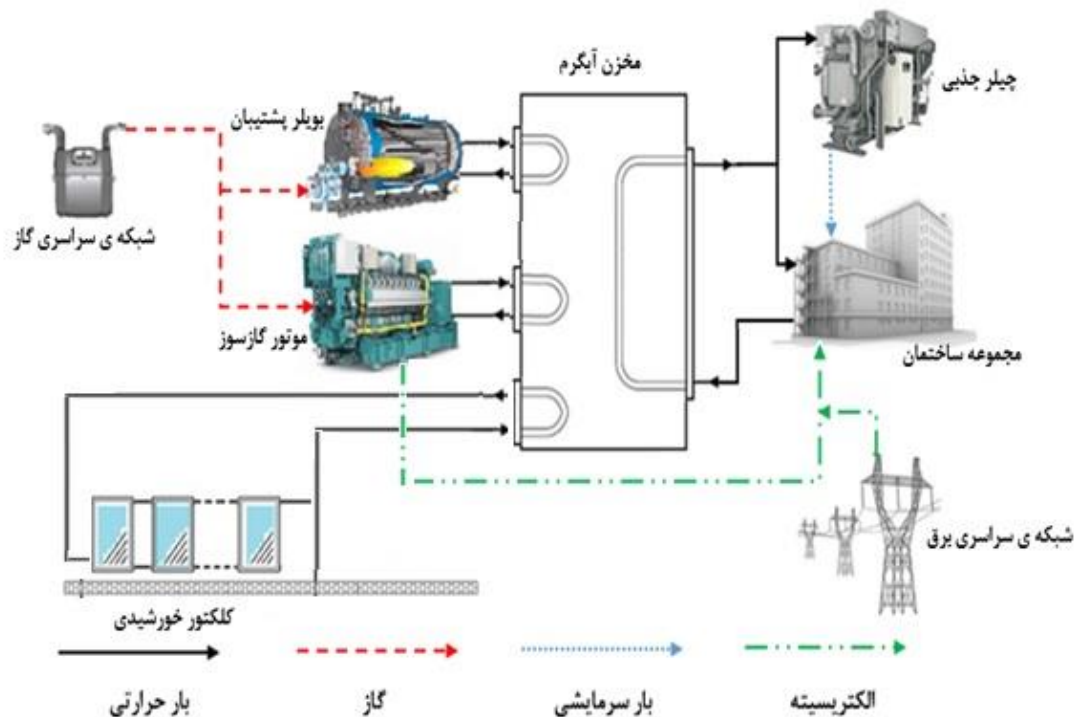
۳-۲ تشریح سیستم پیشنهادی

سیستم تولید همزمان پیشنهادی شامل محرک اولیه ی موتور گازسوز است که با توان نامی تقریبی ۱۲۵۰ کیلووات برق مورد نیاز مجموعه را در طول سال فراهم می کند. همچنین چیلر جذبی تک اثره لیتیم بروماید به ظرفیت سرمایشی ۲۵۰ تن تبرید بار سرمایشی مورد نیاز را در تابستان تأمین می نماید. بویلر پشتیبان، کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت و مخزن آبگرم، سایر تجهیزات سیستم پیشنهادی است، که مجموعاً ۱۵۰۰ کیلووات بار گرمایشی را فراهم می کند، که مقادیر ذکر شده در پژوهشی مشابه [۱] مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. مبنای پژوهش حاضر نیز مقادیر مستخرج از مرجع [۱] است، که در این مرجع مقادیر به کمک نرم افزار کریر محاسبه شده است.

شکل (۳-۱) سیستم تولید همزمان پیشنهادی در این پژوهش را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود در حالت استفاده از این نوع ترکیب، به کمک کلکتورهای خورشیدی گرمای دریافتی از انرژی خورشیدی به مخزن آب گرم داده می شود. همچنین محرک اولیه ی موتور گازسوز، سوخت خریداری شده از شبکه ی سراسری گاز را سوزانده و انرژی مکانیکی تولید می کنند. ژنراتور کوپل شده با محرک اولیه، انرژی مکانیکی تولید شده توسط محرک اولیه را به الکتریسیته تبدیل می کند. به این ترتیب برق مورد نیاز ساختمان تأمین می گردد.

در صورتی که برق تولید شده توسط مولد سیستم تولید همزمان کمتر از نیاز ساختمان باشد، برق مازاد مورد نیاز از شبکه‌ی سراسری برق تأمین می‌گردد. همچنین به کمک واحد بازیافت گرما، حرارت ژاکت خنک‌کننده و گازهای داغ خروجی به مخزن آب گرم داده می‌شود. حرارت دریافت شده به عنوان منبع گرمایی در جهت تأمین نیاز بار گرمایشی در فصل زمستان، آبگرم مصرفی در طول سال و همچنین تأمین حرارت اولیه‌ی چیلر جذبی برای تأمین نیاز سرمایشی ساختمان در فصل تابستان مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه حرارت دریافت شده جهت آبگرم مصرفی مورد نیاز باشد به‌طور مستقیم به مصرف می‌رسد و چنانچه جهت گرمایش محیط مورد نیاز باشد، آبگرم از طریق کویل‌های گرمایشی، حرارت خود را به محیط می‌دهد. در صورتی که حرارت دریافتی جهت سیستم سرمایش مورد نیاز باشد، آبگرم خروجی از سیستم بازیاب به سمت ژنراتور چیلر جذبی هدایت می‌شود. چنانچه حرارت دریافتی از سیستم پیشنهادی کمتر از نیاز ساختمان باشد بار گرمایشی مورد نیاز برای گرمایش ساختمان یا بار گرمایشی مورد نیاز برای چیلر جذبی از بویلر کمکی تأمین خواهد شد.

مبنای محاسبات برای سیستم پیشنهادی استراتژی تأمین بار الکتریکی است که بر این اساس محرک اولیه انتخاب شده است و از روابط مرتبط آورده شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.



شکل (۱-۳): شماتیک سیستم تولید همزمان پیشنهادی

۳-۳ آنالیز انرژی سیستم تولید جداگانه

در سیستم تولید جداگانه، انرژی الکتریکی مورد نیاز ساختمان E_{Grid}^{SP} از طریق برق شبکه تأمین می‌گردد و از رابطه‌ی (۱-۳) قابل محاسبه است. بار حرارتی ساختمان، Q_H از طریق بویلر گازسوز تأمین شده و به وسیله‌ی کویل حرارتی به مصرف‌کنندگان انتقال می‌یابد. همچنین فرض شده است که بار سرمایشی، Q_{Ch} از طریق چیلر تراکمی تأمین گردد [۳۳].

$$E_{Grid}^{SP} = E_{dem} + E_C \quad (۱-۳)$$

در رابطه‌ی (۳-۱)، E_{dem} انرژی الکتریکی مورد نیاز برای روشنایی و سایر تجهیزات الکتریکی است و E_C انرژی الکتریکی مورد نیاز جهت استفاده در چیلر تراکمی است که از رابطه‌ی (۳-۲) به دست می‌آید [۳۳]:

$$E_C = \frac{Q_{Ch}}{COP_e} \quad (۳-۲)$$

در رابطه‌ی (۳-۲)، COP_e ضریب عملکرد چیلر تراکمی است. حرارت مورد نیاز برای کویل حرارتی، Q_H ، به منظور تأمین بار حرارتی ساختمان از رابطه‌ی (۳-۳) قابل محاسبه است [۳۴].

$$Q_{hc} = \frac{Q_H}{\eta_{hc}} \quad (۳-۳)$$

در رابطه‌ی (۳-۳)، η_{hc} راندمان کویل حرارتی است؛ بنابراین سوخت مصرفی در بویلر، F_{Boiler}^{SP} که حرارت مورد نیاز کویل حرارتی را تأمین می‌کند از رابطه‌ی (۳-۴) به دست می‌آید [۳۵].

$$F_{Boiler}^{SP} = \frac{Q_{hc}}{LHV \times \eta_{Boiler}} \quad (۴-۳)$$

همچنین در رابطه‌ی (۴-۳)، η_{Boiler} راندمان بویلر است.

۳-۴ آنالیز انرژی سیستم تولید همزمان

سیستم تولید همزمان بسیار تحت تأثیر بار الکتریکی و بار گرمایشی مورد نیاز ساختمان است. از این رو، طراحان سیستم‌های تولید همزمان از استراتژی‌های عملکرد مختلفی به منظور تأمین تقاضای انرژی در ساختمان استفاده می‌کنند. دو استراتژی عملکرد اصلی سیستم‌های تولید همزمان عبارت‌اند از: استراتژی تأمین بار الکتریکی و استراتژی تأمین بار حرارتی [۳۶].

در سیستم تولید همزمان تحت عملکرد استراتژی تأمین بار الکتریکی، تقاضای انرژی الکتریکی ساختمان به عنوان مبنای طراحی قرار می‌گیرد. بدین مفهوم که انرژی الکتریکی تولیدی توسط محرک‌های اولیه،

E_{pgu} با بار الکتریکی ساختمان، E_{req} طبق رابطه‌ی (۵-۳) تطبیق داده می‌شود. لذا ممکن است انرژی حرارتی بازیابی شده از محرک اولیه، Q_{rec} برابر با انرژی حرارتی مورد نیاز ساختمان نباشد. همچنین امکان فروش برق به شبکه در این استراتژی وجود ندارد. برای سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما تحت استراتژی تأمین بار الکتریکی، روابط (۵-۳) تا (۱۱-۳) حاکم است [۳۵].

$$E_{req} = E_{pgu} \quad (۵-۳)$$

انرژی حرارتی مورد نیاز ساختمان، از رابطه‌ی (۶-۳) به دست می‌آید [۳۴]:

$$Q_{req} = Q_H + Q_{Ch} + Q_{HW} \quad (۶-۳)$$

که در آن Q_{Ch} حرارت مورد نیاز چیلر جذبی و Q_{HW} حرارت مورد نیاز جهت تأمین آبگرم مصرفی است و به ترتیب از رابطه‌ی (۷-۳) و (۸-۳) به دست می‌آید [۳۷، ۳۵]:

$$Q_{Ch} = \frac{Q_C}{COP_{Ch}} \quad (۷-۳)$$

$$Q_{HW} = \rho_w C_w \dot{V} (T_2 - T_1) \quad (۸-۳)$$

در رابطه‌ی (۷-۳)، COP_{Ch} ضریب عملکرد چیلر جذبی است. در رابطه‌ی (۸-۳)، $\dot{V}$ دبی آبگرم مورد استفاده، T_1 دمای آب ورودی، T_2 دمای آبگرم مصرفی، ρ_w چگالی و C_w ظرفیت گرمایی آب است.

سوخت مصرفی در محرک اولیه، F_{pgu} نیز از رابطه‌ی (۹-۳) قابل محاسبه است [۳۸]:

$$F_{pgu} = \frac{E_{pgu}}{\eta_{pgu}} \quad (۹-۳)$$

در رابطه‌ی (۹-۳)، η_{pgu} راندمان الکتریکی محرک اولیه است. چنانچه انرژی حرارتی بازیابی شده از محرک‌های اولیه کمتر از انرژی حرارتی مورد نیاز باشد، کمبود انرژی حرارتی مورد نیاز، باید از طریق بویلر کمکی تأمین شود که از رابطه‌ی (۱۰-۳) قابل محاسبه است [۳۵]:

$$Q_{Boiler} = Q_{req} - Q_{rec} \quad (۱۰-۳)$$

سوخت مصرفی بویلر کمکی از رابطه‌ی (۱۱-۳) به دست می‌آید و همچنین رابطه‌ی (۱۲-۳) کل سوخت

مصرفی سیستم تولید همزمان را نشان می‌دهد [۳۴].

$$F_{Boiler}^{CCHP} = \frac{Q_{Boiler}}{LHV \times \eta_{Boiler}} \quad (11-3)$$

$$F_{total} = F_{Boiler}^{CCHP} + F_{pgu} \quad (12-3)$$

در سیستم تولید همزمان تحت استراتژی تأمین بار حرارتی، حرارتی که باید توسط سیستم تولید و در

صورت نیاز توسط بویلر کمکی تأمین گردد مشابه رابطه‌ی (۶-۳) است و مقدار حرارتی که باید از محرک

اولیه بازیاب گردد، Q_{req} ، طبق رابطه‌ی (۱۳-۳) با بار حرارتی مورد نیاز تطبیق داده می‌شود [۳۵]:

$$Q_{rec} = Q_{req} \quad (13-3)$$

بنابراین انرژی سوخت مصرفی در محرک اولیه، F_{pgu} ، از رابطه‌ی (۱۴-۳) قابل محاسبه است [۳۹]:

$$F_{pgu} = \frac{Q_{req}}{\eta_{dem}(1 - \eta_{pgu})} \quad (14-3)$$

در رابطه‌ی (۱۴-۳)، η_{dem} راندمان واحد بازیاب حرارت^۱ است؛ بنابراین انرژی الکتریکی تأمین شده

توسط موتور گازسوز، E_{pgu} ، از رابطه‌ی (۱۵-۳) به دست می‌آید [۳۵]:

$$E_{pgu} = F_{pgu} \eta_{pgu} \quad (15-3)$$

^۱ Heat recovery unit

با توجه به اینکه سیستم بر اساس تأمین بار حرارتی عمل می‌کند، مقدار حرارت بازیابی از محرک اولیه نمی‌تواند از مقدار حداکثر حرارت مورد نیاز بیشتر باشد؛ بنابراین حرارت اضافی مورد نیاز، Q_{Boiler} می‌بایست توسط بویلر کمکی تأمین گردد که مقدار آن از رابطه‌ی (۱۶-۳) محاسبه می‌شود [۴۰].

$$Q_{Boiler} = Q_{dem} - Q_{rec} \quad Q_{dem} > Q_{rec} \quad (16-3)$$

$$Q_{Boiler} = 0 \quad Q_{dem} = Q_{rec}$$

سوخت مصرفی بویلر کمکی، F_{Boiler}^{CCHP} ، نیز از رابطه‌ی (۱۷-۳) قابل محاسبه است و کل سوخت مصرفی سیستم تولید همزمان، F_{total} ، از رابطه‌ی (۱۸-۳) به دست می‌آید [۳۵]:

$$F_{Boiler}^{CCHP} = \frac{Q_{Boiler}}{LHV \times \eta_{Boiler}} \quad (17-3)$$

$$F_{total} = F_{Boiler}^{CCHP} + F_{pgu} \quad (18-3)$$

همچنین در استراتژی تأمین بار حرارتی، انرژی الکتریکی تأمین شده توسط محرک اولیه ممکن است برای تأمین تقاضای انرژی الکتریکی ساختمان مبنا کافی نباشد و یا بیش از بار الکتریکی ساختمان باشد، لذا انرژی الکتریکی اضافی مورد نیاز، E_{grid}^{cchp} ، باید از طریق برق شبکه تأمین شود. همچنین می‌توان انرژی الکتریکی اضافی تولید شده، E_{exp} را در صورت امکان به شبکه فروخت. روابط (۱۹-۳) و (۲۰-۳) تطبیق بار الکتریکی را تحت استراتژی تأمین بار حرارتی نشان می‌دهد [۴۰].

$$E_{grid}^{cchp} = E_{dem} - E_{pgu} \quad E_{dem} > E_{pgu} \quad (19-3)$$

$$E_{grid}^{cchp} = 0 \quad E_{dem} \leq E_{pgu}$$

$$E_{exp} = E_{pgu} - E_{dem} \quad E_{pgu} > E_{dem} \quad (20-3)$$

$$E_{exp} = 0 \quad E_{pgu} \leq E_{dem}$$

در هنگام محاسبه‌ی مقادیر سوخت مصرفی توسط بویلر کمکی و همچنین محرک اولیه، راندمان محرک اولیه و بویلر نقش بسزایی دارد که این مقدار به نوع کارکرد و مقدار بار جزئی هر تجهیز بستگی دارد. همچنین جهت محاسبه‌ی حرارت اولیه‌ی مورد نیاز در چیلر جذبی و یا الکتریسیته‌ی مورد نیاز در چیلر تراکمی در راستای تأمین بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان، مقدار ضریب عملکرد دستگاه‌ها تأثیرگذار خواهد بود. با کاهش ظرفیت کارکرد تجهیزات نسبت به بار نامی راندمان و ضریب عملکرد کاهش می‌یابد. کارکرد تجهیزات مانند بویلر، چیلر جذبی و چیلر الکتریکی تابعی از مقدار بار جزئی هر تجهیز خواهد بود که از روابط (۲۱-۳) تا (۲۳-۳) قابل محاسبه است [۴۰، ۴۱].

بویلر:

$$\frac{\eta_{Boiler,PL}}{\eta_{Boiler,nom}} = 0.0951 + 1.525PL - 0.6249PL^2 \quad (21-3)$$

چیلر جذبی:

$$\frac{COP_{ab,PL}}{COP_{ab,nom}} = \frac{PL}{0.75PL^2 + 0.0195PL} \quad (22-3)$$

چیلر الکتریکی:

$$\frac{COP_{Ch,PL}}{COP_{Ch,nom}} = 1.819PL - 0.819PL^2 \quad (23-3)$$

در رابطه‌ی (۲۱-۳)، $\eta_{Boiler,nom}$ راندمان نامی بویلر، در رابطه‌ی (۲۲-۳)، $COP_{ab,nom}$ ضریب عملکرد نامی چیلر جذبی و در رابطه‌ی (۲۳-۳)، $COP_{Ch,nom}$ ضریب عملکرد نامی چیلر الکتریکی در نظر گرفته شده است. همچنین در روابط (۲۱-۳) تا (۲۳-۳)، PL نشان دهنده‌ی بار جزئی تجهیزات است [۴۰، ۴۱].

با محاسبه‌ی بارهای الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی و انتخاب نوع استراتژی تأمین بار، می‌بایست محرک اولیه متناسب با ظرفیت آن انتخاب شود.

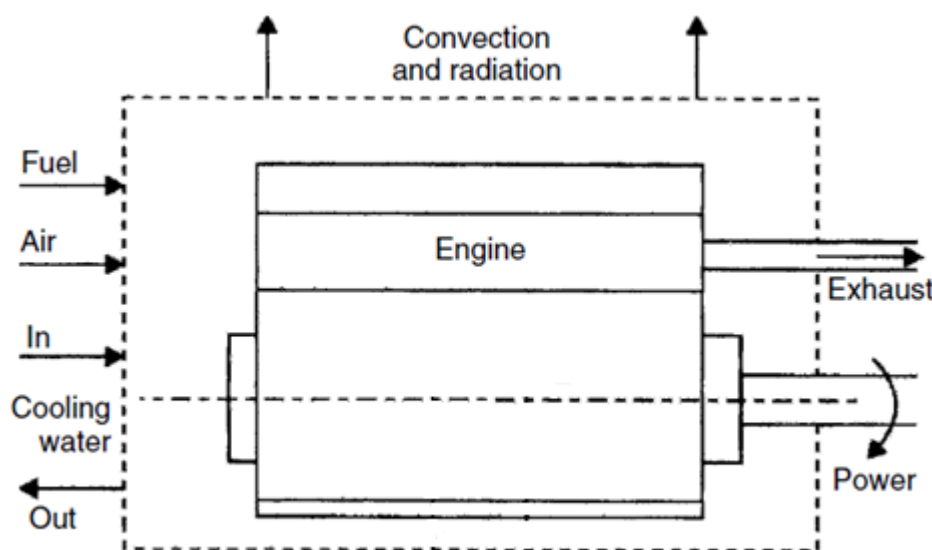
نصب و راه‌اندازی ساده‌ی موتورهای احتراق داخلی و سایر مزایای این نوع مولدها باعث شده است تا بیشترین استفاده در راستای تولید برق در سیستم‌های تولید همزمان را از آن خود کنند؛ بنابراین بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر روی محرک‌های اولیه به عنوان اولین جزء این سیستم در اولویت قرار می‌گیرد. پارامترهای تأثیرگذار محرک‌های اولیه بر روی سیستم تولید همزمان شامل ظرفیت اسمی، کارکرد در بار نامی و بار جزئی، نوع و میزان سوخت مصرفی، راندمان، حرارت قابل دریافت از آگروز، ژاکت خنک‌کننده و روغن روانکار است که در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به ترکیب سیستم پیشنهادی ابتدا به محاسبه‌ی دریافت حرارت از موتور گازسوز پرداخته شده است سپس حرارت دریافتی از واحد سطح کلکتور محاسبه شده است و در نهایت متناسب با سناریوهای بیان شده در انتهای فصل، نتایج استخراج شده است.

۳-۵ آنالیز انرژی موتور گازسوز

محرک اولیه شامل یک موتور گازسوز می‌باشد که شکل (۲-۳) شماتیک آن را نشان می‌دهد. موتور به صورت یک سطح کنترل در نظر گرفته شده است که ورودی و خروجی‌ها بر روی آن نشان داده شده است.

ورودی‌ها شامل سوخت ورودی به موتور متناسب با ظرفیت موتور و هوای ورودی است که توسط موتور مصرف می‌گردد. همچنین توان تولیدی موتور گازسوز، گازهای داغ خروجی از اگزوز، حرارت دریافتی از جریان آب خروجی سیستم خنک کاری موتور و گرمای اتلافی به محیط اطراف شامل جابه‌جایی و تشعشع به عنوان خروجی‌های سیستم معرفی شده است.



شکل (۳-۲): انرژی‌های ورودی و خروجی از یک موتور احتراق داخلی [۴۲]

با توجه به نوع عملکرد محرک اولیه و پارامترهای معرفی شده، رابطه بین اجزای موتور، ورودی و خروجی‌های موتور گازسوز مطابق رابطه‌ی (۳-۲۴) خواهد بود [۴۳]:

$$Q_f = P_s + (Q_{\text{exhaust}} - Q_a) + Q_{\text{jacket}} + Q_{\text{cr}} \quad (۳-۲۴)$$

در رابطه‌ی (۳-۲۴)، Q_f انرژی حاصل از احتراق سوخت در موتور بر حسب کیلووات است که از رابطه‌ی (۳-۲۵) به دست می‌آید [۴۴].

$$Q_f = \dot{m}_f LHV \quad (۳-۲۵)$$

در رابطه‌ی (۲۵-۳)، $\dot{m}_f$ دبی جرمی سوخت ورودی و برحسب $(\frac{kg}{s})$ و LHV ارزش حرارتی پایین سوخت و برحسب $(\frac{kJ}{kg})$ است.

در رابطه‌ی (۲۴-۳)، P_s مقدار توان تولیدی موتور بر حسب کیلووات است و همچنین $Q_{exhaust}$ مقدار گرمای خروجی از اگزوز موتور است که از رابطه‌ی (۲۶-۳) به دست می‌آید [۴۳].

$$Q_{exhaust} = (\dot{m}_f + \dot{m}_a) C_p T_e \quad (26-3)$$

در رابطه‌ی (۲۶-۳)، $\dot{m}_a$ دبی جرمی هوا بر حسب $(\frac{kg}{s})$ و C_p گرمای ویژه هوای در فشار ثابت بر حسب $(\frac{kJ}{kg.K})$ و T_e دمای گاز خروجی بر حسب کلوین است. همچنین Q_a در رابطه‌ی (۲۴-۳) آنتالپی هوا ورودی به موتور است که از رابطه‌ی (۲۷-۳) به دست می‌آید [۴۳].

$$Q_a = \dot{m}_a C_p T_a \quad (27-3)$$

در رابطه‌ی (۲۷-۳)، T_a دمای هوا بر حسب کلوین است. همچنین در رابطه‌ی (۲۴-۳)، Q_{jacket} گرمای آب خنک‌کننده در موتور است که از رابطه‌ی (۲۸-۳) قابل محاسبه است [۴۳].

$$Q_{jacket} = \dot{m}_w C_w (T_{2w} - T_{1w}) \quad (28-3)$$

در رابطه‌ی (۲۸-۳)، $\dot{m}_w$ دبی جرمی آب بر حسب $(\frac{kg}{s})$ ، C_w گرمای ویژه آب بر حسب $(\frac{kJ}{kg.K})$ و T_{2w} دمای خروجی آب از موتور و T_{1w} دمای ورودی آب به موتور بر حسب کلوین است. همچنین در رابطه‌ی (۲۴-۳)، Q_{cr} گرمای ناشی از انتقال حرارت جابه‌جایی و تشعشع است که از تساوی رابطه‌ی (۲۹-۳) قابل محاسبه است [۴۳].

$$Q_{cr} = Q_f - P_s - (Q_{exhaust} - Q_a) - Q_{jacket} \quad (29-3)$$

همچنین مشخصات فنی موتور گازسوز مانند توان و حرارت دریافتی در بارهای جزئی متفاوت را می‌توان به کمک روابط (۳-۳۰) تا (۳-۳۹) تخمین زد. به کمک رابطه‌ی (۳-۳۰) راندمان موتور در حالت کارکرد در بار نامی را می‌توان محاسبه نمود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، راندمان موتور در حالت نامی با توان تولیدی، دما و ارتفاع محیط تغییر می‌نماید [۳۴].

$$\eta_{GE,nom}(E_{nom}, T, P) = \frac{E_{nom}}{2.65 \times E_{nom} + 21.44} \times (1 - 0.01 \frac{T - T_{design}}{5.5}) \times (1 - 0.03 \frac{Z - Z_{design}}{303}) \quad (3-30)$$

در رابطه‌ی (۳-۳۰)، E_{nom} نشان‌دهنده‌ی ظرفیت نامی موتور، T ، دما و Z ارتفاع محیط است. در رابطه‌ی (۳-۳۰) اختلاف دما و ارتفاع از مقدار طراحی، به‌عنوان ضریب کمتر از یک بوده و باعث کاهش راندمان نامی می‌گردد.

رابطه‌ی (۳-۳۱) نشان‌دهنده‌ی راندمان موتور در حالت کارکرد در بار جزئی است [۴۵، ۴۶].

$$\frac{\eta_{GE,PL}}{\eta_{GE,nom}} = -0.0001591PL^2 + 0.024PL + 0.1904 \quad (3-31)$$

همچنین رابطه‌ی (۳-۳۲) دبی سوخت مصرفی برحسب ظرفیت کاری در بار جزئی را نشان می‌دهد

[۴۰].

$$\frac{m_{fuel,PL,GE}}{m_{fuel,nom,GE}} = 0.2408 \exp(0.01403PL) + 0.03553 \exp(-0.02494PL) \quad (3-32)$$

در رابطه‌ی (۳-۳۲)، $m_{f,nom,GE}$ نشان‌دهنده‌ی سوخت مصرفی محرک اولیه در بار نامی است. چنانچه دمای خروجی از محفظه‌ی احتراق، نسبت تراکم، نسبت فشار، ارتفاع از سطح دریا و دمای محیط تغییر کند، این پارامتر نیز مقادیر دیگری را به خود اختصاص خواهد داد. بنابراین می‌توان میزان سوخت مصرفی در محرک اولیه را از رابطه‌ی (۳-۳۳) محاسبه نمود [۴۷].

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{\dot{m}_{gas} \times C_p \times (T_{out} - T_{in})}{LHV} \quad (3-33)$$

در رابطه‌ی (۳۳-۳)، C_p به صورت تابعی از دما بوده و مطابق روابط (۳۴-۳) و (۳۵-۳) برای گاز و هوا قابل محاسبه است [۴۸، ۴۴].

$$C_{p,g}(T) = 0.9874 + 0.0000544T + \frac{1.48}{10^7}T^2 - \frac{6.57}{10^{11}}T^3 \quad (۳۴-۳)$$

$$C_{p,a}(T) = 1.04841 - 0.000383719T + \frac{9.45378}{10^7}T^2 - \frac{5.49031}{10^{10}}T^3 + \frac{7.92981}{10^{14}}T^4 \quad (۳۵-۳)$$

دمای ورودی به محفظه‌ی احتراق، در رابطه‌ی (۳۳-۳)، نیز متناسب با نسبت تراکم موتور گازسوز مطابق رابطه‌ی (۳۶-۳) به دست می‌آید [۴۷]:

$$T_{in,Engine} = T_{air} \times r_c^{(k-1)} \quad (۳۶-۳)$$

در رابطه‌ی (۳۶-۳)، r_c نسبت تراکم موتور گازسوز است.

حرارت قابل دریافت از موتور گازسوز شامل حرارت ناشی از ژاکت خنک‌کننده، گازهای داغ خروجی و روغن روانکار است. حرارت قابل دریافت از موتور گازسوز، طبق روابط (۳۷-۳) تا (۳۹-۳) برحسب بار جزئی قابل تخمین است [۴۶، ۴۵].

$$\frac{Q_{jw,PL,GE}}{m_{fuel,PL,GE}LHV_{gas}} = 17.49 \exp(-0.07512PL) + 39.36 \exp(-0.002556PL) \quad (۳۷-۳)$$

$$\frac{Q_{ex,PL,GE}}{m_{fuel,PL,GE}LHV_{gas}} = 8.566 \exp(-0.02619PL) + 18.91 \exp(0.001194PL) \quad (۳۸-۳)$$

$$\frac{H_{oil,PL,GE}}{m_{fuel,PL,GE}LHV_{gas}} = 2.157 \times 10^{-8}PL^4 - 9.866 \times 10^{-6}PL^3 + 0.001892PL^2 - 0.1897PL + 12.71 \quad (۳۹-۳)$$

مشخصات موتور انتخابی متناسب با نیاز مجموعه در جدول (۱-۳) آورده شده است [۴۹].

جدول (۳-۱): خروجی‌های موتور احتراق داخلی *Waukesha* [۴۹]

		1200 RPM	1000RPM
	Powerbhp (kw)	1680(1253)	1400(1044)
	BSFC (LHV) Btu/bhp – hr(KJ/KWh)	7881(11149)	7693(10884)
	Fuel Consumption Btu/hr × 1000(KW)	13240(3881)	10770(3157)
emPact Catalyst – Out Emissions	NOx g/bhp – hr (mg/Nm ³ @ 5% O ₂)	0.5(185)	
	CO g/bhp – hr (mg/Nm ³ @ 5% O ₂)	1(370)	
	NMHC g/bh – hr (mg/Nm ³ @ 5% O ₂)	0.18(67)	
	THC g/bhp – hr (mg/Nm ³ @ 5% O ₂)	1.68(626)	
Engine – Out Emissions	NOx g/bhp – hr (mg/Nm ³ @ 5% O ₂)	13.30(4922)	12.9(4782)
	CO g/bhp – hr (mg/Nm ³ @ 5% O ₂)	11.20(4140)	9.4(3477)
Heat Balance	Heat to Jacket Water Btu/hr x 1000 (kW)	3849(1128)	3230(947)
	Heat to Lube Oil Btu/hr x 1000 (kW)	567(166)	463(136)
	Heat to Intercooler Btu/hr x 1000 (kW)	179(53)	119(35)
	Heat to Radiation Btu/hr x 1000 (kW)	724(212)	642(188)
	Total Exhaust Heat Btu/hr x 1000 (kW)	3900(1143)	2962(686)
Intake/Exhaust System	Induction Air Flow scfm (Nm ³ /hr)	2424(3651)	1972(2970)
	Exhaust Flow lb/hr (kg/hr)	11273(5113)	9171(4160)
	Exhaust Temperature °F (°C)	1179(637)	1112(600)
Compression ratio		8:1	
Bore & stroke		9.375in * 8.5in(238 * 216)	
Piston displacement		7040cu. in. (115L)	
Jacket water system capacity		100gal. (379L)	
Lube oil capacity		190gal. (719L)	
Starting system		125 – 150 psi $\frac{\text{air}}{\text{gas}}$ 24V electric	

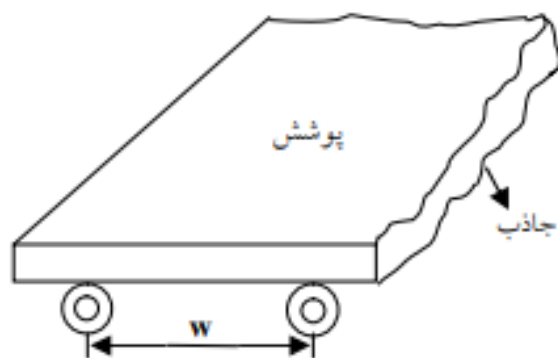
۳-۶ آنالیز انرژی کلکتورهای صفحه تخت

در گام بعدی می‌بایست بار حرارتی دریافتی از کلکتورها محاسبه گردد تا به کمک بار حرارتی دریافتی

از سیستم خورشیدی و موتور گازسوز، بار حرارتی مورد نیاز ساختمان تأمین گردد.

با توجه به اینکه در این پژوهش از کلکتورهای صفحه تخت استفاده شده است در ادامه روابط حاکم بر این نوع کلکتورها و میزان حرارت دریافتی از آنها آورده شده است.

شکل (۳-۳) شماتیک بخش برش خورده‌ای از یک کلکتور صفحه تخت را نشان می‌دهد که چگونگی محاسبات بر مبنای آن نشان داده شده است و مشخصات این نوع کلکتور در جدول (۲-۳) آورده شده است [۳].



شکل (۳-۳): نمای برش خورده‌ای از کلکتور صفحه تخت [۳]

جدول (۳-۲): مشخصات کلکتور صفحه تخت [۶]

پارامتر	مقدار
سطح واحد هر کلکتور (m^2)	۲
عرض کلکتور (m)	۱
طول کلکتور (m)	۲
سرعت باد (m/s)	۲۵
شیب کلکتور (درجه)	۳۶
ضخامت ورق (mm)	۲
راندمان مؤثر عبور و جذب	۰/۸۴
ضریب انتشار از صفحه جاذب	۰/۹۲
ضریب انتشار کاور	۰/۸۸
ضخامت عایق پشت (m)	۰/۰۸
ضخامت عایق دوطرفه (m)	۰/۰۴
هدایت حرارتی صفحه جذب (W/m.K)	۳۸۴
هدایت حرارتی عایق (W/m.K)	۰/۰۵
فاصله مرکز لوله‌ها (m)	۰/۱۵
قطر داخلی لوله (m)	۰/۰۴

هنگامی که یک پرتو تابش حرارتی مستقیم به سطح یک جسم برخورد می‌کند:

- کسری از تابش منعکس می‌شود، به نام بازتاب (ρ)

- کسری از تشعشع جذب می‌شود (α)

- کسری از تابش منتقل می‌شود (τ)

توزیع این شرایط به سطح، جهت و طول موج تابش و تشعشع برخوردی بستگی دارد. رابطه‌ی (۳-۴۰)

بیانگر تابش حرارتی جذب شده است [۳].

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (۳-۴۰)$$

انرژی مفید کسب شده توسط سیال عبوری از کلکتور از رابطه‌ی (۳-۴۱) به دست می‌آید [۳، ۵۰]:

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad (41-3)$$

در رابطه‌ی (۴۱-۳)، $\dot{m}$ دبی سیال، C_p گرمای ویژه فشار ثابت سیال، T_{in} و T_{out} به ترتیب دمای سیال خروجی از کلکتور و ورودی به آن است. انرژی مفید کسب شده توسط کلکتور بر حسب مقدار تشعشع خورشیدی ورودی و تلفات حرارتی از بدنه‌ی کلکتور از رابطه‌ی (۴۲-۳) قابل محاسبه است [۳، ۵۰]:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_l(T_{in} - T_a)] \quad (42-3)$$

در رابطه‌ی (۴۲-۳)، A_c سطح جاذب کلکتور، T_a دمای محیط و S بخشی از تشعشع خورشیدی بر واحد سطح جاذب کلکتور است که توسط آن جذب می‌شود. S از رابطه‌ی (۴۳-۳) به دست می‌آید [۳، ۵۰]:

$$S = (\tau\alpha)I_T = \eta_0 I_T \quad (43-3)$$

در رابطه‌ی (۴۳-۳)، I_T شار تشعشعی خورشیدی وارد شده به کلکتور و η_0 بازده اپتیکی بوده و برابر حاصل ضرب مؤثر عبور-جذب است که از رابطه‌ی (۴۴-۳) به دست می‌آید [۳، ۵۰]:

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \quad (44-3)$$

رابطه‌ی (۴۴-۳) را می‌توان با رابطه‌ی ساده‌ی (۴۵-۳) تخمین زد [۳، ۵۰]:

$$(\tau\alpha) \cong 1.01 \tau\alpha \quad (45-3)$$

در رابطه‌ی (۴۳-۳)، I_T شار تشعشعی تابیده شده بر روی صفحه‌ی زاویه‌دار را نشان می‌دهد. این تابش برابر مجموع تابش مستقیم، پخشیده و منعکس شده است که از رابطه‌ی (۴۶-۳) به دست می‌آید [۶]:

$$I_t = \left(I_b + I_d \frac{I_b}{I_h}\right) R_b + I_d \left(1 - \frac{I_b}{I_h}\right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) \left(1 + \sqrt{I_b/I_h} \sin^3 \left(\frac{\beta}{2}\right)\right) + I_h \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (46-3)$$

همچنین در رابطه‌ی (۴۲-۳)، F_R ضریب انتقال گرمای کلکتور بوده و عبارت است از نسبت انرژی مفید واقعی به دست آمده به انرژی مفید در شرایطی که همه‌ی سطح کلکتور در دمای سیال ورودی باشد و با رابطه‌ی (۴۷-۳) بیان می‌شود [۳، ۵۰]:

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_l} \left(1 - \exp\left(-\frac{\dot{F} U_l A_c}{\dot{m} C_p}\right)\right) \quad (47-3)$$

در رابطه‌ی (۴۷-۳)، $\dot{F}$ ضریب بازده کلکتور بوده و معرف نسبت مقاومت حرارتی از صفحه جاذب به محیط به مقاومت حرارتی از سیال به محیط است و از رابطه‌ی (۴۸-۳) به دست می‌آید [۳، ۵۰]:

$$\dot{F} = \frac{1/U_l}{W \left[\frac{1}{U_l [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D h_{fi}} \right]} \quad (48-3)$$

در رابطه‌ی (۴۸-۳)، $\frac{1}{C_b}$ مقاومت هدایتی ماده‌ی اتصال‌دهنده‌ی لوله‌ها به صفحه‌ی جاذب است و اغلب مقدار بسیار ناچیزی دارد. W فاصله مرکز تا مرکز لوله‌ها و D قطر لوله‌ها می‌باشد. h_{fi} ضریب انتقال حرارت

جابه‌جایی سیال داخل لوله‌ها و F نیز بازده پایه‌ی پره است. در حالت پایدار، انرژی مفید دریافتی به وسیله‌ی کلکتور از رابطه‌ی (۴۹-۳) به دست می‌آید [۵۰، ۳]:

$$Q_u = A_C S - U_l A_C (T_P - T_a) \quad (۴۹-۳)$$

در رابطه‌ی (۴۹-۳)، T_P دمای صفحه‌ی جاذب و U_l افت کلی از کلکتور است. که U_l مطابق رابطه‌ی (۵۰-۳) به دست می‌آید [۵۰، ۳]:

$$U_l = U_t + U_b + U_e \quad (۵۰-۳)$$

در رابطه‌ی (۵۰-۳)، U_t انتقال حرارت از بالای کلکتور صفحه تخت، U_b انتقال حرارت از پشت کلکتور و U_e انتقال حرارت از کناره‌های کلکتور را نشان می‌دهد. در نهایت بازده انرژی تحلیلی و تجربی کلکتور به ترتیب از روابط (۵۱-۳) و (۵۲-۳) به دست می‌آید [۵۰، ۳].

$$\eta_{encal} = (\tau\alpha) - \frac{U_l(T_P - T_a)}{I_T} \quad (۵۱-۳)$$

$$\eta_{enexp} = \frac{\dot{m}C_P(T_{out} - T_{in})}{I_T \times A_P} \quad (۵۲-۳)$$

۷-۳ راندمان سیستم تولید همزمان

راندمان سیستم یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که مقایسه‌ی دو سیستم را ممکن می‌سازد. با محاسبه‌ی توان تولیدی سیستم تولید همزمان، حرارت دریافتی و سوخت مصرفی راندمان سیستم تولید همزمان برای دو حالت CHP و CCHP به ترتیب مطابق روابط (۵۳-۳) و (۵۴-۳) محاسبه می‌شود [۴۶]:

$$\eta_{\text{CHP}} = \frac{E_{\text{P,CHP}} + Q_{\text{H,CHP}}}{m_{\text{fuel}} \times \text{LHV}_{\text{gas}}} \times 100 \quad (53-3)$$

$$\eta_{\text{CCHP}} = \frac{E_{\text{P,CCHP}} + Q_{\text{H,CCHP}} + C_{\text{C,CCHP}}}{m_{\text{fuel}} \times \text{LHV}_{\text{gas}}} \times 100 \quad (54-3)$$

۳-۸ آنالیز اقتصادی

آنالیز اقتصادی در یک پروژه، شامل کلیه‌ی تکنیک‌های مقایسه و تصمیم‌گیری و انتخاب از میان راه‌حل‌ها، بر اساس شرایط مناسب و مطلوب پولی و اقتصادی است. به هر میزان که یک تکنولوژی در سیستم مورد نظر افزایش می‌یابد، تصمیم‌گیری دشوار و حساس‌تر می‌شود. در مجموع استفاده از تحلیل اقتصادی دارای اهمیت بالایی است، زیرا میزان سود یا ضرر حاصل از روش منتخب، به استفاده‌ی مناسب از این تکنیک بستگی دارد [۵۰].

تحلیل اقتصادی سیستم‌های تولید همزمان شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه تجهیزات، هزینه‌های عملکردی، اسقاطی و تعمیرات و هزینه مصرف سوخت است که به منظور مقایسه این هزینه‌ها، از تکنیک اقتصادی یکنواخت سالیانه استفاده شده است که بدین منظور تمامی هزینه‌ها و درآمدها سالیانه خواهند شد. هزینه اولیه توسط رابطه‌ی (۳-۵۵) سالیانه می‌شود [۴۵]:

$$R = \vartheta \times C \quad (55-3)$$

در رابطه‌ی (۳-۵۵)، C هزینه‌ی خرید هر تجهیز است که در جدول (۳-۳) آورده شده است. همچنین ϑ ضریب سالیانه کننده است و به دو پارامتر نرخ بهره (i) و طول عمر تجهیزات (n) بستگی دارد. این پارامتر با رابطه (۳-۵۶) ارزیابی می‌شود [۴۵]:

$$\vartheta = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (56-3)$$

هزینه سالیانه یکنواخت را می‌توان با در نظر گرفتن هزینه اولیه و هزینه اسقاطی به صورت رابطه‌ی (۳-۵۷) تعریف کرد [۴۵]:

$$EUAC = R - SV \quad (57-3)$$

به طوری که SV هزینه سالانه اسقاطی است و با رابطه (۳-۵۸) ارزیابی می‌شود [۴۵]:

$$SV = sv \times \left[\frac{i}{(1+i)^k - 1} \right] \quad (58-3)$$

که SV هزینه اسقاطی در سال جاری بوده و معمولاً به صورت درصدی از هزینه اولیه یک سیستم در نظر گرفته می‌شود که در رابطه‌ی (۳-۵۹) آورده شده است [۵۰]. در این مطالعه به منظور اعمال هزینه‌های اولیه، تعمیر و نگهداری و هزینه اسقاطی تجهیزات از اطلاعات هزینه‌های مندرج در جدول (۳-۳) استفاده شده است.

$$sv = 0.2 \times C \quad (59-3)$$

در نهایت به کمک رابطه‌ی (۳-۶۰) سود سالیانه سیستم پیشنهادی محاسبه می‌شود [۵۰]:

$$A(\$) = \sum_{n=1}^n \left[\sum_{t=1}^{8760} (E_s \times \mu_{e,s}) \times \tau + R_{C \& O \text{ and } M} \right] \quad (60-3)$$

در رابطه‌ی (۳-۶۰)، E_s برق فروخته شده به شبکه‌ی سراسری برق بر حسب کیلووات بوده، $\mu_{e,s}$ قیمت فروش برق به شبکه بر حسب (\$/kWh) و τ مقدار ساعت برق واگذاری به شبکه (h) است. پارامتر

$R_C \& O$ and M درآمد ناشی از صرفه‌جویی در هزینه‌های عملکردی، خرید برق و تعمیرات و نگهداری سیستم پیشنهادی نسبت به سیستم تولید مجزا است. هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز مطابق جدول (۳-۳) قابل محاسبه است. هریک از تجهیزات بر اساس میزان ساعت کاری خود، نیازمند بازدیدهای دوره‌ای و در صورت نیاز تعویض و یا تعمیر قطعات هستند. هزینه‌های تعمیر و نگهداری شامل مواردی همچون تعمیرات اساسی، تعویض قطعاتی مانند فیلتر هوا، فیلتر روغن و غیره و همچنین بازرسی‌های متداول و نیروی کار انسانی می‌شود که به صورت تابعی از ساعت کاری و ظرفیت نامی تجهیزات تخمین زده می‌شود. اطلاعات لازم برای محاسبه‌ی هزینه‌های تعمیرات و نگهداری در جدول (۳-۳) آورده شده است [۵۱].

در روابط محاسبه‌ی هزینه‌های کلکتور صفحه تخت و پمپ سیرکولاسیون ضرایب به شرح زیر است:

فاکتورهای مونتاژ a ، b و کلکتور صفحه تخت به ترتیب بر اساس قیمت موجود در بازار [۱۲۰ ۶۰ ۲۲۰ ۴/۵ ۳۵۰۰]، [۰/۹ ۰/۸ ۱ ۱ ۰/۴۷] و ۱/۵ است [۶].

جدول (۳-۳): هزینه اولیه‌ی تجهیزات [۵۲، ۴۶، ۶]

تجهیزات	هزینه تعمیر و نگهداری	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه
موتور گازسوز	$M = 0.1696 \times E_{nom}^{-0.2} (1 - 0.6875 \frac{E}{E_{nom}})$	$C = -138.7 \ln(E_{nom}) + 1727.1$
کلکتور صفحه تخت	-	$C = \varphi \{ a_1 (A_P)^{b_1} + a_2 (A_{tube})^{b_2} + a_3 (A_{insu})^{b_3} + a_4 (A_c)^{b_4} \}$
پمپ	-	$C = a_5 W_p^{b_s}$
بوiler	$M = 0.0027 \text{ \$/kWh}$	$C = 205 H_B^{-0.13}$
چیلر تراکمی	$M = 0.003 \text{ \$/kWh}$	$C = 540 (C_{nom})^{-0.128}$
چیلر جذبی	$M = 0.003 \text{ \$/kWh}$	$C = 482 (C_{nom})^{-0.07273} - 159.7$

۳-۸-۱ درصد کاهش مصرف سوخت

با توجه به اینکه سیستم‌های تولید همزمان تنها از یک منبع حرارتی برای تأمین برق و حرارت استفاده می‌کنند، نسبت به سیستم‌های تولید مجزا سوخت کمتری مصرف می‌کنند. پارامتر صرفه‌جویی در مصرف سوخت مطابق رابطه‌ی (۳-۶۱) ارزیابی می‌شود [۵۳]:

$$FESR = \frac{fuel_{SP} - fuel_{CCHP}}{fuel_{SP}} \times 100 \quad (۳-۶۱)$$

که در رابطه‌ی (۳-۶۱)، $fuel_{SP}$ و $fuel_{CCHP}$ به ترتیب سوخت مصرفی سیستم تولید جداگانه و سیستم تولید همزمان را نشان می‌دهد [۵۳].

۳-۸-۲ درصد کاهش هزینه‌های عملکردی

هزینه‌های عملکردی به عنوان مجموع هزینه‌های جاری سیستم در طول سال تعریف می‌گردد که شامل خرید برق و سوخت از شبکه می‌باشد. چنانچه امکان فروش برق به شبکه وجود داشته باشد این پارامتر به عنوان درآمد سیستم از هزینه‌های عملکردی سیستم می‌گاهد.

درصد کاهش هزینه‌های عملکردی از رابطه‌ی (۳-۶۲) محاسبه می‌شود [۳۵].

$$CR = \frac{Cost^{SP} - Cost^{CCHP}}{Cost^{SP}} \times 100 \quad (۳-۶۲)$$

هزینه‌ی عملکرد سیستم تولید جداگانه مطابق با رابطه‌ی (۳-۶۳) به دست می‌آید [۳۵].

$$Cost^{SP} = Cost_E E_{Grid}^{SP} + Cost_{fuel}^{SP} F_{Boiler} \quad (۳-۶۳)$$

هزینه‌ی عملکرد سیستم تولید همزمان در حالت عدم فروش برق به شبکه و در حالت فروش برق به شبکه به ترتیب از روابط (۳-۶۴) و (۳-۶۵) قابل محاسبه است [۳۵]:

$$Cost^{CCHP} = Cost_E E_{Grid}^{CCHP} + Cost_{fuel}^{CCHP} F_{on-site} \quad (۶۴-۳)$$

$$Cost^{CCHP} = Cost_E E_{Grid}^{CCHP} + Cost_{fuel}^{CCHP} F_{on-site} - Cost_{exp} E_{exp}^{CCHP} \quad (۶۵-۳)$$

۳-۸-۳ دوره‌ی بازگشت سرمایه

دوره‌ی بازگشت سرمایه، مدت زمانی است که سرمایه‌ی اولیه بتواند توسط درآمدهای سالیانه جبران شود. همواره سرمایه‌گذاران مشتاق‌اند از مدت زمان بازگشت سرمایه آگاه باشند و تمایل به سرمایه‌گذاری در پروژه‌هایی دارند که کمترین دوره‌ی بازگشت سرمایه را داشته باشد؛ بنابراین محاسبه‌ی دقیق آن نقش اساسی در اقتصاد این سیستم‌ها خواهد داشت [۵۲].

محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت سرمایه به روش سنتی، یک روش تقریبی و سریع برای مقایسه اقتصادی پروژه‌ها است که از رابطه‌ی (۶۶-۳) به دست می‌آید [۵۴].

$$-p + \sum_{n=1}^{PB} CF_n = 0 \quad (۶۶-۳)$$

در رابطه‌ی (۶۶-۳)، p و CF_n به ترتیب هزینه اولیه و فرایند مالی سیستم در پایان سال n ام است. اگر درآمدها در پایان هر سال برابر باشند دوره‌ی بازگشت سرمایه به صورت رابطه‌ی (۶۷-۳) ساده می‌شود [۱۶]:

$$PB = \frac{p}{CF} \quad (۶۷-۳)$$

در محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت سرمایه به روش سنتی ارزش زمانی پول و ارزش اسقاطی تجهیزات در نظر گرفته نمی‌شود و به همین دلیل نتایج حاصل از آن‌ها دقیق نبوده و به عنوان روش تقریبی معرفی می‌شود. در روش دوره‌ی بازگشت سرمایه به روش کلاسیک موارد نام برده نیز مد نظر قرار می‌گیرد و مطابق رابطه‌ی (۶۸-۳) تعریف می‌شود [۵۲]:

$$\begin{cases} NPWB(n) - NPWC(n) = 0 \\ PB = n \end{cases} \quad (۶۸-۳)$$

در این روش مدت زمان بازگشت سرمایه، زمانی خواهد بود که ارزش فعلی هزینه‌های اولیه^۱ (NPWC) و ارزش خالص درآمدها^۲ (NPWB) در پایان آن سال باهم برابر شوند که از رابطه‌ی (۶۹-۳) و (۷۰-۳) به دست می‌آید [۵۴, ۵۲, ۳۴]:

$$NPWC = \sum_{j=1}^N (C \times NC)_j = 0 \quad (۶۹-۳)$$

$$NPWB = A \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + SV \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (۷۰-۳)$$

نکته‌ی قابل توجه در این روابط در نظر گرفتن نرخ بهره و هزینه‌های اسقاطی است که با روش ارزش فعلی هزینه‌ها معادل‌سازی شده است.

۹-۳ مطالعه‌ی موردی

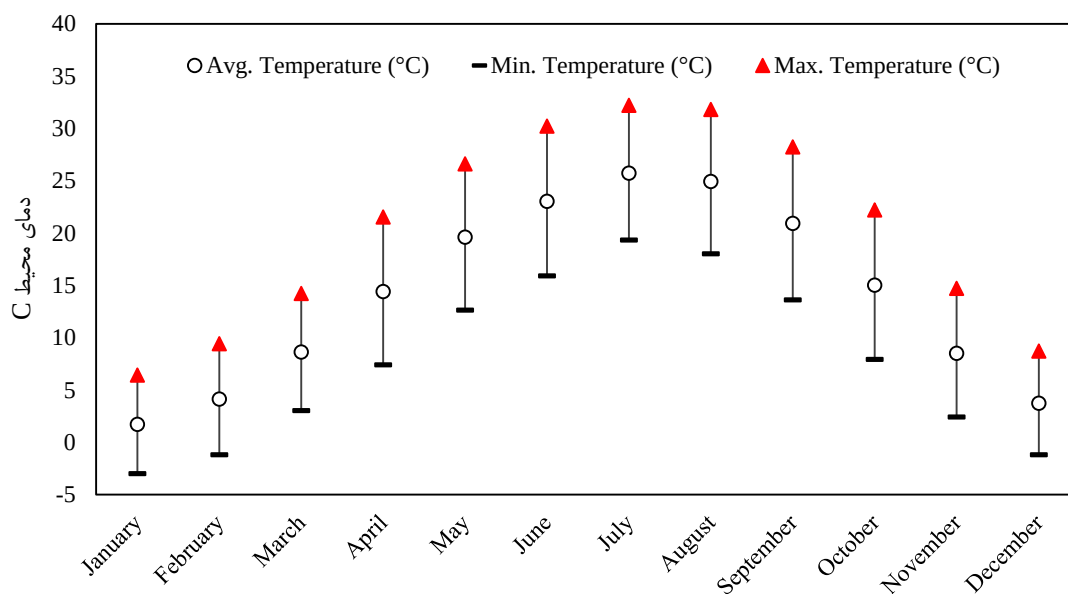
مطالعه‌ی موردی در پژوهش حاضر، ساختمان دانشکده عمران و مکانیک در دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در استان سمنان است. با توجه به اینکه در محاسبات مختصات جغرافیایی، دمای محیط و ارتفاع از سطح دریا وارد می‌گردد، این مشخصات برای موقعیت مکانی مورد نظر در جدول (۴-۳) و شکل (۴-۳) آورده شده است [۵۶, ۵۵].

^۱ Net Present Worth of Cost Investment (NPWC)

^۲ Net Present Worth Benefit (NPWB)

جدول (۳-۴): مشخصات جغرافیایی شهر شاهرود [۵۶]

مقدار	مشخصات
۳۶ درجه	عرض جغرافیایی
۵۴ درجه	طول جغرافیایی
۱۳۸۰ متر	ارتفاع از سطح دریا



شکل (۳-۴): تغییرات دمای محیط در شهر شاهرود [۵۵]

۳-۱۰ سناریوهای مورد مطالعه

در مطالعه حاضر، مقایسه فنی و اقتصادی سیستم تولید همزمان با ترکیب موتور گازسوز و کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت انجام شده است. با توجه به تقاضای برق و حرارت مجتمع ذکرشده، ۴ سناریوی متفاوت ارائه شده است.

در سناریوهای ارائه شده، محرک اولیه‌ی موتور گازسوز با ظرفیت ثابت در نظر گرفته شده است و تنها ظرفیت گرمایشی کلکتورهای صفحه تخت متفاوت است. چنانچه حرارت دریافتی از محرک اولیه و کلکتورهای صفحه تخت کمتر از مقدار مورد نیاز باشد، حرارت مورد نیاز مازاد توسط بویلر پشتیبان تأمین می‌شود.

با تغییر سناریوهای بیان شده، پارامترهای ورودی و خروجی نیز متفاوت خواهند بود. در ادامه سناریوهای مورد بررسی و نتایج تجزیه و تحلیل‌های انرژی و اقتصادی ارائه شده است.

سناریو ۱:

موتور گازسوز با ظرفیت ثابت به همراه کلکتورهای صفحه تخت برای تأمین کامل بار حرارتی

سناریو ۲:

موتور گازسوز با ظرفیت ثابت به همراه کلکتورهای صفحه تخت برای تأمین ۷۵٪ بار حرارتی مورد نیاز و تأمین ۲۵٪ حرارت توسط بویلر پشتیبان

سناریو ۳:

موتور گازسوز با ظرفیت ثابت به همراه کلکتورهای صفحه تخت برای تأمین ۵۰٪ بار حرارتی مورد نیاز و تأمین ۵۰٪ حرارت توسط بویلر پشتیبان

سناریو ۴:

موتور گازسوز با ظرفیت ثابت به همراه کلکتورهای صفحه تخت برای تأمین ۲۵٪ بار حرارتی مورد نیاز و تأمین ۷۵٪ حرارت توسط بویلر پشتیبان

جدول (۵-۳) مشخصات تجهیزات مورد استفاده در سیستم CCHP را در سناریوهای مختلف نشان

می‌دهد.

جدول (۵-۳): مشخصات تجهیزات بر اساس سناریوهای مورد مطالعه

سناریوی مورد مطالعه	ظرفیت موتور گازسوز (کیلووات)	ظرفیت بویلر پشتیبان (کیلووات)	ظرفیت کلکتورهای صفحه تخت (کیلووات)	ظرفیت چیلر جذبی (تن تبرید)
سناریو ۱	۱۲۵۳	۰	۴۰۰	۲۵۰
سناریو ۲	۱۲۵۳	۱۰۰	۳۰۰	۲۵۰
سناریو ۳	۱۲۵۳	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰
سناریو ۴	۱۲۵۳	۳۰۰	۱۰۰	۲۵۰

۳-۱۱ روش حل

در ابتدای فصل و در زیر بخش ۳-۲ سیستم پیشنهادی و نحوه‌ی عملکرد آن تشریح گردید.

سیستم پیشنهادی شامل یک موتور گازسوز با ظرفیت نامی ۱۲۵۳ کیلووات و چیلر جذبی تک اثره با ظرفیت ۲۵۰ تن تبرید است. سایر تجهیزات شامل بویلر و کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت بوده که متناسب با سناریوهای بیان شده، ظرفیت و تعداد آن مشخص گردیده و به عنوان خروجی مسئله معرفی می‌گردد. درنهایت بر اساس آنالیز انرژی و اقتصادی بهترین سناریو معرفی می‌گردد.

شبیه‌سازی سیکل معرفی‌شده در محیط نرم‌افزار متلب انجام شده است.

جهت شبیه‌سازی سیکل مورد نظر از پارامترهای ورودی جدول (۳-۶) استفاده شده است. پارامترهای معرفی شده شامل مشخصات فنی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت، مشخصات فنی تجهیزات و مشخصات محیطی و جغرافیایی است. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در فصل ۴ آورده شده است.

جدول (۳-۶): پارامترهای ورودی نرم افزار متلب [۴۷, ۵۲, ۵۷]

پارامتر	مقدار	یکا
فشار اتمسفر	۱۰۱/۳۲۵	kPa
دمای محیط	متناسب با شکل (۳-۴)	-
ارزش حرارتی پایین گاز طبیعی	۴۹۳۰۳	kJ/kg
راندمان ژنراتور	۹۵	%
راندمان بویلر	۸۰	%
راندمان بازیاب	۸۵	%
ضریب عملکرد چیلر جذبی	۰/۷	-
ضریب عملکرد چیلر تراکمی	۳	-
طول عمر تجهیزات	۲۰	سال
نرخ بهره	۲۰	%
قیمت خرید برق از شبکه	۰/۱	\$/kW
مشخصات کلکتور صفحه تخت	مطابق جدول (۳-۲)	-

همان طور که در این بخش ذکر گردید، سیستم تولید همزمان هیبریدی با موتور گازسوز و کلکتورهای خورشیدی تشکیل دهنده‌ی سیستم پیشنهادی هستند. به کمک روابط مندرج در این بخش سیستم مذکور به کمک نرم افزار متلب شبیه سازی شده است. سیستم مورد نظر از حیث انرژی و اقتصادی تحت ۴ سناریو پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است که در فصل آتی نتایج حاصل از آن تشریح می گردد.

فصل چہارم:

نتائج

۴-۱ مقدمه

در این فصل به ارائه نتایج حاصل از مدل سازی و طراحی سیستم پیشنهادی پرداخته شده است. پژوهش حاضر، یک مطالعه موردی جهت تأمین تقاضای بار حرارتی ساختمان های دانشکده مکانیک و عمران دانشگاه صنعتی شاهرود است. سیستم پیشنهادی در این پژوهش شامل یک سیستم تولید همزمان سه گانه حرارت، برودت و برق است که توان مورد نیاز توسط موتور گازسوز و حرارت مورد نیاز به طور همزمان توسط حرارت اتلاfi از محرک اولیه و کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت و بویلر پشتیبان تأمین می گردد. هدف از این پژوهش کاهش بار حرارتی بویلر پشتیبان و طراحی تعداد کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت جهت تأمین بار حرارتی مورد نیاز طی ۴ سناریوی مجزا است که توسط نرم افزار متلب شبیه سازی شده است. در ادامه نتایج آنالیز انرژی و اقتصادی به ترتیب آورده شده است.

۴-۲ اعتبار سنجی

هدف از اعتبار سنجی مقایسه ی نتایج به دست آمده با نتایج قبلی است. با توجه به اینکه ترکیب سیستم های تولید همزمان با سیستم های خورشیدی یک ترکیب نوظهور است کمتر به چشم می خورد که تحقیقی تمامی پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش را مورد بررسی قرار داده باشد. نتایج سیستم تولید همزمان با مراجع [۳۴، ۱] مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است. سپس در حالت ترکیبی خورشیدی نیز نتایج با مرجع [۳۰] مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است. نتایج حاصل از اعتبار سنجی صحت مقادیر به دست آمده را نشان می دهد. جدول (۴-۱) خلاصه ی نتایج حاصل از اعتبار سنجی را نشان می دهد.

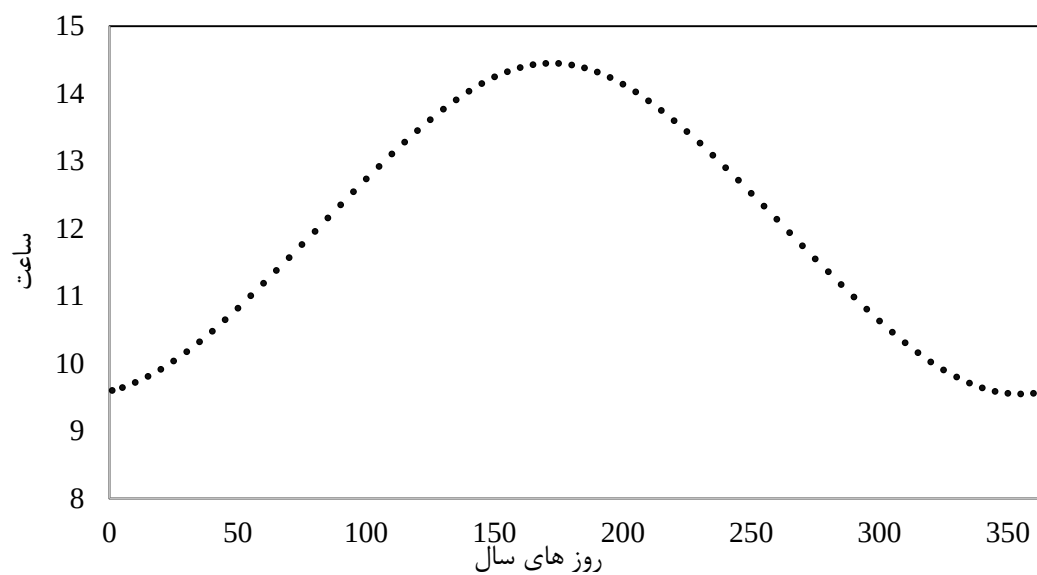
جدول (۴-۱): خلاصه نتایج اعتبار سنجی

مرجع [۱]	مرجع [۳۴]	مرجع [۳۰]	سیستم CCHP	حالت هیبریدی (خورشیدی)
سیستم CCHP	سیستم CCHP	حالت هیبریدی (خورشیدی)	سیستم CCHP	حالت هیبریدی (خورشیدی)
راندمان (%)	۸۵	۸۵	۹۷	۹۷
PB (سال)	۲/۷	۴/۱	-	۴

۴-۳ نتایج آنالیز انرژی

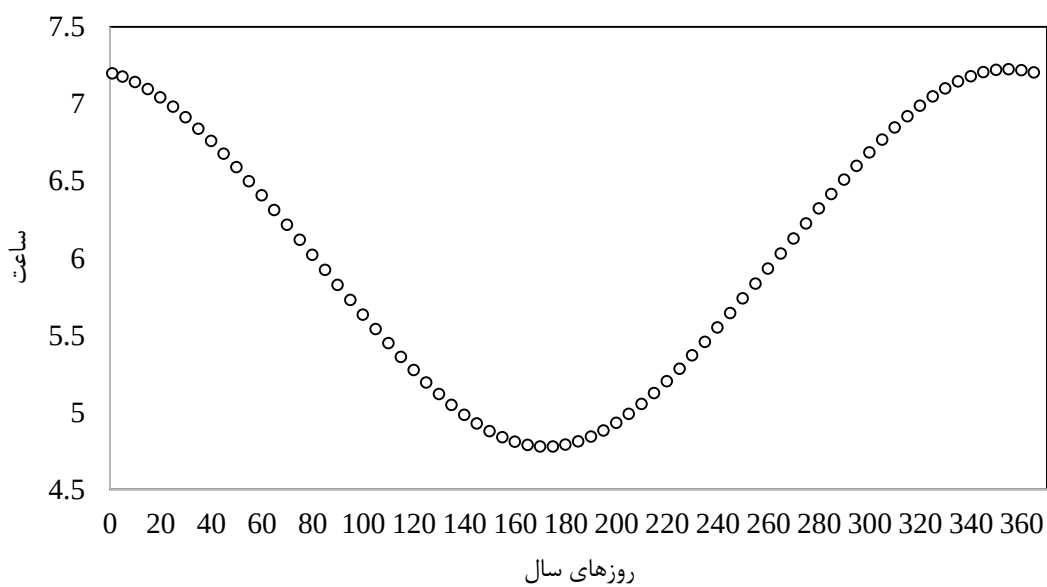
حرارت دریافتی از انرژی خورشیدی وابسته به زاویه تابش خورشید است. زاویه تابش خورشید در طی یک سال نوسانات زیادی دارد. تغییرات زاویه تابش خورشید منجر به تغییرات ساعات روشنایی در طول روز می‌گردد. در فصل تابستان طول روز بیشتر است و نتیجتاً گرما و حرارت دریافتی بیشتری می‌گردد و در فصل زمستان زاویه تابش خورشید کم شده و طول روشنایی روز کم و هوا سرد می‌گردد. در طول یک سال کامل تغییرات انحراف خورشیدی از $23/45^{\circ}$ تا $23/45^{\circ}$ درجه متغیر است که در تابستان به حداکثر خود و در زمستان به حداقل مقدار خود می‌رسد.

تغییرات در گردش زمین، تغییرات در سرعت گردش زمین و زاویه قرارگیری زمین و خورشید نسبت به یکدیگر منجر به تغییر در ساعات روشنایی و تغییر در ساعت طلوع و غروب خورشید می‌گردد. شکل (۴-۱) ساعات روشنایی روز را در طول یک سال کامل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روزهای میانی سال و در ماه‌های گرم سال طول روز افزایش یافته و در سایر روزهای سال به ندرت کاهش می‌یابد. روزهای زمستانی حداقل ساعت روشنایی در روز را دارد و این روند در ادامه مجدداً تکرار می‌گردد. روز ۱ نشان‌دهنده اولین روز از سال میلادی (۱ ژانویه) است که در تبدیل به سال شمسی بیانگر ۱۱ دی‌ماه خواهد بود.

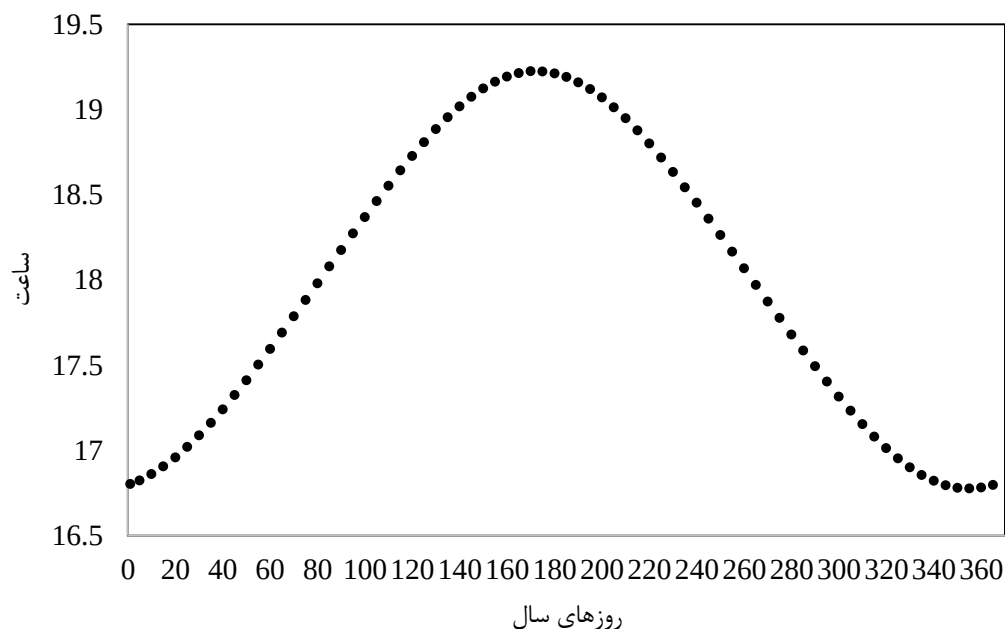


شکل (۴-۱): مقدار ساعت روشنایی در روز

شکل (۴-۲) و شکل (۴-۳) به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ساعت طلوع و غروب خورشید در مشخصات جغرافیایی شاهرود را نشان می‌دهد. تفاضل ساعت طلوع و غروب خورشید برابر ساعت روشنایی در روز خواهد بود که در شکل (۴-۱) نشان داده شد.



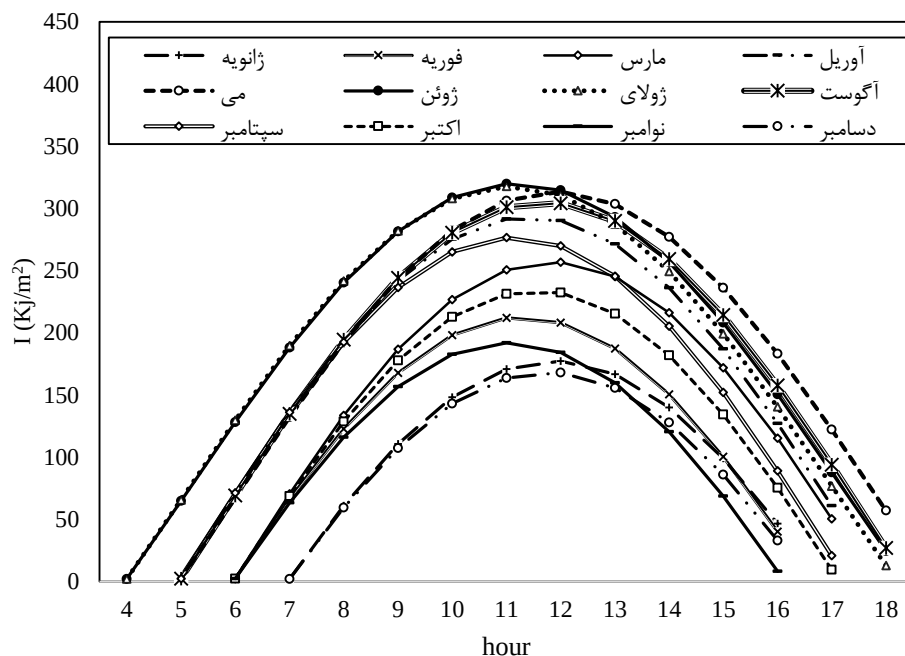
شکل (۴-۲): ساعت طلوع خورشید در طول سال در شهر شاهرود



شکل (۴-۳): ساعت غروب خورشید در طول سال در شهر شاهرود

شکل (۴-۴) نشان‌دهنده‌ی میزان تابش دریافتی از انرژی خورشید بر روی صفحه‌ی افقی در مختصات جغرافیایی شاهرود است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ساعات آغازین روز و همچنین در ساعات پایانی روزهای سال میزان دریافت انرژی خورشیدی در کمترین میزان خود خواهد بود. در میانه‌ی روز که خورشید دارای زاویه‌ی فراز خورشیدی بیشتری است، میزان دریافت انرژی خورشیدی نیز بیشتر خواهد بود. این نمودار علاوه بر اینکه میزان انرژی تابشی جذب شده از خورشید را برای تمام ساعات روز نشان می‌دهد، روند تغییرات تمام روزهای سال را نیز در بر گرفته است. در روزهای سرد سال بیشترین انرژی دریافتی در ساعت ۱۲ و در روزهای گرم سال در حدود ساعت ۱۱ خواهد بود؛ یعنی زاویه‌ی فراز خورشیدی در آن ساعت به حداکثر مقدار خود می‌رسد. (پیک نمودار به سمت راست و چپ جابه‌جا می‌شود.) جابه‌جا شدن یک ساعت در ابتدای نیمه‌ی اول و دوم سال نیز به دلیل جابه‌جایی در زاویه‌ی تابش خورشید، زاویه‌ی فراز خورشیدی و ساعت طلوع و غروب خورشید است. حداکثر میزان تابش ساعتی در ماه‌های ژوئن و ژولای

(تابستان) است که در ساعت ۱۱ رخ می‌دهد همچنین کمترین مقدار به ماه‌های ژانویه و دسامبر (زمستان) است که پیک نمودار در ساعت ۱۲ رخ می‌دهد.



شکل (۴-۴): میزان تابش ساعتی بر روی صفحه‌ی افقی در شهر شاهرود

شکل (۴-۵) میزان تابش روزانه را نشان می‌دهد. نمودار مربع شکل میزان تابش روزانه را بر روی صفحه‌ی افقی در مختصات شهر شاهرود نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان دریافت انرژی روزانه در روزهای سرد سال در حداقل مقدار خود بوده و با افزایش روزهای سال و نزدیک شدن به فصل تابستان میزان حرارت دریافتی افزایش می‌یابد تا به حداکثر مقدار خود می‌رسد. سپس مجدداً کم شده تا به حداقل مقدار خود برسد. روز اول سال معادل اول ژانویه (۱۱ دی‌ماه) است به همین دلیل از حداقل مقدار شروع شده و پس از یک پیک افزایشی مجدد به حداقل مقدار خود می‌رسد.

همچنین در شکل (۴-۵) نمودار مثلث شکل نشان دهنده‌ی میزان تابش روزانه را بر روی صفحه‌ی زاویه‌دار در مختصات شهر شاهرود نشان می‌دهد. این نمودار مجموع تابش مستقیم، پخشیده و بازتاب شده را نشان می‌دهد.

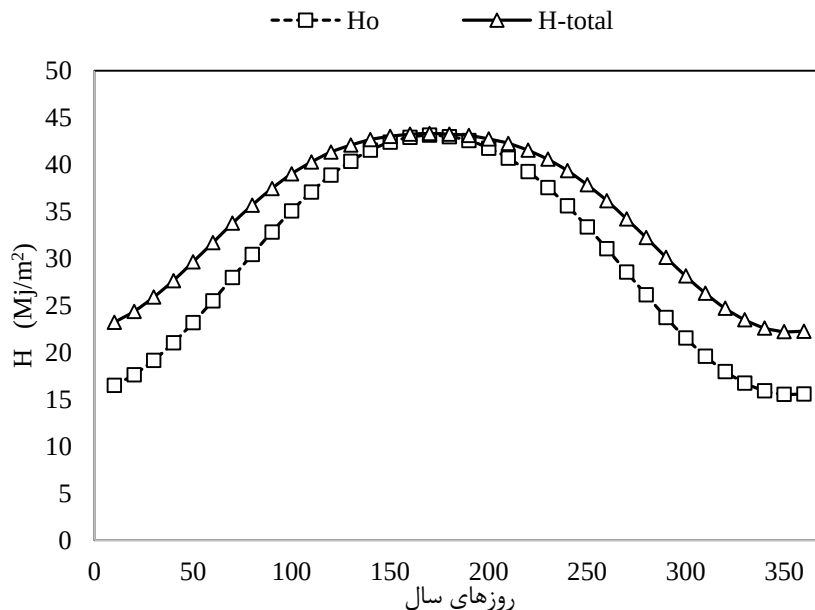
همان‌طور که مشاهده می‌شود در پیک نمودار و در روزهای تابستان میزان تابش روزانه بر روی صفحه‌ی افقی بیشتر از صفحه‌ی زاویه‌دار است؛ اما در سایر روزهای سال میزان انرژی دریافتی بر روی صفحه‌ی زاویه‌دار بیشتر از صفحه‌ی افقی است. به همین جهت کلکتورهای خورشیدی را به صورت زاویه‌دار نصب می‌کنند. مبنای انتخاب زاویه‌ی صفحه نیز حداکثر نمودن سطح زیر نمودار است که در واقع حداکثر میزان تابش حرارتی دریافت شده خواهد بود.

در محاسبه‌ی تابش خورشیدی بر روی صفحه‌ی افقی پرتوهای دریافتی به صورت مستقیم است درحالی‌که در صفحه‌ی افقی پرتوهای پخشیده و بازتابیده از زمین نیز منظور می‌شود. از این رو زاویه‌ی نصب کلکتورهای خورشیدی جهت کاربردهای مختلف را متفاوت در نظر می‌گیرند. برای نمونه جهت کاربردهای تولید هوای سرد زاویه‌ی صفحه برابر $10^\circ - \varphi$ و برای کاربردهای هوای گرم و آبگرم مصرفی به ترتیب زاویه‌ی تقریبی $10^\circ + \varphi$ و $5^\circ + \varphi$ در نظر می‌گیرند که φ عرض جغرافیایی منطقه‌ی مورد نظر است [۳].

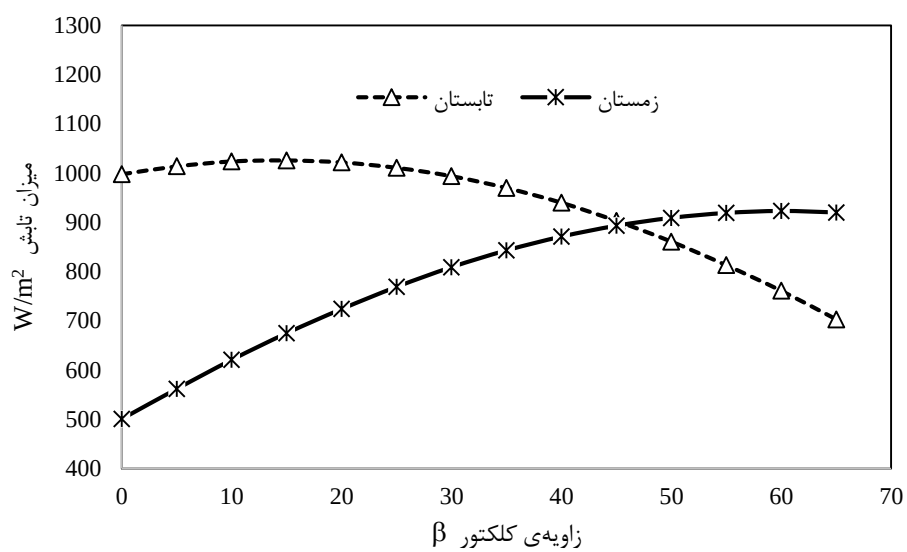
میزان تابش دریافتی از خورشید بر روی صفحه‌ی افقی عمود به تابش‌های خورشیدی در خارج از جو در روزهای تابستانی بیش از 1300 وات بر هر مترمربع انرژی حرارتی تابیده می‌شود اما در عمل تمام این انرژی را بر روی سطح زمین نمی‌توان جذب نمود که به دلیل حضور جو این موضوع قابل توجیه است. شکل (۴-۶) و شکل (۴-۷) تابش خورشیدی را بر روی صفحه‌ی زاویه‌دار بر روی سطح زمین در مختصات جغرافیایی شهر شاهرود نشان می‌دهد. این تابش بر حسب تغییرات زاویه‌ی صفحه و زاویه‌ی سمت خورشیدی رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این نمودار برای دو روز در سال (یک روز تابستانی و یک

روز زمستانی) رسم شده است. در این نمودار تغییرات تابش خورشیدی جذب شده به وضوح نشان می‌دهد که تغییر زاویه چه تأثیری داشته است. هدف از تغییر این زاویه به حداکثر رساندن میزان تابش در تمام سال است که معمولاً با توجه به نوع کاربری متفاوت در نظر گرفته می‌شود. با افزایش زاویه در مختصات شهر شاهرود تابش دریافتی در زمستان افزایش یافته و در تابستان کاهش یافته است. انتخاب بهترین زاویه در مطالعه‌ی موردی به کمک بهینه‌سازی معین می‌گردد.

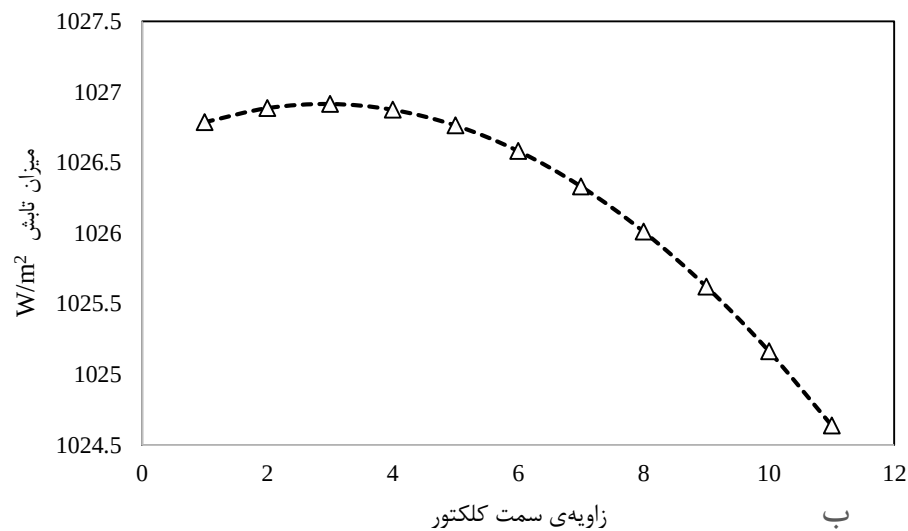
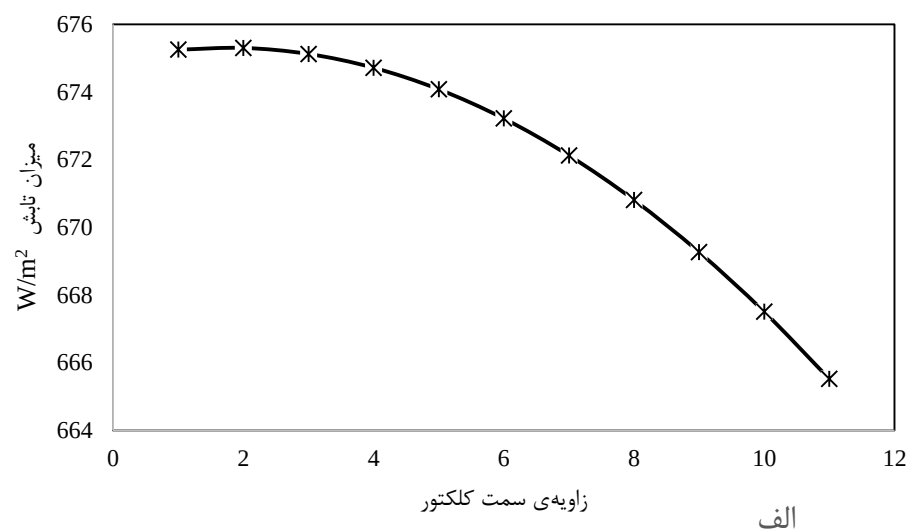
شکل (۴-۷) در حالت الف میزان تابش دریافتی بر روی صفحه‌ی زاویه‌دار در زمستان و شکل ب میزان تابش دریافتی را در تابستان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه‌ی سمت کلکتور میزان تابش دریافتی کم شده است. اما مقدار ناچیزی در تابستان دستخوش تغییر شده است. بهترین مقدار برای این پارامتر را می‌توان به کمک بهینه‌سازی پیدا نمود.



شکل (۴-۵): میزان تابش روزانه در شهر شاهرود



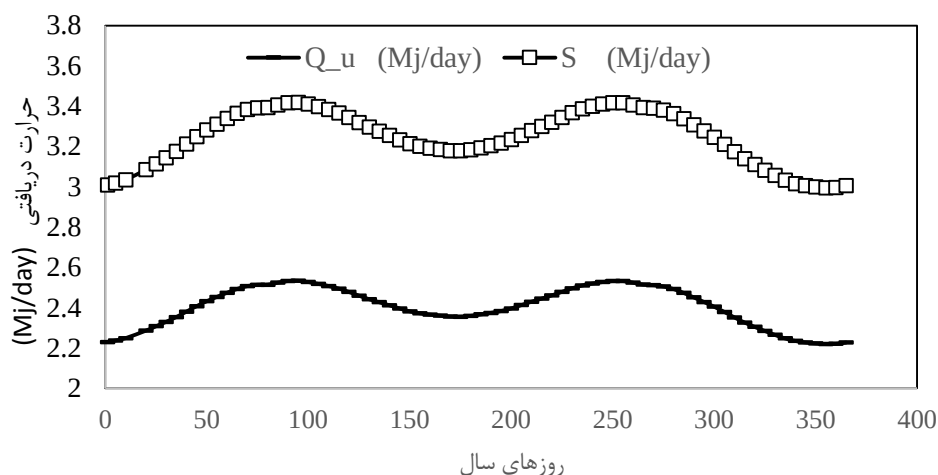
شکل (۴-۶): تغییرات تابش خورشیدی بر حسب زاویه ی کلکتور خورشیدی



شکل (۴-۷): تغییرات تابش خورشیدی بر حسب زاویه ی سمت صفحه

شکل (۴-۸) نیز مجموع حرارت دریافتی در یک روز کامل بر حسب روشنایی را نشان می‌دهد. دلیل حضور دو پیک نمودار در این تصویر تغییرات زاویه ی صفحه ی جاذب است. با کاهش زاویه ی صفحه منحنی به صورت زنگوله‌ای تبدیل می‌گردد اما سطح زیر نمودار کاهش خواهد یافت. به دلیل اینکه مجموع حرارت دریافتی سالانه اهمیت دارد این زاویه نیز لحاظ می‌گردد. با انتخاب مقادیر مناسب برای به حداکثر رسیدن

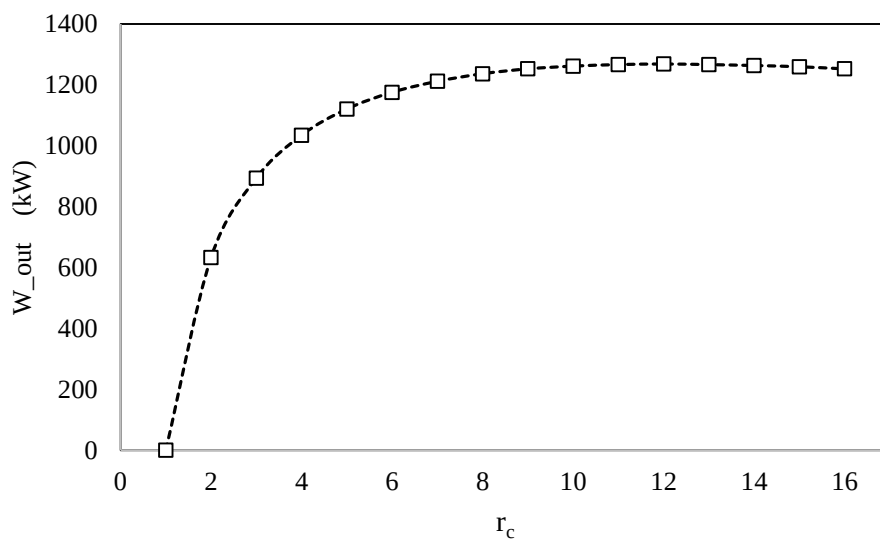
میزان تابش دریافتی سالانه سایر مقادیر نیز در ادامه محاسبه شده است، چنانچه صفحه جاذب کلکتور به صورت افقی ($\beta=0$) باشد، به دلیل اینکه خورشید در تابستان در بالاترین فراز خورشیدی قرار می‌گیرد، بیشترین جذب انرژی در روزهای تابستان خواهد بود، این امر موجب می‌گردد در زمستان که خورشید در فراز خورشیدی پایین‌تری است، به صورت مایل بر صفحه جاذب کلکتور بتابد، در نتیجه در سایر روزهای سال بخشی از تابش خورشیدی توسط کلکتور جذب نمی‌شود، اما زمانی که صفحه جاذب کلکتور دارای زاویه باشد ($\beta \neq 0$)، بخشی از تابش مستقیم در تابستان جذب نخواهد شد، اما در سایر روزهای سال تابش خورشیدی نسبت به صفحه کلکتور زاویه مناسب‌تری خواهد داشت، از آنجایی که تعداد روزهایی که خورشید به صورت مایل می‌تابد بیشتر از روزهایی است که خورشید به صورت عمود می‌تابد، نصب کلکتور به حالت زاویه دار به بهبود مجموع حرارت جذب شده در طول سال کمک خواهد کرد. در دو فصل معتدل سال این زاویه نسبت به خورشید در وضعیت بهتری قرار گرفته و دو پیک نمودار را به وجود می‌آورد، چنانچه از یک دنبال کننده خورشیدی استفاده شود، در تمامی روزهای سال حرارت بیشتری جذب می‌شود و مجدداً نمودار زنگوله‌ای شکل می‌گردد، با این تفاوت که نمودار به سمت بالا انتقال می‌یابد، که به معنای جذب حرارت بیشتری است.



شکل (۴-۸): میزان حرارت مفید دریافتی بر کلکتور

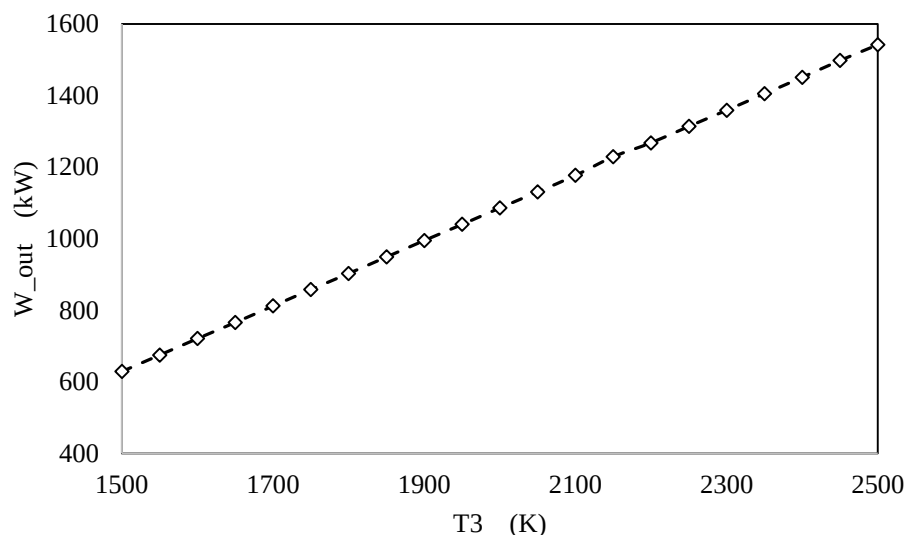
در ادامه‌ی بررسی نتایج سیستم تولید همزمان پیشنهادی، چنانچه بتوان از موتور گازسوز با پارامترهای متغیر استفاده نمود، عملکرد و نتایج سیستم پیشنهادی دستخوش تغییرات خواهد بود که با انتخاب دقیق پارامترهای مورد نظر می‌توان وضعیت عملکردی سیستم را بهبود بخشید. در ادامه‌ی این موضوع پارامترهای نسبت تراکم موتور گازسوز، دما و فشار کاری موتور گازسوز و میزان سوخت مصرفی مورد تحلیل قرار گرفته است. تغییر و بررسی این پارامترها مشروط به امکان جایگزینی محرک اولیه است.

افزایش نسبت تراکم در موتور گازسوز منجر به افزایش دما و فشار در سیکل موتور گازسوز می‌گردد که این افزایش دما و فشار منجر به افزایش توان تولیدی نیز می‌گردد. در شکل (۴-۹) تغییرات توان تولیدی محرک اولیه برحسب نسبت تراکم موتور گازسوز نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات توان تولیدی برحسب نسبت تراکم به‌صورت سهمی است. تغییرات توان تولیدی تا نسبت تراکم ۹ به‌صورت افزایشی بوده و پس از آن به مقدار ثابت می‌رسد. دستیابی به بهترین نسبت تراکم وابسته به سایر پارامترها می‌باشد. برای انتخاب بهترین نسبت تراکم می‌بایست دمای محفظه احتراق، فشار و میزان مصرف سوخت را مدنظر قرار داد. تغییرات توان تولیدی برحسب دما و میزان مصرف سوخت در شکل (۴-۱۰) و (۴-۱۱) نشان داده شده است.



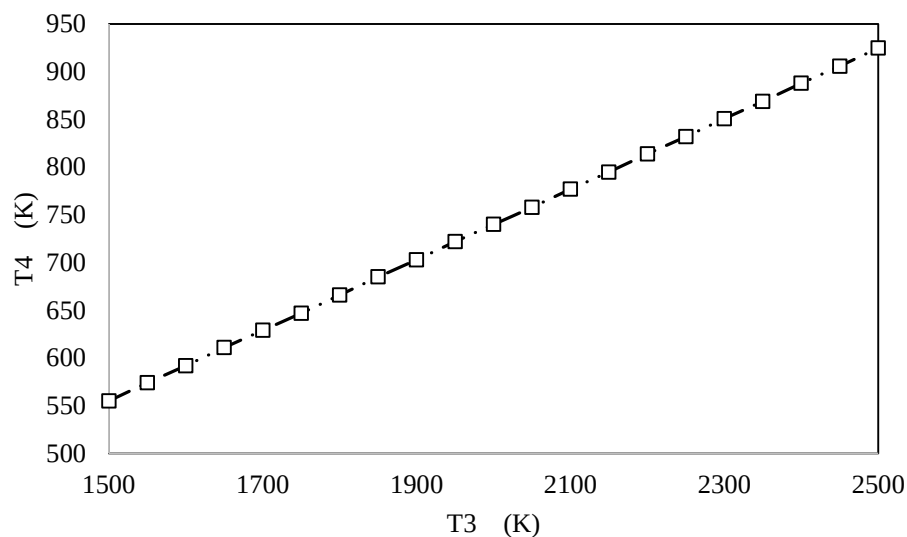
شکل (۹-۴): تغییرات توان تولیدی موتور گازسوز برحسب نسبت تراکم

شکل (۱۰-۴) توان تولیدی محرک اولیه‌ی موتور گازسوز را برحسب دمای محفظه‌ی احتراق نشان می‌دهد. جهت افزایش دما می‌بایست سوخت ورودی به موتور افزایش یابد. افزایش سوخت به موتور منجر به افزایش دما و به تبع آن توان تولیدی می‌گردد که در شکل (۱۰-۴) مشاهده می‌شود.

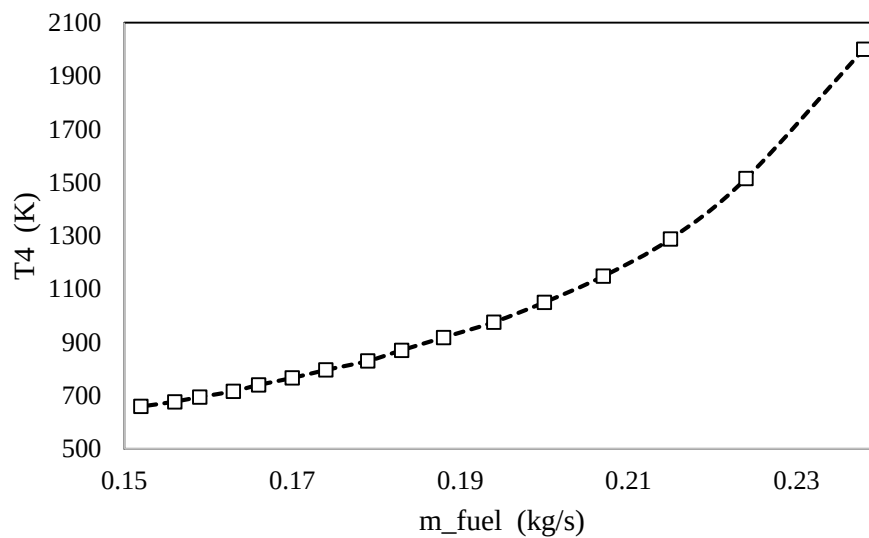


شکل (۴-۱۰): تغییرات توان تولیدی برحسب دمای محفظه‌ی احتراق موتور گازسوز

شکل (۴-۱۱) تغییرات دمای خروجی از اگزوز موتور گازسوز را برحسب تغییرات دمای محفظه‌ی احتراق نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شد با افزایش دمای محفظه‌ی احتراق سوخت مصرفی و توان تولیدی نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش دمای محفظه‌ی احتراق باعث افزایش دمای گازهای داغ خروجی از اگزوز موتور نیز می‌گردد. تغییرات دمای گازهای داغ خروجی از موتور به‌صورت خطی است. با توجه به اینکه موتور گازسوز مورد تحلیل در این پژوهش به‌عنوان محرک اولیه‌ی سیستم تولید همزمان استفاده می‌شود، از حرارت خروجی از موتور نیز استفاده می‌گردد؛ بنابراین افزایش دمای محفظه‌ی احتراق علاوه بر افزایش توان خروجی منجر به افزایش راندمان سیستم تولید همزمان با بازیابی حرارت بیشتر نیز می‌گردد. همچنین شکل (۴-۱۲) تغییرات دمای خروجی از موتور گازسوز را نسبت به سوخت ورودی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با نرخ ثابت تزریق سوخت، تغییرات دما در دماهای بالاتر با شیب بیشتری افزایش می‌یابد. با افزایش دمای محفظه‌ی احتراق موتور گازسوز از طریق تزریق سوخت بیشتر، فرصت برای انتقال حرارت از محفظه‌ی احتراق به ژاکت خنک‌کننده کاهش می‌یابد و در دماهای بالاتر نرخ این افزایش بیشتر از دماهای پایین است؛ که در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است.



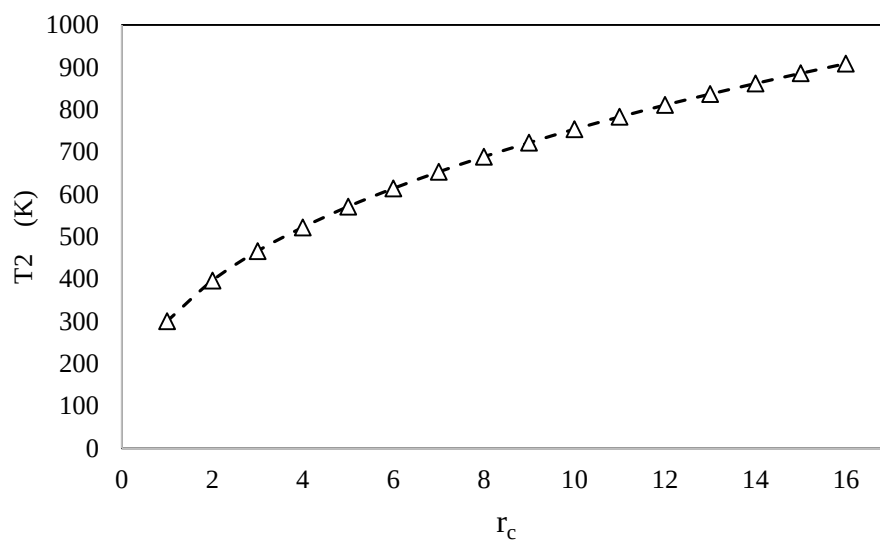
شکل (۴-۱۱): تغییرات دمای خروجی از اگزوز موتور گازسوز نسبت به دمای محفظه‌ی احتراق



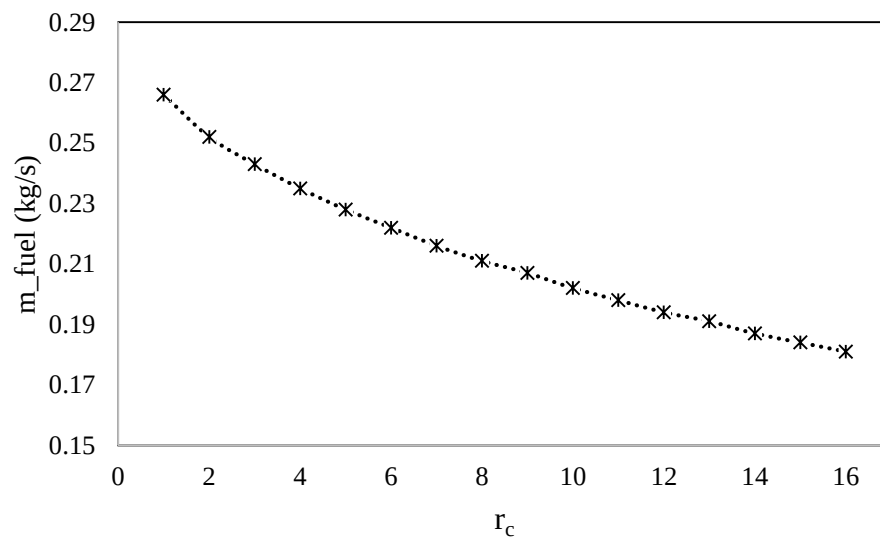
شکل (۴-۱۲): تغییرات دمای خروجی از اگزوز موتور گازسوز نسبت به سوخت ترزیقی

در شکل (۴-۱۳) تغییرات دمای پس از تراکم و قبل از نقطه‌ی احتراق سوخت و هوا برحسب نسبت تراکم موتور گازسوز نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت تراکم در موتور گازسوز دمای مخلوط سوخت و هوا افزایش می‌یابد. افزایش دمای مخلوط سوخت و هوا باعث کاهش مصرف

سوخت می‌گردد چرا که برای رسیدن به دمای مطلوب احتراق، سوخت کمتری مصرف می‌گردد. شکل (۴-۱۴) نیز این مورد را تأیید و به‌وضوح نشان می‌دهد.

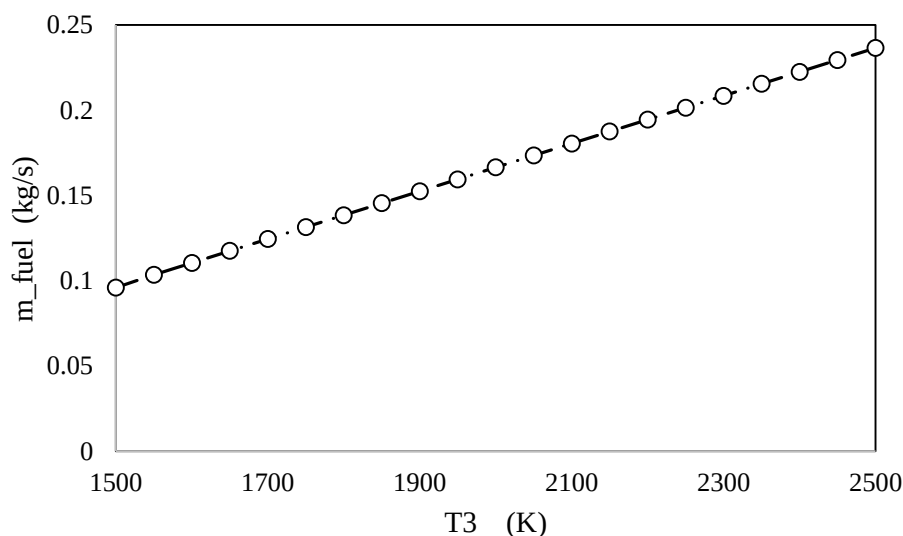


شکل (۴-۱۳): تغییرات دمای قبل از محفظه‌ی احتراق بر حسب نسبت تراکم موتور گازسوز



شکل (۴-۱۴): تغییرات میزان سوخت تزریقی به سیستم بر حسب نسبت تراکم موتور گازسوز

شکل (۴-۱۵) تغییرات میزان سوخت مصرفی را برحسب دمای محفظه‌ی احتراق نشان می‌دهد. تغییرات دما و سوخت مصرفی نسبت به یکدیگر تغییرات خطی دارند؛ اما بازه‌ی تغییرات دمایی نسبت به میزان مصرف سوخت بسیار بیشتر است.

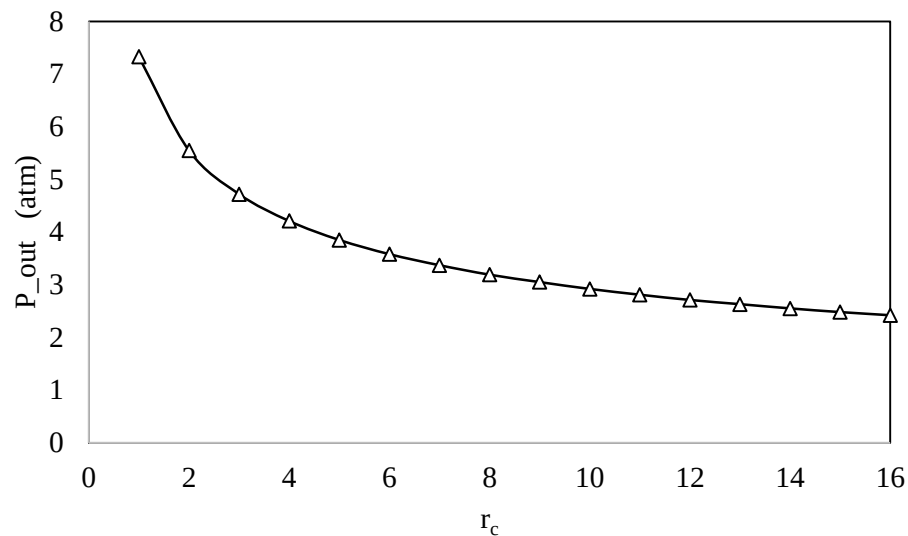


شکل (۴-۱۵): تغییرات میزان سوخت تزریقی بر حسب دمای محفظه‌ی احتراق موتور گازسوز

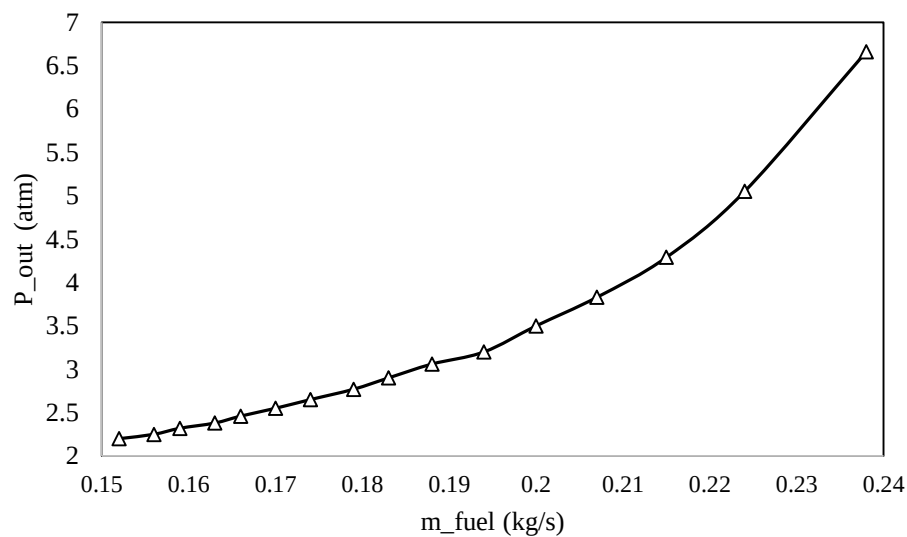
شکل (۴-۱۶) نشان‌دهنده‌ی تغییرات فشار خروجی گازهای داغ برحسب نسبت تراکم موتور گازسوز است. نسبت تراکم مهم‌ترین عامل طراحی در موتورهای احتراق داخلی است. فشار گازهای خروجی از موتور گازسوز با نسبت تراکم موتور گازسوز دارد که این موضوع در شکل (۴-۱۶) به‌وضوح مشاهده می‌گردد. طبق روابط حاکم بر موتور گازسوز تغییرات فشار گازهای خروجی از موتور گازسوز به‌صورت سهمی با تغییرات نسبت تراکم موتور گازسوز در ارتباط است. افزایش نسبت تراکم هرچند باعث کاهش مصرف سوخت می‌گردد اما از طرف دیگر باعث کاهش فشار خروجی گازهای داغ از موتور می‌گردد؛ بنابراین انتخاب بهترین نقطه‌ی عملکردی موتور به پارامترهای متفاوتی وابسته است که می‌بایست به طور همزمان مدنظر قرار گیرد.

از طرف دیگر تغییرات فشار گازهای خروجی به طور مستقیم با فشار نقطه‌ی احتراق در ارتباط است و فشار نقطه‌ی احتراق به‌صورت خطی با تغییرات دمای محفظه‌ی احتراق نسبت دارد در نتیجه افزایش دمای

محفظه‌ی احتراق منجر به افزایش فشار در نقطه‌ی احتراق شده و به تبع آن افزایش فشار خروجی از موتور گازسوز را به همراه خواهد داشت. همان‌طور که بیان شد تزریق سوخت بیشتر به سیکل منجر به افزایش دما و فشار می‌گردد بنابراین تغییرات نمودار (۴-۱۷) قابل توجیه است چرا که ارتباط این دو پارامتر به صورت مستقیم با یکدیگر است.



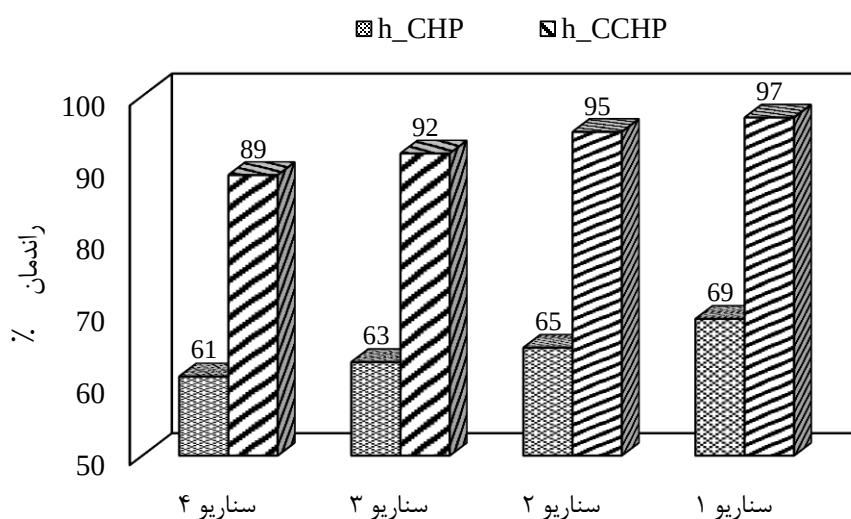
شکل (۴-۱۶): تغییرات فشار خروجی از موتور گازسوز بر حسب نسبت تراکم



شکل (۴-۱۷): تغییرات فشار خروجی از موتور گازسوز بر حسب مصرف سوخت مصرفی موتور گازسوز

۴-۳-۱ راندمان سیستم CCHP

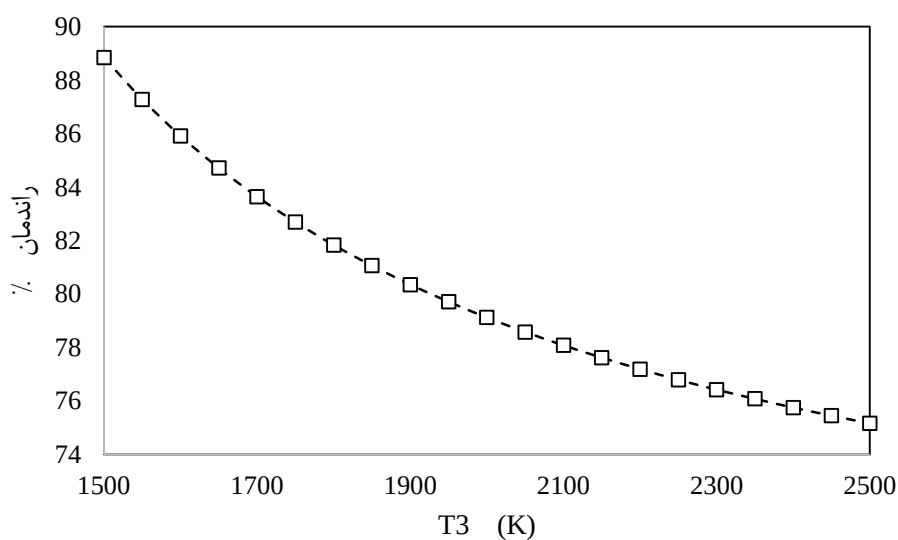
یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی در سیستم تولید همزمان، راندمان سیستم تولید همزمان است. با توجه به اینکه در این پژوهش از کلکتورهای خورشیدی استفاده شده است، به تبع آن مصرف سوخت کاهش یافته و راندمان افزایش خواهد یافت. شکل (۴-۱۸) راندمان سیستم پیشنهادی را برای هر ۴ سناریو نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سناریو ۱ که تعداد کلکتورهای خورشیدی بیشتر است حرارت بیشتری دریافت شده و سوخت کمتری مصرف می‌شود و دارای راندمان بالاتری است و به ترتیب در سناریوهای بعدی کاهش می‌یابد.



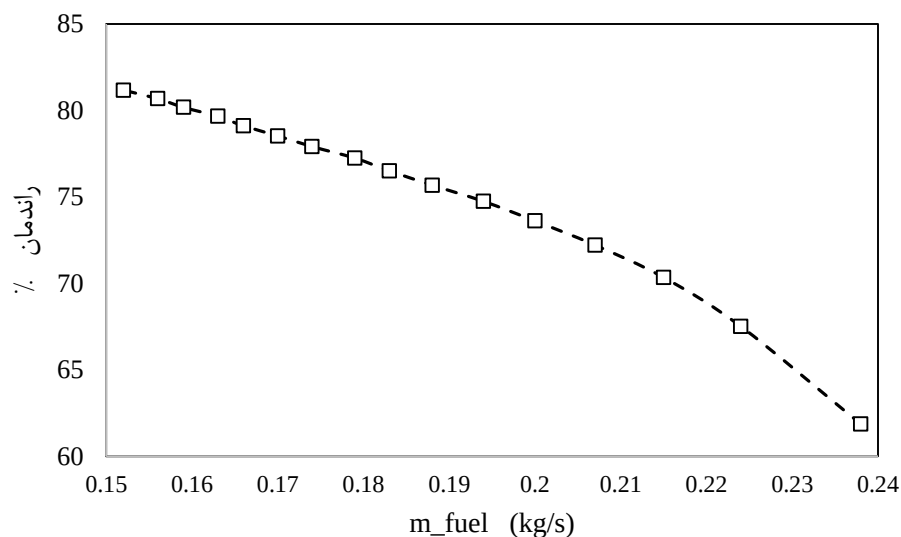
شکل (۴-۱۸): نمودار راندمان سیستم تولید همزمان سیستم پیشنهادی

شکل (۴-۱۹) تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان تنها با موتور گازسوز و بدون کلکتورهای خورشیدی را برحسب تغییرات دمای محفظه‌ی احتراق موتور گازسوز نشان می‌دهد. همان‌طور که بیان گردید افزایش دمای محفظه‌ی احتراق ناشی از افزایش مصرف سوخت است. با توجه به اینکه در رابطه‌ی راندمان سیستم تولید همزمان سوخت مصرفی در مخرج رابطه قرار دارد با افزایش مقدار این پارامتر راندمان کاهش می‌یابد.

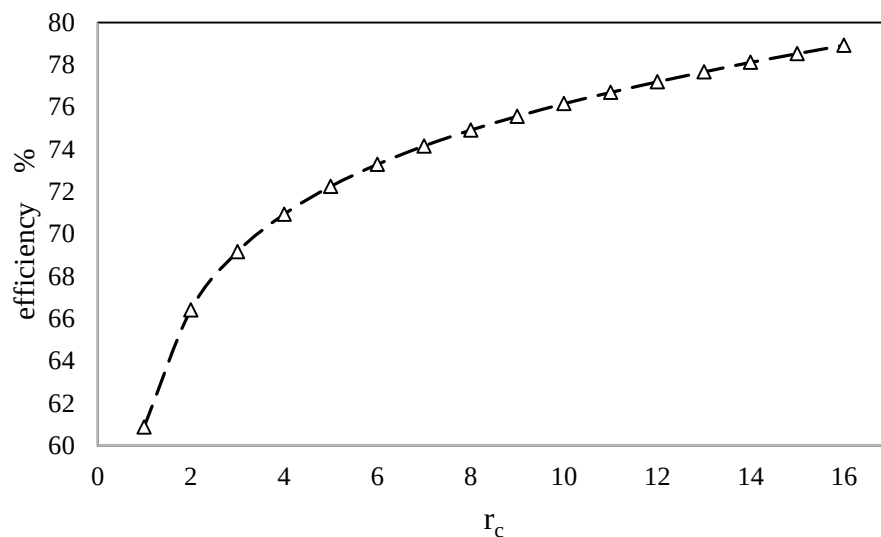
که در شکل (۴-۲۰) نیز به تصویر کشیده شده است. چنانچه بدون افزایش مصرف سوخت و یا حتی با کاهش مصرف سوخت بتوان توان و دما را افزایش داد این امر منجر به افزایش راندمان سیستم تولید همزمان می‌گردد. افزایش نسبت تراکم یکی از راهکارهای افزایش دما و کاهش مصرف سوخت است که افزایش راندمان را در پی خواهد داشت. این موضوع در شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۹): تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان بر حسب تغییرات دمای محفظه‌ی احتراق



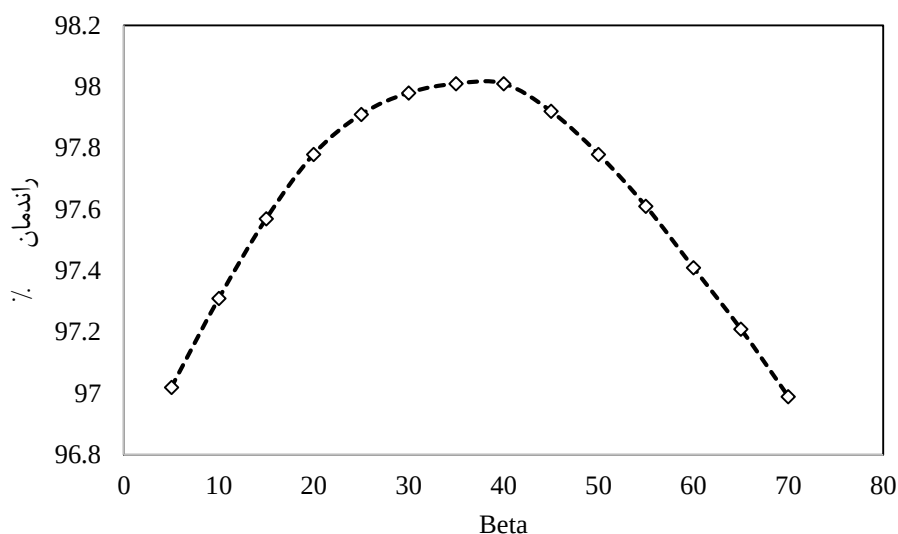
شکل (۴-۲۰): تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان برحسب تغییرات سوخت تزریقی به موتور گازسوز



شکل (۴-۲۱): تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان برحسب تغییرات نسبت تراکم موتور گازسوز

شکل (۴-۲۲) تغییرات سیستم تولید همزمان را در حالت هیبریدی با کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت را برای یک روز خاص در سال نشان می‌دهد. در این نمودار سایر مشخصه‌های موتور گازسوز ثابت در نظر گرفته شده است و تنها متغیر زاویه کلکتور خورشیدی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بازه‌ی تغییرات کلکتور صفحه تخت به‌صورت گسترده در نظر گرفته شده است تا با در نظر گرفتن میزان زاویه تمام مقادیر

راندمان را نشان دهد. در مقدار زاویه‌ی ۴۰ درجه راندمان در ماکزیمم مقدار خود خواهد بود. همان‌طور که در قسمت کاربری کلکتورهای خورشیدی بیان شد بهترین مقدار جهت انتخاب زاویه‌ی نصب صفحه مقدار عرض جغرافیایی به علاوه ۵ درجه است که در این نمودار نیز این مورد تأیید می‌گردد.



شکل (۴-۲۲): تغییرات راندمان سیستم تولید همزمان هیبریدی برحسب تغییرات زاویه‌ی کلکتور

۴-۴ نتایج آنالیز اقتصادی

آنالیز اقتصادی به عنوان مهم‌ترین عامل تصمیم‌گیری در روند اجرا و نصب یک سیستم جایگزین مطرح می‌گردد. در این پژوهش نیز آنالیز اقتصادی موردبررسی قرار گرفته شد. مهم‌ترین مواردی که در این آنالیز در نظر گرفته شده است شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری، هزینه‌های اسقاطی و هزینه‌های مصرف انرژی بوده است که در محاسبه‌ی مقدار صرفه‌جویی در هزینه‌های عملکردی، محاسبه‌ی پارامتر FESR و دوره‌ی بازگشت سرمایه به کار رفته است. در ادامه نتایج مربوط به میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت، هزینه‌های عملکردی و دوره بازگشت سرمایه برای هر ۴ سناریوی مطرح شده آورده شده و نسبت به حالت سیستم مجزا مورد تحلیل قرار گرفته است.

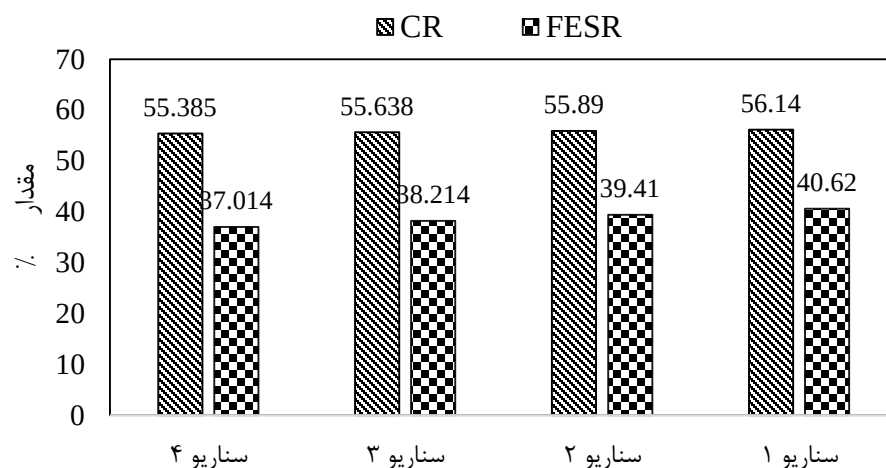
۴-۴-۱ نتایج پارامتر FESR و کاهش پارامتر CR

شکل (۴-۲۳) نمودار درصد کاهش هزینه‌های عملکردی و درصد صرفه‌جویی در مصرف سوخت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر ۴ سناریو بیش از ۵۵ درصد هزینه‌های عملکردی کاهش یافته است. کاهش هزینه‌های عملکردی به معنای صرفه‌جویی و ذخیره‌ی سرمایه است که در نتیجه‌ی آن باعث کاهش دوره‌ی بازگشت سرمایه می‌گردد.

در سناریو ۱ تمام بار حرارتی مورد نیاز توسط موتور گازسوز و کلکتورهای خورشیدی تأمین می‌گردد که از این رو می‌بایست تعداد بیشتری کلکتور نصب شود تا بار حرارتی مورد نیاز تأمین گردد. این مورد هرچند باعث افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌گردد اما از طرف دیگر باعث کاهش ظرفیت بویلر پشتیبان یا عدم نیاز به بویلر پشتیبان می‌گردد.

از طرف دیگر افزایش تعداد کلکتورهای نصب شده باعث می‌شود سوخت کمتری در بویلر سوزانده شود که این مورد نیز منجر به افزایش صرفه‌جویی در مصرف سوخت می‌گردد. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود اختلاف سناریوهای ۱ و ۴ به بیش از ۳ درصد در صرفه‌جویی مصرف سوخت شده است.

در سناریو ۱ که بار حرارتی بیشتری توسط کلکتورها تأمین شده است درصد صرفه‌جویی در مصرف سوخت بیشتر و برابر ۴۰/۶۲٪ شده است. با کاهش تعداد کلکتورها و افزایش ظرفیت بویلر پشتیبان این مقدار نیز کاهش یافته و به حدود ۳۷٪ رسیده است.

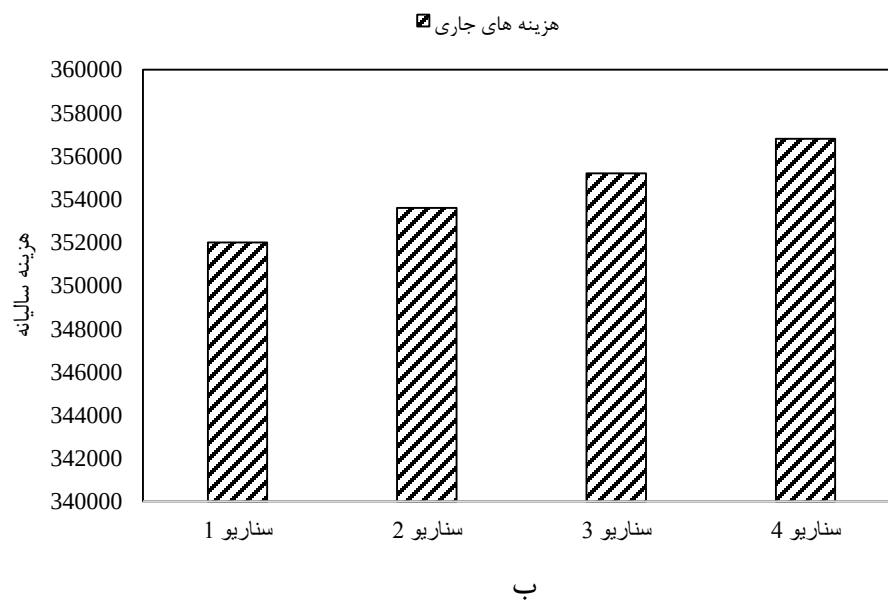
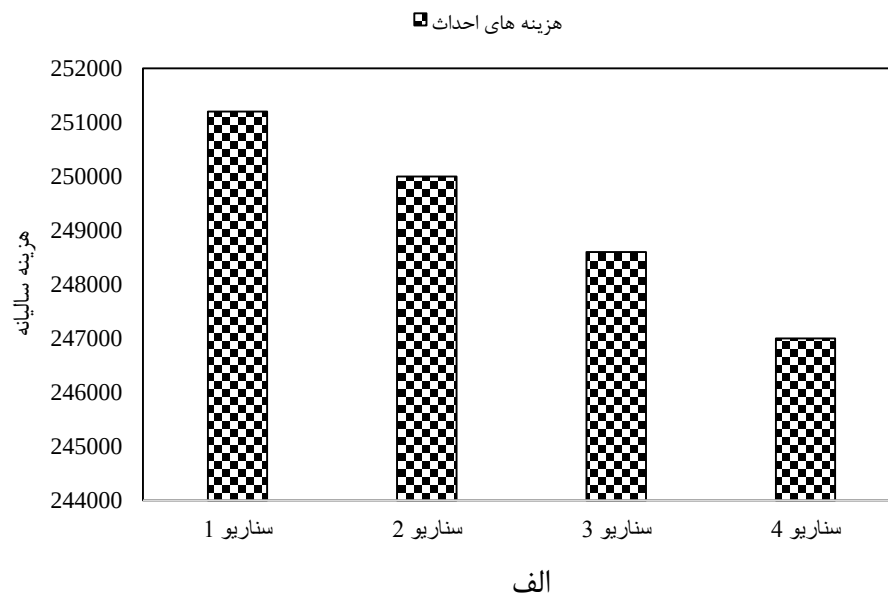


شکل (۴-۲۳): نمودار صرفه‌جویی در هزینه‌های عملکردی و مصرف سوخت

۴-۲ نتایج ارزش حال خالص

روش ارزش حال خالص به تغییرات ارزش سرمایه‌گذاری و درآمدی در سال‌های متفاوت می‌پردازد. تعیین ارزش حال خالص با استفاده از نرخ بهره فرضی تعیین می‌گردد. هرچه ارزش حال خالص یک پروژه بیشتر باشد، شایستگی مالی آن پروژه نیز بیشتر است و اجرای آن پروژه در اولویت مطرح می‌گردد.

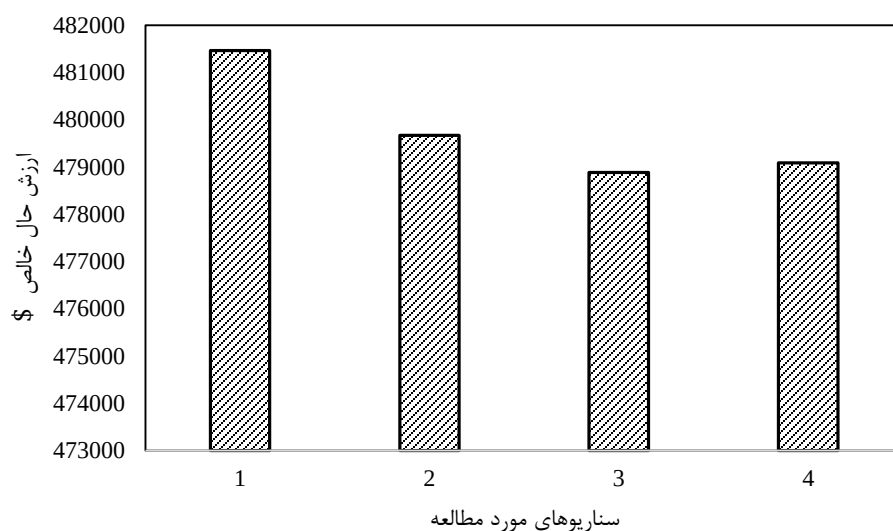
شکل (۴-۲۴) نمودار هزینه‌های سالیانه سیستم تولید همزمان را تحت ۴ سناریو نشان می‌دهد. با توجه به اینکه هزینه‌های احداث سیستم تولید همزمان در ابتدای عمر تجهیزات صرف می‌شود جهت مقایسه می‌بایست به صورت سالیانه در مدت عمر تجهیزات تقسیم گردد که در شکل (۴-۲۴) به تصویر کشیده شده است. شکل الف هزینه‌های احداث را نشان می‌دهد و دلیل بیشتر بودن سناریو ۱، بالا بودن هزینه‌های خرید کلکتور است و شکل ب هزینه‌های جاری می‌باشد، همین‌طور که مشاهده می‌شود سناریو ۴ به خاطر هزینه‌های بیشتری که صرف خرید سوخت می‌شود، نسبت به بقیه سناریوها بیشتر است.



شکل (۴-۲۴): نمودار هزینه های سالانه سیستم تولید همزمان

شکل (۴-۲۵) ارزش حال خالص را برای هر ۴ سناریو و با در نظر گرفتن نرخ بهره ی ۲۰ درصد و طول عمر ۲۰ سال را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود سناریوی ۱ دارای بیشترین ارزش حال خالص

است که نشان دهنده‌ی برتری انتخاب این سناریو است. ارزش حال خالص که هزینه‌های سیستم را در نظر می‌گیرد نشان می‌دهد سناریوی ۱ با دارا بودن تعداد کلکتور خورشیدی بیشتر، دارای بیشترین صرفه‌جویی در مصرف انرژی است و به همین دلیل دارای ارزش حال خالص بالاتر و برتری نسبت به سایر سناریوها است.



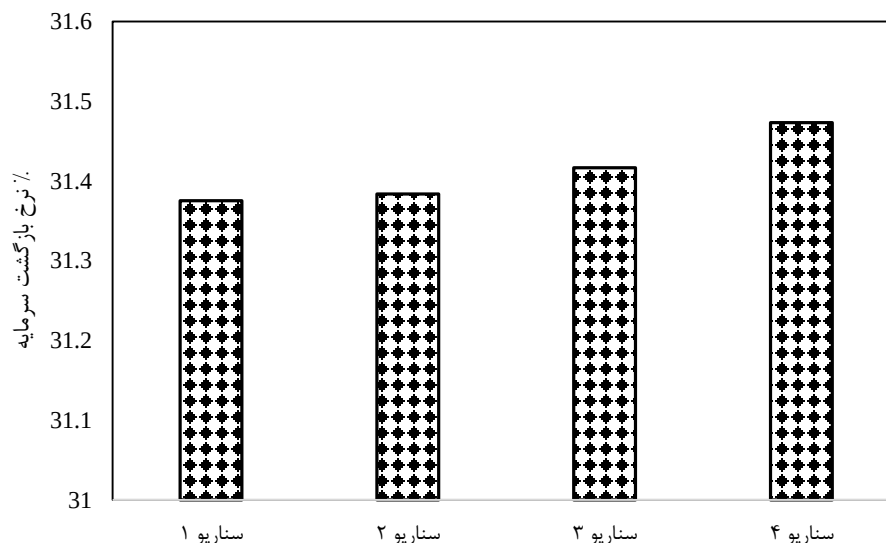
شکل (۴-۲۵): نمودار نتایج ارزش حال خالص

۴-۳-۴ نتایج نرخ بازگشت داخلی

نرخ تنزیلی که یک ارزش حال خالص صفر را حاصل می‌کند به عنوان نرخ بازگشت داخلی خوانده می‌شود. هرچه نرخ بازگشت داخلی بالاتر باشد پروژه جذاب‌تر خواهد بود.

شکل (۴-۲۶) نمودار نرخ بازگشت سرمایه را برای سیستم تولید همزمان برای هر ۴ سناریوی بیان شده نشان می‌دهد. از آنجایی که نرخ بازگشت داخلی بر اساس ارزش حال خالص محاسبه می‌گردد نتایج تطابق خوبی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ارزش حال خالص در سناریو ۱ بیشتر بوده نرخ بازگشت سرمایه کمتر بوده و دوره‌ی بازگشت سرمایه نیز بیشتر خواهد بود. اما به دلیل اختلاف اندک در ارزش حال خالص

نرخ بازگشت داخلی نیز اختلاف زیادی نخواهد داشت که این موضوع در شکل (۴-۲۶) نشان داده شده است.



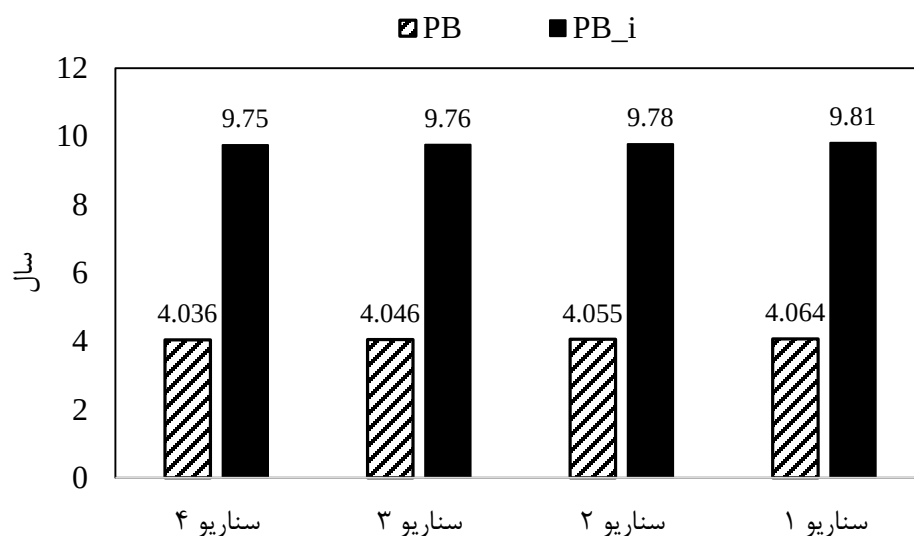
شکل (۴-۲۶): نمودار نرخ بازگشت داخلی سرمایه

۴-۴-۴ نتایج دوره‌ی بازگشت سرمایه

شکل (۴-۲۷) دوره‌ی بازگشت سرمایه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این پژوهش دوره‌ی بازگشت سرمایه تحت دو حالت با در نظر گرفتن نرخ بهره و بدون در نظر گرفتن آن محاسبه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد اختلاف چندانی میان ۴ سناریو مطرح شده وجود ندارد چرا که در سناریو ۱ که تعداد کلکتور بیشتری نصب شده است و هزینه‌ی بیشتری صرف آن شده است در مقابل ظرفیت بویلر پشتیبان و در نتیجه هزینه‌ی خرید بویلر کمتر شده است. هم‌چنین از طرف دیگر در این حالت صرفه‌جویی در مصرف سوخت کمتر شده و درآمد ناشی از سیستم افزایش می‌یابد که این موارد باعث می‌شود دوره‌ی بازگشت سرمایه به صورت سربه‌سر گردد.

در حالتی که نرخ بهره در نظر گرفته نمی‌شود دوره‌ی بازگشت سرمایه کمتر شده و به حدود ۴ سال می‌رسد اما در واقع به دلیل تغییر ارزش مالی پول و وابستگی آن به زمان می‌بایست نرخ بهره و طول عمر تجهیزات نیز مد نظر قرار گیرد که در این حالت دوره‌ی بازگشت سرمایه به حدود ۹ سال خواهد رسید.

باین حال در میانه‌ی عمر تجهیزات هزینه‌های سرمایه‌گذاری بازگشت داده شده و سیستم در نیمه‌ی دوم عمر خود سودآوری خالص خواهد داشت.



شکل (۴-۲۷): نمودار دوره‌ی بازگشت سرمایه

جمع‌بندی نتایج و مقایسه سناریوها و بررسی پارامترهای راندمان سیستم تولید همزمان، صرفه‌جویی در مصرف سوخت و درصد کاهش هزینه‌های عملکردی و نهایتاً دوره‌ی بازگشت سرمایه نشان می‌دهد که بهترین سناریو، سناریو ۱ خواهد بود. چرا که در دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی تقریباً برابر دارای راندمان بالاتر و مصرف سوخت کمتر می‌باشد. مصرف سوخت کمتر تولید آلاینده‌ی کمتری نیز در بر خواهد داشت.

فصل پنجم:
جمع‌بندی نتایج و ارائه‌ی پیشنهادها

۵-۱ مقدمه

در این فصل نتایج کلی به صورت جمع‌بندی شده ارائه می‌گردد. همان‌طور که بیان گردید سیستم‌های تولید همزمان دارای مزایای عمده اقتصادی و زیست‌محیطی هستند؛ به همین دلیل استفاده از این سیستم‌ها در راستای تأمین برق، گرمایش و سرمایش ساختمان‌های تجاری، اداری و مسکونی در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است. در پژوهش پیش رو، عملکرد سیستم تولید همزمان سه‌گانه با ترکیب موتور گازسوز و کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت مورد بررسی قرار گرفت و به کمک روابط بخش ۳ در محیط نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شد و نتایج در بخش ۴ آورده شد. در نهایت نتایج جمع‌بندی گردید.

۵-۲ جمع‌بندی نتایج

این تحقیق در دانشگاه صنعتی شاهرود صورت گرفته است و هدف از این تحقیق طراحی و مدل‌سازی یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت و سرما با استفاده از کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی برای ساختمان دانشگاه می‌باشد. طراحی و استفاده از سیستم خورشیدی در کنار محرک اولیه موتور گازسوز، علاوه بر افزایش راندمان سیستم تولید همزمان، باعث کاهش هزینه‌های عملکردی و کاهش دوره‌ی بازگشت سرمایه و همچنین کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی گردید.

سیستم مورد استفاده در این پژوهش دارای چهار قسمت اصلی، شامل سیکل تبرید جذبی تک اثره، موتور احتراق داخلی گازسوز، مبدل‌های حرارتی جهت بازیافت حرارت، سیستم کلکتور خورشیدی صفحه تخت است. طراحی و مدل‌سازی اجزاء مختلف سیستم با نرم‌افزار متلب انجام گردید. در نهایت تعداد کلکتور خورشیدی با توجه به بار حرارتی ساختمان محاسبه گردید.

نتایج نشان می‌دهد سناریو ۱ که تمام بار حرارتی توسط موتور گازسوز و کلکتورهای خورشیدی تأمین شده است، بهترین سناریو در میان سناریوهای بیان شده است. هرچند در این سناریو هزینه‌های

سرمایه‌گذاری جهت خرید کلکتورهای خورشیدی به سیستم افزوده می‌گردد اما از طرف دیگر به دلیل عدم نیاز به بویلر پشتیبان این هزینه برابر خواهد گردید. به دلیل اینکه کلکتورهای خورشیدی به سوخت‌های فسیلی وابسته نیستند راندمان سیستم افزایش پیدا کرده و پارامتر FESR و CR نیز بیشتر خواهد گردید. از این رو سناریو ۱ به عنوان سناریو منتخب با راندمان ۹۷ درصد در حالت CCHP و ۶۹ درصد در حالت CHP سناریو منتخب خواهد بود. همچنین مقدار CR و FESR برای این سناریو به ترتیب برابر ۵۶/۱۴ و ۴۰/۶۴ درصد خواهد بود. علاوه بر این دوره‌ی بازگشت سرمایه با در نظر گرفتن نرخ بهره حدود ۱۰ سال خواهد بود.

۵-۳ ارائه‌ی پیشنهادها

با توجه به مزایای انرژی‌های نو به خصوص انرژی خورشیدی پیشنهاد می‌شود، ترکیب سیستم‌های خورشیدی با سایر ترکیب‌های سیستم‌های تولید همزمان نیز مورد بررسی قرار گیرد و ترکیب آن با سایر محرک‌های اولیه و بررسی سیستم با دیگر کلکتورهای خورشیدی تحلیل شود. همچنین در کارهای آتی می‌توان آنالیزهای اگزرژی و زیست‌محیطی که بسیار مهم هستند هم برای سیستم پیشنهادی مورد بررسی قرار گیرد.

علاوه بر این در کارهای آینده می‌توان پارامترهای سیستم سرمایه‌اش و تأثیر انرژی خورشیدی بر سیستم سرمایه‌اش را مورد بررسی قرار داد و در صورتی که بتوان از موتورهای گازسوز دیگری در مدل پیشنهادی استفاده کرد، می‌توان تاثیر سایر پارامترهای موتور از جمله: زاویه چرخش شفت، تعداد سیلندرها، کورس پیستون را نیز تحلیل نمود.

مراجع

- [۱] اسفیانی، ح.گ.، طراحی و مدل سازی یک سیستم تولید همزمان برق و حرارت و سرما با سیستم ذخیره ساز انرژی برای ساختمان مکانیک و عمران دانشگاه صنعتی شاهرود پردیس ۲، ۱۳۹۷، دانشگاه صنعتی شاهرود: دانشگاه صنعتی شاهرود
- [2] Ebrahimi, M. and A. Keshavarz, *Combined cooling, heating and power: Decision-making, design and optimization*. 2014: Elsevier.
- [3] Duffie, J.A. and W.A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. 2013: John Wiley & Sons.
- [4] <http://www.solarkar.ir>.
- [5] Kalogirou, S.A., *Solar energy engineering :processes and systems*. 2013: Academic Press.
- [6] Hajabdollahi, Z. and H. Hajabdollahi, *Thermo-economic modeling and multi-objective optimization of solar water heater using flat plate collectors*. *Solar Energy*, 2017. 155: p. 191-202.
- [7] Wu, D. and R. Wang, *Combined cooling, heating and power: a review*. *progress in energy and combustion science*, 2006. 32(5-6): p. 459-495.
- [8] Li, M., et al., *Thermodynamic boundaries of energy saving in conventional CCHP (Combined Cooling, Heating and Power) systems*. *Energy*, 2016. 116: p. 243-249.
- [9] Huangfu, Y., et al., *Experimental investigation of adsorption chiller for Micro-scale BCHP system application*. *Energy and buildings*, 2007. 39(2): p. 120-127.

- [10] Pospisil, J., et al., *Comparison of cogeneration and trigeneration technology for energy supply of tertiary buildings*. WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer, 2006. 1(3): p. 262-267.
- [11] Chicco, G. and P. Mancarella, *A unified model for energy and environmental performance assessment of natural gas-fueled poly-generation systems*. Energy Conversion and Management, 2008. 49(8): p. 2069-2077.
- [12] McDaniels, D., et al., *Enhanced solar energy collection using reflector-solar thermal collector combinations*. Solar energy, 1975. 17(5): p. 277-283.
- [13] Baker, S., et al., *Time integrated calculation of the insolation collected by a reflector-collector system*. Solar energy, 1978. 20: p. 415-417.
- [14] Pucar, M. and A. Despic, *The enhancement of energy gain of solar collectors and photovoltaic panels by the reflection of solar beams*. Energy, 2002. 27(3): p. 205-223.
- [15] Joshi, P. and G. Tiwari, *Energy matrices, exergo-economic and enviro-economic analysis of an active single slope solar still integrated with a heat exchanger: A comparative study*. Desalination, 2018. 443: p. 85-98.
- [16] Li, S., et al., *Full chain energy performance for a combined cooling, heating and power system running with methanol and solar energy*. Applied energy, 2013. 112: p. 673-681.
- [17] Wang, L., et al., *Thermoeconomic evaluation and optimization of LiBr-H₂O double absorption heat transformer driven by flat plate collector*. Energy Conversion and Management, 2018. 162: p. 66-76.
- [18] Settino, J., et al., *Overview of solar technologies for electricity, heating and cooling production*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 90: p. 892-909.

- [19] Raju, V.R. and R.L. Narayana, *Effect of flat plate collectors in series on performance of active solar still for Indian coastal climatic condition*. Journal of King Saud University-Engineering Sciences, 2016.
- [20] Sokhansefat, T., et al., *Thermoeconomic and environmental analysis of solar flat plate and evacuated tube collectors in cold climatic conditions*. Renewable energy, 2018. 115: p. 501-508.
- [21] Kong, X., et al., *Experimental investigation of a micro-combined cooling, heating and power system driven by a gas engine*. International Journal of Refrigeration, 2005. 28(7): p. 977-987.
- [22] Wang, J., et al., *A new combined cooling, heating and power system driven by solar energy*. Renewable Energy, 2009. 34(12): p. 2788-788.
- [23] Kavvadias, K., A. Tosios, and Z. Maroulis, *Design of a combined heating, cooling and power system: Sizing, operation strategy selection and parametric analysis*. Energy Conversion and Management, 2010. 51(4): p. 833-845.
- [24] Cho, H., A.D. Smith, and P. Mago, *Combined cooling, heating and power: A review of performance improvement and optimization*. Applied Energy, 2014. 136: p. 168-185.
- [25] Wang, J., et al., *Thermodynamic performance analysis and optimization of a solar-assisted combined cooling, heating and power system*. Energy, 2016. 115: p. 49-59.
- [26] Wang, J. and Y. Yang, *Energy, exergy and environmental analysis of a hybrid combined cooling heating and power system utilizing biomass and solar energy*. Energy Conversion and Management, 2016 :124 .p. 566-577.

- [27] Eisavi, B., S. Khalilarya, and A. Chitsaz, *Thermodynamic analysis of a novel combined cooling, heating and power system driven by solar energy*. Applied Thermal Engineering, 2018. 129: p. 1219-1229.
- [28] Mehrpooya, M., S. Sayyad, and M.J. Zonouz, *Energy, exergy and sensitivity analyses of a hybrid combined cooling, heating and power (CCHP) plant with molten carbonate fuel cell (MCFC) and Stirling engine*. Journal of cleaner production, 2017. 148: p. 283-294.
- [29] Zhao, L., et al., *Solar driven ORC-based CCHP: Comparative performance analysis between sequential and parallel system configurations*. Applied Thermal Engineering, 2018. 131: p. 696-706.
- [30] Mokheimer, E.M., Y.N. Dabwan, and M.A. Habib, *Optimal integration of solar energy with fossil fuel gas turbine cogeneration plants using three different CSP technologies in Saudi Arabia*. Applied Energy, 2017. 185: p. 1268-1280.
- [31] Aichmayer, L., J. Spelling, and B. Laumert, *Small scale hybrid solar power plants for polygeneration in rural areas*. Energy Procedia, 2014. 57: p. 1536-1545.
- [32] Aichmayer, L., J. Spelling, and B. Laumert, *Thermoeconomic analysis of a solar dish micro gas-turbine combined-cycle power plant*. Energy procedia, 2015. 69: p. 1089-1099.
- [33] Jiang-Jiang, W., Z. Chun-Fa ,and J. You-Yin, *Multi-criteria analysis of combined cooling, heating and power systems in different climate zones in China*. Applied Energy, 2010. 87(4): p. 1247-1259.
- [34] Sanaye, S., M.M. Ghafurian, and F.T. Dastjerd, *Applying Relative Net Present or Relative Net Future Worth Benefit and exergy efficiency for optimum selection of a natural gas engine based CCHP system for a hotel building*. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016. 34: p. 305-317.

[۳۵] معرفت، شفیع، و پیام، ارزیابی چندمعیاره سیستم *CCHP* تحت استراتژی‌های عملکرد مختلف برای یک ساختمان اداری در تهران با تکنیک *AHP* مهندسی مکانیک مدرس، ۲۰۱۴. ۱۴(۸): p. 37-48.

[36] Mago, P.J. and A.K. Hueffed, *Evaluation of a turbine driven CCHP system for large office buildings under different operating strategies*. Energy and Buildings, 2010. 42(10): p. 1628-1636.

[37] Wang, L., et al., *Energy, environmental and economic evaluation of the CCHP systems for a remote island in south of China*. Applied Energy, 2016. 183: p. 874-883.

[38] Xu, D. and M. Qu, *Energy, environmental, and economic evaluation of a CCHP system for a data center based on operational data*. Energy and Buildings, 2013. 67: p. 176-186.

[39] Li, L., et al., *Optimization and analysis of CCHP system based on energy loads coupling of residential and office buildings*. Applied Energy, 2014. 136: p. 206-216.

[40] Sanaye, S. and M.M. Ghafurian, *Applying relative equivalent uniform annual benefit for optimum selection of a gas engine combined cooling, heating and power system for residential buildings*. Energy and Buildings, 2016. 128: p. 809-818.

[۴۱] توکلی دستجرد، ف. و غیره، ارزیابی نحوه‌ی انتخاب ظرفیت موتورگازسوز در بهینه‌سازی سیستم *CCHP* با استفاده از الگوریتم ژنتیک مطالعه موردی: مجتمع ورزشی آبی. نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، ۲۰۱۶. ۴۸(۱): p. 79-9.

[42] Martyr, A.J. and M.A. Plint, *Engine testing: The design, building, modification and use of powertrain test facilities*. 2012: Elsevier.

[43] Abedin, M., et al., *Energy balance of internal combustion engines using alternative fuels*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. 26: p. 20-33.

- [44] Yucer, C.T., *Thermodynamic analysis of the part load performance for a small scale gas turbine jet engine by using exergy analysis method*. Energy, 2016. 111: p. 251-259.
- [45] Tavakoli Dastjerd, F., M.M. Ghafuoryan, and S. Farahat, *Comparison of selection effect environmental optimization and multi-criteria optimizations; energy, economic and environmental in performance of CCHP system*. Modares Mechanical Engineering, 2015. 15(9): p. 69-77.
- [46] Sanaye, S., M.A. Meybodi, and S. Shokrollahi, *Selecting the prime movers and nominal powers in combined heat and power systems*. Applied thermal engineering, 2008. 28(10): p. 1177-1188.
- [47] Ebrahimi, M., *The environ-thermo-economical potentials of operating gas turbines in industry for combined cooling, heating, power and process (CCHPP)*. Journal of Cleaner Production, 2017. 142: p. 4258-4269.
- [48] Ahmadi, P. and I. Dincer, *Exergoenvironmental analysis and optimization of a cogeneration plant system using Multimodal Genetic Algorithm (MGA)*. Energy, 2010. 35(12): p. 5161-5172.
- [49] www.gepower.com/gas/reciprocating-engines/waukesha/vhp.

[۵۰] عظیمی، ح.خ.ز.ع.آ.آ., مطالعه و بهینه سازی انرژی یک کلکتور خورشیدی حرارتی تخت مجهز شده به بازتابنده ها و عدسی ها در یک مدار بسته با استفاده از نتایج آزمایش ها. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، ۱۳۹۲. ۱: p.

40-51

- [51] Tavakoli Dastjerd, F., M.M. Ghafuoryan, and S.E. Shakib, *Tech economical optimization of CCHP system with rely the time value of money, in payback period*. Modares Mechanical Engineering, 2015. 15(5): p. 254-260.

[۵۲] عباسی، م.، تحلیل انرژی، انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم تولید همزمان گرمایش، سرمایش و برق، (CCHP) با

محرک اولیه هیبریدی موتور گازسوز و توربین گاز. ۱۳۹۷، دانشگاه صنعتی شاهرود: دانشگاه صنعتی شاهرود

[۵۳] توکلی دستجرد، ف.، م.م. غفوریان، و س.ا. شکیب، بهینه سازی فنی اقتصادی سیستم تولید همزمان CCHP با تکیه بر نقش

ارزش زمانی پول در دوره‌ی بازگشت سرمایه. مهندسی مکانیک مدرس، ۲۰۱۵. ۱۵(۵): p. 254-260

[54] Ebrahimi, M. and A. Keshavarz, *Climate impact on the prime mover size and design of a CCHP system for the residential building*. Energy and Buildings, 2012. 54: p. 283-289.

[55] Ebrahimi, M. and A. Keshavarz, *Sizing the prime mover of a residential micro-combined cooling heating and power (CCHP) system by multi-criteria sizing method for different climates*. Energy, 2013. 54: p. 291-301.

[56] <https://fa.climate-data.org/>

[57] <https://www.wikipedia.org/>

[58] Kim, S., et al. *Development of the 5 MW power generation gas turbine engine*. in *ASME 2011 Turbo Expo: Turbine Technical Conference and Exposition*. 2011. American Society of Mechanical Engineers.

Abstract

One of the problems of today's world is the reduction of fossil fuels and environmental fossil fuel pollution caused by fossil fuels in order to provide power, cooling and heating to provide people with comfort. Therefore, production systems are one of the effective methods to meet these needs simultaneously with the reduction of fossil fuel consumption and reduction of pollutant emissions. On the other hand, solar energy is a clean and free energy that can play a useful role in providing part of these needs. The combination of simultaneous production systems and solar systems can have a double effect on human life and the environment.

Therefore, in this research, a system of simultaneous production of gas-fired and flat panel collectors has been analyzed for energy use at the Shahrood University of Technology. The capacity of the study was 1253 kWh of power and 1500 kW of heating and 250 ton_{ref} calculated by Carrier software. Then, the collection demand has been investigated under 4 different scenarios using coding in the MATLAB software environment. The results show that supplying this demand with the help of the gas engine and solar collectors is the best scenario and there is no need for a backup boiler. The results also indicate that this compound will result in a 97% efficiency in CCHP mode and a 69% efficiency in CHP mode. Also, the CR and FESR values in this compound would be 56.14% and 40.64% respectively. Additionally, the payback period will be around 10 years depending on the interest rate.

Keywords

CCHP, flat plate collector, gas engine, energy analysis, economic analysis



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanical Engineering And Mechatronics Engineering

MSc Thesis in Energy System Engineering

**Modelling of CCHP system by Gas engine and Solar Energy,
for Mechanical and Civil Engineering Department of
Shahrood University of Technology, Campus 2**

By: Pouriya khalilian

Supervisors:

Mr. Ahmad Madadi

Adviser:

Dr Mahmood Chahartaghi

January 2019