



دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

دانشکده فنی - مهندسی

گروه برق-کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد

کنترل بهینه سیستم هیبریدی تهویه هوای خورشیدی

سید حمیدرضا فولادی

استاد راهنما: دکتر نوشین بیگدلی

استاد مشاور: دکتر کریم افشار

زمستان ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به پاس تعبیر عظیم و تقدیرناپذیرشان

از کلمات عشق، از خود گذشتگی و ایثار،

تقدیم به پدر و مادر عزیز و بزرگوار

که هر چه دارم از آنهاست.

از استاد بزرگوارم، خانم دکتر نوشین بیگدلی، که همواره با راهنمایی‌های ارزنده و حمایت‌های بی‌دریغ خود مرا یاری نموده است، تقدیر و تشکر می‌کنم. همچنین از استاد گرانقدر، آقای دکتر کریم افشار به دلیل همراهی و همفکری و لطف بسیارش سپاس گزارم.

چکیده

کنترل دما یکی از موضوع های مهم در سیستم های تهویه مطبوع می باشد. هدف همه کنترل کننده های چنین سیستم هایی تثبیت دما و کاهش هزینه مصرفی در زمان کار سیستم است. سیستم تهویه هوای مد نظر سیستمی چند متغیره، غیر خطی که دارای مدهای عملیاتی مختلف است می باشد. این سیستم در دانشگاه سویا اسپانیا پیاده سازی شده است و از ۱۱ مد کاری بهره می گیرد که توسط شیرهای الکتریکی درون پروسه تعیین می شود. به واسطه تعداد مدهای کاری زیاد و خروجی های متعدد، کنترل این سیستم با پیچیدگی هایی همراه است.

روی این سیستم کنترل کننده های مختلفی برای مد کاری صفحات خورشیدی طراحی و پیاده سازی شده است. این کنترل کننده ها روی مد مربوط به تهویه هوا طراحی نشده اند. با هدف تهویه هوا، کنترل نظارتی مد نظر قرار گرفته است که با استفاده از سوئیچینگ بین مدها سعی در کنترل دمای تبخیر کننده و استفاده بیشتر از صفحات خورشیدی را دارد.

در این پایان نامه کنترل کننده مطرح شده ارزیابی می گردد و معایب آن مطرح می شود. کنترل کننده بهینه هیبریدی پیشنهاد خواهد شد. در کنترلر پیشنهادی با توجه به این که هر مد دارای رفتار خاصی می باشد، تابع هزینه خاصی با ضرایب قابل تغییر مد نظر قرار می گیرد. که با استفاده از این ضرایب می توان اهمیت کنترل را برای متغیر تابع هزینه تغییر داد. کنترل کننده نظارتی دارای تغییرات دمایی زیاد در خروجی است که منجر به خاموش شدن چیلر جذبی به دفعات می شود. کنترل کننده پیشنهادی دارای سوئیچینگ و تغییرات مد بسیار کمتری نسبت به کنترل کننده نظارتی می باشد و با استفاده از مینیمم کردن تابع هزینه این مقدار به حداقل می رسد.

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۲	۱.۱ مقدمه	۲
۵	۲.۱ سرمایه‌های خورشیدی	۵
۸	۳.۱ اهداف این پایان نامه	۸
۹	۲ سیستم تهویه هوای خورشیدی	۹
۱۰	۱.۲ مقدمه	۱۰
۱۱	۲.۲ توصیف سیستم	۱۱
۱۴	۱.۲.۲ سیستم گرمایش صفحات خورشیدی	۱۴
۱۵	۲.۲.۲ سیستم ذخیره کننده	۱۵
۱۶	۳.۲.۲ سیستم انرژی کمکی	۱۶
۱۷	۴.۲.۲ سیستم سرد کننده آب	۱۷
۲۰	۵.۲.۲ متغیرهای بکاررفته در سیستم	۲۰
۲۲	۶.۲.۲ متغیرهای قابل اندازه گیری	۲۲
۲۴	۳.۲ هدف کنترلی	۲۴
۲۶	۳ مدل هیبریدی سیستم تهویه هوای خورشیدی	۲۶
۲۷	۱.۳ مقدمه	۲۷

۲۷	..... شبیه سازی مدل به صورت سیستم هیبریدی
۲۸	..... ۱.۲.۳ مدهای عملیاتی سیستم
۳۳	..... ۲.۲.۳ معادلات جریان هر قسمت
۳۴	..... ۳.۲.۳ دینامیک بخش های مختلف سیستم
۳۸	..... ۴ طراحی کنترلر برای سیستم هیبریدی تهویه هوای خورشیدی
۳۹	..... ۱.۴ مقدمه
۳۹	..... ۲.۴ آنالیز انرژی
۴۲	..... ۳.۴ کنترل نظارتی
۴۳	..... ۱.۳.۴ ناظرهای گسسته
۴۵	..... ۲.۳.۴ ناظرهای Te, o در حالتی که Te, o در حالت نامی باشد
۴۵	..... ۳.۳.۴ راه اندازی و یا خاموش کردن پروسه
۴۶	..... ۴.۳.۴ کار در ناحیه نامی
۵۳	..... ۴.۴ کنترل هیبریدی بهینه
۵۴	..... ۱.۴.۴ استراتژی کنترلی انتخاب مد (کنترل نظارتی)
۵۶	..... ۲.۴.۴ کنترل بهینه
۵۷	..... الف) الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات (PSO)
۵۹	..... ب) وزن اینرسی
۶۰	..... ۳.۴.۴ کنترل بهینه با استفاده از الگوریتم PSO
۶۴	..... ۵ نتایج و شبیه سازی
۶۵	..... ۱.۵ مقدمه

۶۵	۲.۵ بررسی کنترل کننده نظارتی
۶۶	۳.۵ توصیف مد های سیستم
۷۳	۴.۵ بررسی نتایج شبیه سازی کنترل کننده نظارتی و کنترل کننده بهینه هیبریدی
۷۳	۱.۴.۵ نتایج شبیه سازی کنترل کننده نظارتی:
۷۵	۲.۴.۵ بررسی کنترل کننده نظارتی
۷۶	۳.۴.۵ بررسی نتایج کنترل کننده هیبریدی بهینه
۸۴	نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای کارهای آینده
۸۷	ضمیمه ۱ :
۸۹	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: درصد تولید برق از منابع مختلف (GWh) ۳
- شکل ۱-۲: درصد تولید حرارت از منابع مختلف (TJ) ۳
- شکل ۲-۱: شماتیک سیستم تهویه هوای خورشیدی ۱۲
- شکل ۲-۲: منابع انرژی و مصرف کننده های انرژی ۱۲
- شکل ۲-۳: نمای صفحات خورشیدی سیستم پیاده سازی شده ۱۵
- شکل ۲-۴: نمای تانک های موجود در سیستم ۱۶
- شکل ۲-۵: نمودار هیستریزس گاز هیتر ۱۶
- شکل ۲-۶: نمای هیتر گازی سیستم تهویه هوای خورشیدی ۱۷
- شکل ۲-۷: دیاگرام سیکل حرارتی چیلر جذبی ۱۸
- شکل ۲-۸: نمای چیلر جذبی در سیستم تهویه هوای خورشیدی ۱۹
- شکل ۲-۹: نمودار هیستریزس چیلر جذبی ۱۹
- شکل ۳-۱: مسیر حرکتی سیال (a) - l_1 ، (b) - l_2 ، (c) - l_3 ، (d) - l_4 ۳۰
- شکل ۳-۲: مسیر حرکت سیال - (a) l_5 ، (b) - l_6 ، (c) l_7 ، (d) l_8 ۳۱
- شکل ۳-۳: مسیر حرکت سیال - (a) l_9 ، (b) l_{10} ، (c) - l_{11} ۳۲
- شکل ۴-۱: تبادل انرژی در سیستم هیبریدی تهویه هوای خورشیدی ۴۱

- شکل ۴-۲: (a) و (b) مدهای راه انداز سیستم ۴۲
- شکل ۴-۳: شماتیک کنترل نظارتی ۴۲
- شکل ۴-۴: تقسیم بندی نواحی T_{eo} ۴۴
- شکل ۴-۵: نمودار راه اندازی سیستم ۴۶
- شکل ۴-۶: نمودار راه اندازی سیستم ۴۷
- شکل ۴-۷: نمودار حالت های عبور از مد ۳ ۴۸
- شکل ۴-۸: مدهای گزینشی بعد از مد ۴ ۴۹
- شکل ۴-۹: مدهای گزینشی بعد از مد ۵ ۵۰
- شکل ۴-۱۰: مدهای گزینشی بعد از مد ۶ ۵۱
- شکل ۴-۱۱: مدهای گزینشی بعد از مد ۷ ۵۲
- شکل ۴-۱۲: مدهای گزینشی بعد از مد ۸ ۵۳
- شکل ۴-۱۳: شماتیک کنترل کننده هیبریدی ۶۱
- شکل ۴-۱۴: نمودار فلوی حالت ۶۲
- شکل ۴-۱۵: شماتیک سیمولینک کنترل کننده درمطلب ۶۳
- شکل ۵-۱: نمودار Q_e ۶۷
- شکل ۵-۲: نمودار T_{amb} دمای محیط ۶۷
- شکل ۵-۳: نمودار شدت تشعشعات خورشید ۶۸
- شکل ۵-۴: نمودار T_{gi} در مد کاری ۴ ۶۹
- شکل ۵-۵: نمودار T_e در مد کاری ۴ ۶۹

- شکل ۵-۶: نمودار Te در مد کاری ۶ ۷۰
- شکل ۵-۷: نمودار Te, Tgi در مد کاری ۷ ۷۱
- شکل ۵-۸: نمودار تغییر مد در مد کاری ۷ ۷۱
- شکل ۵-۹: نمودار Te و Tgi نظارتی ۷۳
- شکل ۵-۱۰: نمودار تغییرات $Tgwo$ و $vm3$ ۷۴
- شکل ۵-۱۱: نمودار مدهای عملیاتی ۷۵
- شکل ۵-۱۲: نمودار Te با استفاده از GA ۷۶
- شکل ۵-۱۳: نمودار Te ۷۷
- شکل ۵-۱۴: نمودار Te و Tgi کنترل کتته هیبریدی ۷۸
- شکل ۵-۱۵: نمودار دمای ورودی و خروجی گازهیتر ۷۹
- شکل ۵-۱۶: نمودار تغییر مد عملیاتی کنترل کننده پیشنهادی ۸۰
- شکل ۵-۱۷: نمودار متغیرهای $vm3, vb1$ ۸۰
- شکل ۵-۱۸: نمودار میانگین دمای Te هر ده دقیقه برای دو کنترل کننده ۸۱
- شکل ۵-۱۹: نمودار واریانس Te برای دو کنترل کننده ۸۱
- شکل ۵-۲۰: تابع هزینه بهینه ۸۲
- شکل ۵-۲۱: متغیر بهینه ساز تابع هزینه ($vm3$) ۸۲

فهرست جداول

جدول ۲-۱: توصیف متغیرهای موجود در سیستم ۲۰

جدول ۲-۲: متغیرهای قابل اندازه گیری سیستم ۲۳

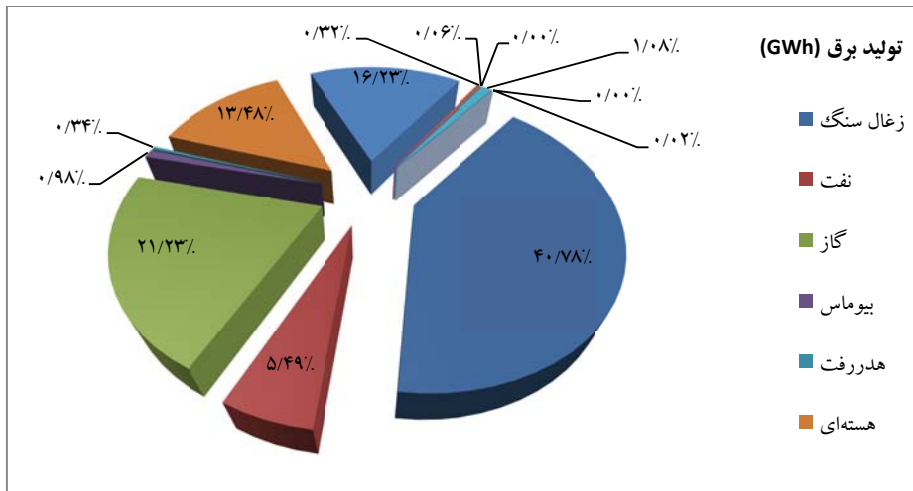
جدول ۵-۱: مقایسه میانگین دمایی در کل ۸ ساعت ۸۳



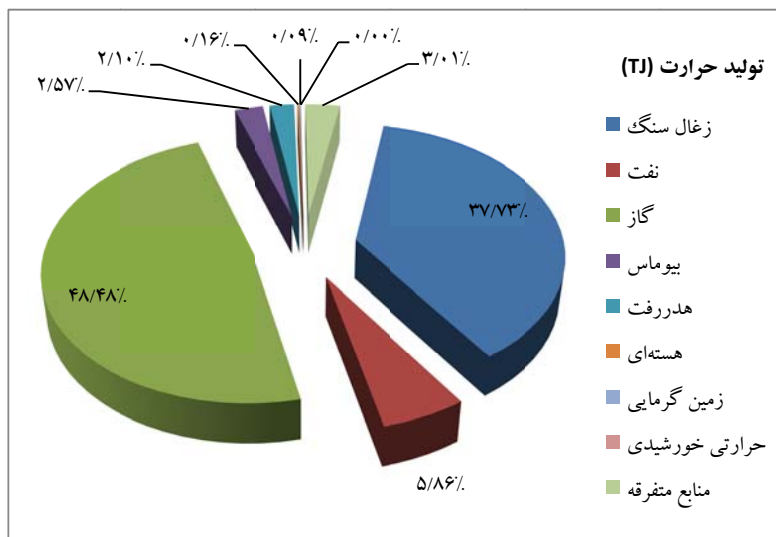
مقدمه

۱.۱ مقدمه

امروزه انرژی‌های بازگشت‌پذیر حدود ۱۹٪ از نیاز اولیه انرژی برق و ۸٪ از نیاز انرژی حرارتی بشر را تامین می‌کنند. انرژی‌های برگشت‌پذیر را می‌توان در دو دسته اصلی طبقه‌بندی نمود. دسته اول که مورد بحث این مطالعه نمی‌باشد شامل مواردی چون توده زنده، هیدرو و غیره و دسته دوم شامل انرژی خورشیدی، بادی، امواج دریا، و انرژی موج می‌باشند که بصورت تقریبی ۱٫۵٪ از نیاز اولیه انرژی الکتریکی و ۵/۲٪ انرژی حرارتی بشر را همان‌گونه که در شکل (۱-۱) و (۲-۱) نشان داده شده است، تامین می‌نمایند. بکارگیری دسته دوم، رشد سریع‌تری داشته بگونه‌ای که استفاده از منابعی چون انرژی خورشیدی، رشد سالیانه حدود ۶٪ را به خود اختصاص داده است. علت رشد گسترده در بکارگیری این منابع انرژی بازگشت‌پذیر را می‌توان در خطرات تغییرات آب و هوایی و صدمه به لایه اوزن، کاهش منابع انرژی‌های فسیلی و افزایش نیاز به منابع انرژی جستجو نمود. حال با توجه به اثرات عمده سیستم‌های تامین انرژی بر کلیه حیطه‌های زندگی بشر از جمله اقتصادی، فرهنگی و غیره، بکارگیری انرژی‌های بازگشت‌پذیر حتی با وجود برخی معایب، می‌تواند راه کار موثری بر فائق آمدن بر مشکلات اشاره شده باشد.



شکل ۱-۱: درصد تولید برق از منابع مختلف (GWh)



شکل ۱-۲: درصد تولید حرارت از منابع مختلف (TJ)

منبع اولیه تمامی انرژی‌های بازگشت‌پذیر (بغیر از انرژی زمین گرمایی) انرژی تابشی خورشید می‌باشد. میزان انرژی خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد $۵,۴ \times ۱۰^{۲۴}$ ژول در هر سال می‌باشد [2]. این در حالی است که طبق برآورد آژانس بین‌المللی انرژی، میزان کل انرژی مورد نیاز در سال ۲۰۰۶، ۱۱۰۰۰ Mteo (میلیون تن معادل نفت خام) تخمین زده شده که نشان می‌دهد میزان انرژی دریافتی از خورشید در سطح زمین ۱۱۵۰۰ مرتبه بیشتر از میزان نیاز انرژی کل دنیا در سال ۲۰۰۶ بوده است [3].

به منظور اینکه انرژی خورشیدی بصورت عملی بکارگرفته شود، بایستی به فرم انرژی‌های قابل استفاده تبدیل گردد. تبدیل انرژی خورشیدی می‌تواند به دو صورت عمده حرارت یا الکتریسته باشد. تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی را می‌توان از طریق تکنولوژی‌های انرژی گرمایی خورشیدی اعم از انواع کلکتورها انجام داد و برای تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسته می‌توان از صفحات فتوولتائیک^۱ بهره برد. انرژی تبدیل شده خورشیدی به انرژی حرارتی یا الکتریسته را می‌توان برای اهداف مختلفی همچون خشک‌کن‌ها^۲، گرمایش، سرمایش، پخت و پز، تولید برق و کمک به شبکه استفاده نمود.

مزایای کلیدی سیستم‌های حرارتی خورشیدی را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود[4]:

- کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی
- افزایش تنوع منابع انرژی
- ذخیره منابع طبیعی
- کاهش میزان CO₂
- کاهش آلاینده‌گی کلان شهرها
- انرژی ارزان و با قابلیت اطمینان بالا
- دسترس پذیری آنی
- دارندگان سیستم‌های خورشیدی هزینه قابل توجه کمتری برای سرمایش و گرمایش پرداخت خواهند نمود.
- اشتغال زایی و رشد اقتصادی
- فنا ناپذیری

^۱ Photovoltaic

^۲ Desiccant

۲.۱ سرمایه‌های خورشیدی^۱

استفاده از سیستم‌های سرمایه‌های خورشیدی، ایده جدیدی نمی‌باشد. قدمت سرمایه‌های غیر فعال^۲ به دوران بسیار دور برمی‌گردد. سرمایه‌های غیرفعال، تامین آسایش به واسطه کاربرد سرمایه‌های تبخیری، اینرسی حرارتی ساختمان، تهویه طبیعی، سایه افکنی^۳ و مجموعه عوامل طبیعی که کمک به سرمایه‌های ساختمان به صورت اصلی یا کمکی می‌نمایند می‌باشد. سرمایه‌های غیر فعال ارتباط مستقیم با معماری ساختمان داشته و طراحی مناسب ساختمان توسط طراح را ایجاب می‌نماید، ولی عموماً سرمایه‌های غیر فعال به تنهایی نمی‌توانند پاسخگوی نیاز آسایشی ساکنین را فراهم آورد و سیستم‌های سرمایه‌های فعال^۴ می‌توانند در تکمیل فرآیند تامین آسایش استفاده گردند.

سیستم‌های سرمایه‌های فعال، پس از بحران نفتی سال ۱۹۷۳ مورد توجه و اهمیت خاصی قرار گرفتند. سیستم‌های سرمایه‌های فعال بواسطه منابع حرارتی به صرفه^۵ تحریک می‌شوند که عموماً منبع خورشیدی و حرارت هدر رفته پروسه‌های صنعتی می‌توانند منابع مورد استفاده برای تحریک یک سیستم‌های فعال خورشیدی محسوب گردند [5].

سردسازی برای حفظ مواد خوراکی و همچنین ایجاد شرایط آسایش سرمایه‌های بواسطه سیستم‌های تهیه مطبوع خورشیدی، دو هدف اصلی برای استفاده از انرژی خورشیدی در کاربردهای سرمایه‌های می‌باشد. استفاده از سیستم‌های سرمایه‌های خورشیدی برای استفاده در این زمینه‌ها آینده بسیار روشنی را در پیش رو دارند چرا که طبق برآورد موسسه بین المللی سرمایه‌های در پاریس حدود ۱۵٪ برق تولیدی در سراسر جهان به مصارف سرمایه‌های می‌رسد.

^۱ Solar cooling

^۲ Passive cooling

^۳ Shading

^۴ Active cooling

^۵ Cost effective heat sources

حال ذکر این نکته قابل توجه است که به واسطه افزایش انتظارات از شرایط آسایش و گرمایش کره زمین و همچنین افزایش روزمره استفاده از تجهیزات برقی و تاثیر آن بر نیاز بار برودتی، این میزان مصرف همواره روبه رشد می‌باشد [6].

در کنار مصرف روبه رشد برق که مستلزم مصرف سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها می‌باشد، اثرات مخرب زیست محیطی مبردهای سیستم‌های سرمایشی مرسوم و آلاینده‌گی ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها نیز به بحرانی جدی تبدیل شده است که استفاده از سیستم‌های سرمایشی خورشیدی می‌تواند بخشی از این مشکلات را حل نماید.

سیستم‌های سرمایش خورشیدی بر اساس نوع انرژی محرک به دو دسته اصلی تقسیم می‌گردند:

سیستم‌های الکتریکی شامل:

- سیستم‌های تراکمی بخار^۱
- سیستم‌های ترمو الکتریک^۲
- سیستم‌های استرلینگ

سیستم‌های حرارتی شامل:

- سیستم‌های جذبی^۳
- سیستم‌های جذب سطحی^۴
- سیستم‌های خشک‌کن

^۱ Vapour compression cooling system

^۲ Thermo-Electric cooling system

^۳ Absorption systems

^۴ Adsorption systems

- سیستم‌های اجکتوری^۱
- سیستم‌های بر پایه سیکل رانکین^۲

سیستم‌های الکتریکی، بر پایه برق تولیدی از صفحات فتوولتائیک کار می‌نمایند. از طرف دیگر سیستم‌های حرارتی از کلکتورهای متنوع خورشیدی برای جذب انرژی خورشیدی بهره می‌برند. سیستم‌های جذب سطحی و خشک‌کن‌ها برای بکارگیری منابع حرارتی دما پایین ($45 - 95^{\circ}\text{C}$) مناسب بوده و سیستم‌های جذبی و سیکل‌های رانکین و اجکتوری در کاربردهایی با دمای تحریک بالاتر ($100 - 350^{\circ}\text{C}$) قابل استفاده می‌باشند [5].

در سالهای اخیر سیستم‌های سرمایش خورشیدی حرارتی در سراسر دنیا بکار گرفته شده‌اند و به منظور کاهش گرمایش کره زمین و همچنین کاهش پیک شبکه های برق، استفاده از این سیستم‌های روند روبه رشدی پیدا نموده است. از میان این سیستم‌ها، سیستم‌های جذبی و جذب سطحی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند که مهمترین علل آن اجزای کمتر، انطباق بیشتر با شرایط آب و هوایی و هزینه پایینتر آنها نسبت به سیستم‌های اجکتوری و خشک‌کن می‌باشند.

مهمترین خصوصیت سیستم‌های سرمایش جذب سطحی، دمای تحریک^۳ پایین آن نسبت به دیگر تکنولوژی‌ها بوده؛ بگونه‌ای که با کمترین دما (50°C) جذب خود را احیاء نموده و آماده عمل در نیم‌سیکل بعدی خود می‌شود [7]. از دیگر مزایای سیستم‌های جذب سطحی از دیدگاه محیط زیست می‌باشد که مبردهای استفاده شده (همچون آب) کاملاً طبیعی و خالی از CFC ها بوده و در نتیجه پتانسیل تخریب لایه اوزون صفر را دارا می‌باشند. علاوه بر این مبردهای مورد استفاده در این سیستم با پروتکل کی‌وتو در زمینه گرمایش کره زمین، معاهده

¹ Ejector

² Rankine

³ Driving temperature

وین در مورد محافظت از لایه اوزون (۱۹۸۵) و پروتکل مونترئال^۱ در مورد مواد تخلیه‌کننده لایه اوزون (۱۹۸۷) تطابق کامل دارند [8].

۳.۱ اهداف این پایان نامه

در این پایان نامه کارکرد یک سیستم سرمایش خورشیدی مطرح خواهد شد و توصیفی از سیستم تهویه هوا و مدهای مختلف موجود در این پروسه ارائه می‌گردد. چگونگی کنترل این سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد و دو کنترل‌کننده نظارتی و کنترل بهینه هیبریدی پیاده‌سازی می‌شود و نمودارهای هر یک با دیگری مقایسه خواهند شد. هدف اصلی در کنترل سیستم تهویه هوای خورشیدی تثبیت دمای خروجی تبخیرکننده در دمای ۱۵ درجه می‌باشد. علاوه بر آن تا حد امکان می‌بایست از مصرف گازهیتر نیز خودداری شود.

در فصول بعد ابتدا سیستم تهویه هوای خورشیدی توصیف می‌شود و عملکرد اجزای تولیدکننده یا ذخیره‌کننده انرژی بیان خواهد شد، در ادامه مدل هیبریدی برای سیستم تهویه هوای خورشیدی بیان خواهد شد و کنترل‌کننده انجام شده روی سیستم مطرح می‌شود و در نهایت کنترل‌کننده بهینه برای بهبود پاسخ سیستم ارائه خواهد شد.

¹ Montreal