دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی-گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش تبدیل انرژی

عنوان :

تحلیل ترمودینامیکی سیستم جدید تولید همزمان توان، سرما و گرما راه‌اندازی شده با انرژی خورشیدی

تنظیم و نگارش :

بنتا عیسوی

استاد راهنما :

دکتر شهرام خلیل آریا

شهریور ماه ۱۳۹۳

به نام خداوند جان و خرد

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه خانم بنتا عیسوی به شماره دانشجویی ۹۱۰۸۰۱۰۱۲ با عنوان « تحلیل ترمودینامیکی سیستم جدید تولید همزمان توان، سرما و گرما راه‌اندازی شده با انرژی خورشیدی » به تـاریخ **۱۳۹۳/٦/۳۰** و شماره..... مورد پذیرش هیأت محترم داوران بـا رتبـه ..... و نمـره ..... قـرار گرفت.

کمیته دفاع	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱)استاد راهنما و رئیس هیأت داوران	دکتر شهرام خلیل آریا	
۲)داور خارجی	دکتر صمد جعفرمدار	
۳)داور داخلی	دکتر مجید عباسعلیزاده	
٤)نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی چهل امیرانی	

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می‌باشد.

تقدیم به:

مادرم

که محبت بی کرانش همواره گرمی دلم بوده

و

پدرم

که عظمت وجودش پشتیبان همیشگی ام بوده

تقدیر و تشکر

خداوند را سپاس می گویم که لطف او شامل حالم شد تا بتوانم قطره‌ای ناچیز از دریای علم او را فرا گیرم و در زمره‌ی کسانی قرار گیرم که قادر به درک عظمت بی کران علم او هستند.

از استاد ارجمندم؛ جناب آقای دکتر خلیل آریا که باوجود مشغله کاری فراوان، همواره با خوش رویی و متانت مرا در رفع کاستی‌های این پژوهش یاری نموده و با راهنمایی‌های ارزشمند خویش در بالابردن هرچه بیشتر سطح علمی آن همراهی ام کرده‌اند؛ کمال تشکر و قدردانی را می نمایم. همچنین از اساتید محترم گروه مکانیک دانشگاه ارومیه که در این دوره تحصیلی زحمات بسیاری کشیده‌اند، تشکر می کنم.

از خانواده عزیزم که همیشه در تمامی مراحل زندگی همراهی ام کرده و شرایط پیشرفت را برایم فراهم نموده‌اند، سپاسگزاری می نمایم.

در پایان از کلیه دوستان مهربانم، و تمام کسانی که به نوعی مرا در تدوین و نگارش این اثر یاری نموده‌اند؛ صمیمانه تشکر می کنم.

بنتا عیسوی

شهریور ۱۳۹۳

چکیده

در سال‌های اخیر کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش مشکلات زیست محیطی ناشی از احتراق این سوخت‌ها، لزوم استفاده از سیستم‌های کارآمد را نمایان ساخته و موجب توجه هر چه بیشتر به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر شده است. در همین راستا برای حل مشکلات بخش انرژی، سیستم‌های تولید همزمان توان، سرما و گرما که یکی از فناوری‌های جدید و کارآمد می‌باشند، مطرح می‌شوند؛ این سیستم‌ها ضمن استفاده از حداکثر انرژی سوخت مصرفی قادر به تأمین همزمان نیازهای متنوع انرژی مصرف‌کننده بوده و مزایای اقتصادی عمده‌ای را برای کاربران به همراه دارند. در مطالعه حاضر یک سیستم تولید همزمان توان، سرما و گرما که با انرژی خورشیدی راه‌اندازی شده، معرفی گردیده و بررسی شده است. در این سیستم به منظور تأمین توان سرمایشی، سیستم تبرید جذبی دو اثره لیتیوم‌بروماید–آب و برای تولید توان الکتریکی، سیکل رانکین آلی با سیال عامل n-octane به کاررفته است. این سیستم قادر به تأمین همزمان انواع نیازهای انرژی بخش مصرف کننده می‌باشد. شبیه‌سازی عملکرد سیستم و حل معادلات موازنه جرم، انرژی و اگزرژی توسط کد محاسباتی نوشته شده در نرم‌افزار EES انجام یافته است. همچنین به منظور تعیین حساسیت بازده و خروجی‌های سیستم به پارامترهای عملکردی، تحلیل پارامتریک صورت گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که استفاده از سیستم تبریدجذبی دواثره سبب افزایش میزان توان تبرید تولید شده و در کل موجب بهبود عملکرد سیکل می‌شود.

کلمات کلیدی: سیستم تولید همزمان توان سرما گرما، انرژی خورشیدی، سیکل رانکین آلی، سیستم تبریدجذبی دو اثره لیتیوم‌بروماید–آب، تحلیل پارامتریک

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده I

فهرست مطالب II

فهرست شکل‌ها VI

فهرست جدول‌ها VIII

فهرست علائم و اختصارات IX

علائم یونانی XI

زیرنویس‌ها XII

فصل اول: مقدمه و ساختار پایان‌نامه ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ ضرورت و هدف پایان‌نامه ۲

۱-۳ ساختار پایان‌نامه ۳

فصل دوم: مفاهیم و کلیات سیستم‌های تولید همزمان توان، سرما و گرما ٤

۲-۱ مقدمه ٤

۲-۲ سیستم تولید همزمان توان، سرما و گرما ٥

۲-۲-۱ ویژگی‌های سیستم‌های تولید همزمان ٦

۲-۲-۱-۱ ارتقاء کارایی سیستم تولید انرژی ٦

۲-۲-۱-۲ کیفیت و قابلیت اطمینان در تولید انرژی ۷

۲-۲-۱-۳ هزینه‌های کمتر تولید انرژی ۸

۲-۲-۲ کاربرد سیستم‌های تولید همزمان ۸

۲-۲-۳ تجهیزات سیستم تولید همزمان توان، سرما و گرما ۸
۲-۲-۳-۱ محرک اولیه ۹
۲-۲-۳-۲ ژنراتور الکتریکی ۱۲
۲-۲-۳-۳ سیستم بازیافت حرارت ۱۲
۲-۲-۳-٤ سیستم فعال شونده با حرارت ۱۲
۲-۳ انرژی خورشید و کاربردهای آن ۱۸
۲-۳-۱ کلکتورهای خورشیدی ۱۸
۲-۳-۱-۱ کلکتورهای ثابت یا غیر متمرکز کننده ۱۹
۲-۳-۱-۲ کلکتورهای متمرکز کننده ۲۰
۲-٤ آشنایی با تحقیقات عمده امروزی در زمینه ترمودینامیک ۲٤
۲-٤-۱ تحلیل اگزرژی ۲٤
۲-٤-۲ تحلیل ترمواکونومیکی ۲۵
۲-٤-۳ ترمودینامیک بازگشت ناپذیر ۲٦
۲-٤-٤ طراحی ترمودینامیکی ۲٦
۲-٤-۵ مدل سازی ترمودینامیکی ۲۷
فصل سوم: پیشینه پژوهش ۲۸
۳-۱ مقدمه ۲۸
۳-۲ پیشینه پژوهش سیکل رانکین آلی و کاربرد های آن ۲۹
۳-۳ پیشینه پژوهش سیستم‌های تولید همزمان ۳۱
۳-۳-۱ پیشینه پژوهش سیستم های تولید همزمان راه‌اندازی شده با انرژی خورشیدی ۳٤
۳-٤ پیشینه پژوهش سیستم‌های تبرید جذبی ۳۷
۳-٤-۱ تاریخچه سیستم‌های تبرید جذبی ۳۷
۳-٤-۲ پیشینه پژوهش سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم بروماید-آب ۳۷
۳-٤-۳ پیشینه پژوهش سیستم تبرید جذبی چند اثره لیتیوم بروماید-آب ۳۹
۳-٤-٤ پیشینه پژوهش خواص لیتیوم بروماید-آب ٤۲

۳-۵ پیشینه پژوهش تحلیل اگزرژی ٤٣
۳-٦ جمع‌بندی ٤٤
فصل چهارم: معرفی سیستم پیشنهادی تولید همزمان توان، سرما و گرما و معادلات حاکم بر آن ٤٥
٤-۱ مقدمه ٤٥
٤-۲ معرفی سیستم تولید همزمان پیشنهاد شده ٤٦
٤-۲-۱ شرح عملکرد سیستم مورد مطالعه ٤٦
٤-۳ سیکل رانکین آلی ٤٨
٤-٤ سیستم تبرید جذبی ٤٩
٤-۵ سیستم جذب انرژی خورشید ۵۰
٤-۵-۱ محاسبات زیر سیستم خورشیدی ۵۱
٤-۵-۱-۱ بازده حرارتی سیستم خورشیدی ۵۱
٤-۵-۱-۲ بازده اوپتیکال سیستم خورشیدی ۵۲
٤-۵-۱-۳ مدل‌سازی کلکتورهای خورشیدی ۵٤
٤-٦ مدل‌سازی ترمودینامیکی ۵۷
٤-٦-۱ معادلات ترمودینامیکی حاکم بر حجم کنترل ۵۷
٤-٦-۲ تحلیل کلی سیستم تولید همزمان توان، سرما و گرما ٦۱
٤-٦-۳ موازنه جرم، انرژی و اگزرژی اجزاء سیستم ٦۲
فصل پنجم: بررسی و تحلیل نتایج ٦۸
۵-۱ مقدمه ٦۸
۵-۲ نتایج تحلیل انرژی و اگزرژی ٦۹
۵-۳ نتایج تحلیل پارامتریک ۷٤
فصل ششم: نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات ۸۷

٦-١ مقدمه ٨٧
٦-٢ نتیجه‌گیری کلی ٨٨
٦-٣ پیشنهادات برای کارهای آتی ٨٩
منابع و مآخذ: ٩٠

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ : طرحواره‌ی تولید انرژی به طریق متمرکز و تولید همزمان. ۷

شکل ۲-۲ : (الف) پیکربندی ORC. (ب) فرآیند ORC در نمودار T-S. [۷] ۱۰

شکل ۲-۳ : سه نوع سیال کاری: خشک، آیزنتروپیک و مرطوب. [۷] ۱۱

شکل ۲-٤ : سیستم تبرید جذبی تک‌اثره لیتیوم‌بروماید- آب. [٤]..... ۱٦

شکل ۲-۵ : سیستم تبریدجذبی دواثره جریان سری لیتیوم بروماید- آب. [۱۱]..... ۱۷

شکل ۲-٦ : نمونه شاخص یک کلکتور صفحه تخت که با مایع خنک می‌شود. [۱۹] ۲۰

شکل ۲-۷ : مسیرهای نور در کلکتورهای متمرکزکننده‌ی تصویری. (الف) بازتابنده (ب) شکننده. [۱۹] ۲۱

شکل ۲-۸ : کلکتور سهموی ناودانی و رسیور. [۱۸] ۲۳

شکل ۲-۹ : (الف) نمای جلو و (ب) نمای پشت یک نمونه از کلکتور PTC. ۲٤

شکل ۲-۱۰ : روش‌های عملی تحقیقات، (الف) در گذشته (ب) در حال حاضر. [۲۰] ۲۷

شکل ۳-۱ : طرحواره‌ی سیستم شوستر و همکاران. [۲۳]..... ۳۰

شکل ۳-۲ : طرحواره‌ی سیستم تولید همزمان هوئیکوچی و همکاران. [٤۰]..... ۳٤

شکل ۳-۳ : طرحواره‌ی سیکل تولید همزمان بررسی شده توسط السلیمان و همکاران. [٤۹] ۳٦

شکل ٤-۱ : طرحواره‌ی سیستم تولید همزمان پیشنهادی توان، سرما و گرما راه‌اندازی شده با انرژی خورشیدی. ٤۷

شکل ٤-۲ : کلکتور سهموی ناودانی و رسیور. [۱۸] ۵۰

شکل ٤-۳ : مدل کلکتور متمرکزکننده. [۷۸]..... ۵۱

شکل ۵-۱ : طرحواره‌ی سیستم CCHP پیشنهادی. ۷۰

شکل ۵-۲ : نرخ نابودی اگزرژی اجزاء سیکل مورد مطالعه. ۷۳

شکل ۵-۳ : نمودار تأثیر تغییرات دمای تنگش اواپراتور ORC بر خروجی‌های سیستم. ۷۵

شکل ۵-٤ : نمودار تأثیر تغییرات دمای تنگش اواپراتور ORC بر نسبت توان الکتریکی به توان حرارتی و تبرید. ۷٦

شکل ۵–۵ : نمودار تأثیر تغییرات دمای تنگش اواپراتور ORC بر بازده انرژی سیستم. ۷۷
شکل ۵–٦ : نمودار تأثیر تغییرات دمای تنگش اواپراتور ORC برنرخ نابودی اگزرژی اجزاء سیستم. ۷۷
شکل ۵–۷ : نمودار تأثیر تغییرات دمای تنگش اواپراتور ORC بر بازده اگزرژی سیستم. ۷۸
شکل ۵–۸ : نمودار تأثیر تغییرات فشار ورودی به توربین ORC بر خروجی‌های سیستم. ۷۹
شکل ۵–۹ : نمودار تأثیر تغییرات فشار ورودی به توربین ORC بر نسبت توان الکتریکی به توان حرارتی و تبرید. ۸۰
شکل ۵–۱۰ : نمودار تأثیر تغییرات فشار ورودی به توربین ORC بر بازده انرژی سیستم. ۸۰
شکل ۵–۱۱ : نمودار تأثیر تغییرات فشار ورودی به توربین ORC بر نرخ نابودی اگزرژی اجزاء سیستم. ۸۱
شکل ۵–۱۲ : نمودار تأثیر تغییرات فشار ورودی به توربین ORC بر بازده اگزرژی سیستم. ۸۲
شکل ۵–۱۳ : نمودار تأثیر تغییر دمای ورودی به پمپ ORC بر خروجی‌های سیستم. ۸۳
شکل ۵–۱٤ : نمودار تأثیر تغییر دمای ورودی به پمپ ORC بر نسبت توان الکتریکی به توان حرارتی و تبرید. ۸٤
شکل ۵–۱۵ : نمودار تأثیر تغییر دمای ورودی به پمپ ORC بر بازده انرژی سیستم. ۸٤
شکل ۵–۱٦ : نمودار تأثیر تغییرات دمای ورودی به پمپ ORC بر نرخ نابودی اگزرژی اجزاء سیستم. ۸۵
شکل ۵–۱۷ : نمودار تأثیر تغییرات دمای ورودی به پمپ ORC بر بازده اگزرژی سیستم. ۸٦

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ : طبقه‌بندی سیستم تولید همزمان براساس ظرفیت تولید. ۹

جدول ۲-۲ : خواص (الف) لیتیوم‌برومايد در شرایط استاندارد (ب) آب. [۱۲] ۱۵

جدول ۲-۳ : مقایسه‌ی مفاهیم انرژی و اگزرژی. [۲۱] ۲۵

جدول ٤-۱ : خواص ترمودینامیکی n-octane. [۷۷] ٤۹

جدول ٤-۲ : مقایسه نتایج مدل ترمودینامیکی سیستم تبرید جذبی کار حاضر و گمری. ٤۹

جدول ٤-۳ : مشخصات فنی کلکتور. [٤۹] ۵۱

جدول ۵-۱ : شرایط شبیه‌سازی سیستم مورد مطالعه. ٦۹

جدول ۵-۲ : خواص ترمودینامیکی نقاط مختلف سیستم مورد مطالعه. ۷۱

جدول ۵-۳ : نتایج شبیه‌سازی سیستم تولید همزمان مورد مطالعه. ۷۲

جدول ۵-٤ : درصد اگزرژی مفید. ۷۲

جدول ۵-۵ : مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج مرجع [٤۹]. ۷۳

فهرست علائم و اختصارات

عنوان	علامت اختصاری
آنتالپی (KJ/Kg)	h
آنتروپی $(KJ/kg\ K)$	s
ارتفاع (m)	Z
اگزرژی (KJ)	Ex
اگزرژی مخصوص (KJ/Kg)	ex
اگزرژی فیزیکی (KJ)	Ex^{PH}
اگزرژی حرارتی (KJ)	Ex^{T}
اگزرژی مکانیکی (KJ)	Ex^{M}
اگزرژی شیمیایی (KJ)	Ex^{CH}
اگزرژی واکنشی (KJ)	Ex^{R}
اگزرژی غیرواکنشی (KJ)	Ex^{N}
اگزرژی جنبشی (KJ)	Ex^{KN}
اگزرژی پتانسیل (KJ)	Ex^{PT}
انرژی(KJ)	E
تلفات حرارتی گیرنده (KW)	Q_0
تعداد ردیف‌های کلکتور	Col_r
حرارت (KJ)	Q
دما $(K\ or\ ℃)$	T
دبی جرمی (Kg/s)	$\dot{m}$
زمان $(s\ or\ hr)$	t
سرعت (m/s)	V
شتاب گرانش (m/s^2)	g
شدت انرژی فرودی (W/m^2)	q^*
ضریب کلی انتقال حرارت براساس مساحت گیرنده $(KW/m^2\ K)$	U_r
ضریب کلی اتلاف حرارتی کلکتور خورشید $(KW/m^2\ K)$	U_L
ضریب انتقال حرارت کلی کلکتور $(KW/m^2\ K)$	U_o
طول کلکتور (m)	L
عرض کلکتور (m)	w
عدد نوسلت	Nu

غلظت لیتیوم‌بروماید در محلول	x
فاکتور حذف حرارت	F_R
فاکتور بازده کلکتور	F_1
قطر (m)	D
گرمای مخصوص $(KJ/Kg\ K)$	C_p
مساحت دهانه کلکتور (m^2)	A_a
نرخ اگزرژی (KW)	$\dot{Ex}$
نرخ کار (KW)	$\dot{W}$
نرخ حرارت (KW)	$\dot{Q}$
نسبت توان الکتریکی به حرارتی	$R_{el,h}$
نسبت توان الکتریکی به سرمایش	$R_{el,c}$
نرخ نابودی اگزرژی (KW)	$\dot{Ex}_d$
نرخ تولید آنتروپی (KW/K)	$\dot{S}_{gen}$
هدایت حرارتی $(W/m\ K)$	K

علائم یونانی

عنوان	علامت اختصاری
بازده	η
ثابت استفان- بولتزمن $(KW/m^2\,K^4)$	σ
چگالی (Kg/m^3)	ρ
زاویه‌ی برخورد پرتوء خورشید (°)	φ
ضریب بازتابش سطح منعکس کننده کلکتور	ρ_c
ضریب عبور پوشش شیشه‌ای	τ
ضریب جذب روکش انتخابی گیرنده	α
ضریب انتشار	ϵ
فاکتور حائل شدن	γ

زیرنویس‌ها

عنوان	علامت اختصاری
الکتریکی	el
اواپراتور	ev
اگزرژی	ex
پوشش شیشه‌ای	c
پمپ محلول	Sl,p
تولید همزمان توان و گرما	cog,h
تولید همزمان توان و سرما	cog,c
خالص	net
خروجی	e
خورشید	s
ژنراتور	g
شرایط اتمسفر	0
فرآیند حرارتی	hp
کلکتور	col
گیرنده	r
محیط	a
موتور	$motor$
مفید	u
ورودی	i

فصل اول:

مقدمه و ساختار پایان‌نامه

۱–۱ مقدمه

در جهان امروز با رشد علم، صنعت و فناوری روش‌های مختلف استفاده از انرژی که در دوران قبل از انقلاب صنعتی معمول بود، دگرگون شده و از طرفی شناخت منابع انرژی جدید، تحولی عظیم در توسعه صنعتی و تکامل اجتمای بشر به وجود آورده است. وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی به خصوص سوخت‌های فسیلی و به کارگیری و مصرف بی‌رویه‌ی آن‌ها، از یک سو منابع عظیمی را که طی قرون متمادی در لایه‌های زیرزمینی تشکیل شده است را تخلیه می‌نماید و از سوی دیگر مصرف این حامل‌های انرژی، بشدت موجب آلودگی محیط‌زیست می‌گردد. تولید گازهایی مانند منواکسیدکربن، اکسیدهای ازت و بطور کلی گازهای گلخانه‌ای موجب آلودگی هوا و گرمایش کرهٔ زمین شده که به گرمایش جهانی معروف است [۱,۲].

با توجه به روند افزایش تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف و مشکلات مربوط به سوخت‌های فسیلی، مدیریت و بهینه‌سازی مصرف این حامل‌های انرژی هم از نقطه نظر حفظ و صیانت از منابع انرژی و هم از نظر کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به هیمن جهت اغلب

کشورهای توسعه یافته به دلیل ضرورت این موضوع نسبت به امضاء تفاهم‌نامه‌ها و پروتکل‌های بین‌المللی و رعایت مفاد آن در چهارچوب تعهدات مقرر اقدام نموده و در راستای کاهش مصرف این نوع سوخت‌ها و آلاینده‌های حاصل از آن‌ها موظف به اجرای تمهیدات گسترده‌ای در بخش‌های مختلف مصرف شده‌اند. در کنار اعمال روش‌های مدیریت مصرف انرژی، بررسی امکان جایگزینی حامل‌های انرژی تجدیدپذیر مانند: انرژی خورشیدی، بادی و زمین گرمایی نیز در اهداف مطالعات و تحقیقات کشورها قرار گرفته است [۲].

همینطور برای استفاده بهینه از منابع انرژی موجود در طبیعت، بازنگری در تجهیزات متداول تولید انرژی و جایگزینی آن‌ها با تکنولوژی‌های نوین که سیستم‌های انرژی با راندمان بالا هستند مورد توجه محققیقن قرار گرفته است و در این میان سیستم‌های تولید همزمان به عنوان یکی از راه‌حل‌های گریز از مشکلات مذکور مطرح شده اند. در سال‌های اخیر از این سیستم‌ها در بخش‌های گوناگون مصرفی استفاده شده است؛ آن‌ها با بهره‌وری حداکثر از سوخت اولیه و راندمان عملکردی بالا، اثرات زیست‌محیطی را تا حد ممکن کاهش می‌دهند و در مصرف سوخت نیز صرفه جویی می‌کنند.

شایان ذکر است در صورتی که سیستم‌های تولید همزمان با منابع انرژی تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی ادغام شوند، می‌توانند به عنوان سیستم‌های پاک و صرفه‌جو جایگزین مناسب سیستم‌های رایج باشند.

۱-۲ ضرورت و هدف پایان‌نامه

تأمین انرژی در دنیای امروز یکی از نیازهای اساسی زندگی بشر و عامل مهم گردش چرخ‌های صنعت می‌باشد. به همین جهت استفاده از سیستم‌های تبدیل انرژی با فناوری‌های جدید و بازده بالا برای رهایی از مشکلات بخش انرژی (بازده کم مولدهای انرژی، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی و تلفات توزیع و انتقال انرژی) به امری ضروری تبدیل شده است. همچنین روند رو به رشد تقاضای انرژی در سال‌های اخیر، اهمیت این موضوع را دو چندان کرده است. بنابراین تحلیل سیستم تولید همزمان به‌منظور یافتن سیستمی کارآمد و جایگزین سیستم‌های رایج تبدیل انرژی لازم و ضروری می‌باشد.

بنابراین در این پژوهش به منظور مطالعه این سیستم‌ها، بعد از معرفی سیستم‌های تولید همزمان توان، سرما و گرما[1] (CCHP) و اجزای متداول به کار رفته در آن‌ها، سیستم تولید همزمان جدیدی که با انرژی خورشیدی راه‌اندازی شده است ارائه شده و سپس سیستم براساس اصول ترمودینامیکی و اگزرژی بررسی می‌شود. همچنین تأثیر پارامترهای مختلف عملکردی بر کارایی، خروجی‌های سیستم و نابودی اگزرژی اجزا، در نمودارهای جداگانه‌ای نشان داده می‌شوند.

۱-۳ ساختار پایان‌نامه

این تحقیق با مقدمه‌ای بر اهمیت و ضرورت سیستم‌های تولید همزمان آغاز می‌شود. در فصل دوم نیز ابتدا به معرفی مبانی و اصول کاری سیستم‌های تولید همزمان، اجزای تشکیل‌دهنده‌ی این سیستم‌ها و موارد کاربردشان پرداخته می‌شود. همینطور بعد از بررسی انواع کلکتورها به صورت اجمالی به تحقیقات صورت گرفته در زمینه ترمودینامیک اشاره شده است. در فصل سوم این تحقیق، مطالعات و پژوهش‌های گوناگون صورت گرفته پیرامون مباحث سیستم‌های تولید همزمان و اجزاء آن‌ها بررسی شده است. سیستم پیشنهادی مورد مطالعه نیز در فصل چهارم ارائه شده که بعد از اشاره به محاسبات و تلفات زیر سیستم خورشیدی فصل با موازنه جرم، انرژی و اگزرژی اجزاء سیستم پایان می‌یابد. در فصل پنجم نتایج تحلیل‌ها و بررسی‌های پارامتریک سیکل مورد نظر، در نمودارهای مجزایی ارائه و تحلیل شده‌اند و در نهایت نتیجه‌گیری کلی در فصل آخر صورت گرفته و پیشنهاداتی برای کارهای آتی آورده شده است.

[1] Combined Cooling, Heating and Power