بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مکامیک

گرایش تبدیل انرژی

مدل‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک/حرارتی (PV/T) هوایی در حالت اتصال مستقیم فن‌ها و پنل‌ها

مولف

امین شهسوار

استاد راهنما :

دکتر مهران عامری

شهریور ۱۳۸۸

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این پایان نامه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

تشکر و قدردانی:

اعتراف می‌کنم که نه زبان شکر تو را دارم و نه توان تشکر از بندگان تو، و اما بر حسب وظیفه بر خود لازم می‌دانم از مهربان‌ترین استاد زندگانیم، جناب آقای دکتر مهران عامری که هرگز مرا از خوان بی دریغ اندوخته‌های خویش محروم نگذاشته و همواره رهین محبتهای پدرانه ایشان بوده و خواهم بود، صمیمانه قدردانی نمایم.

اگر در این پایان‌نامه نقاط قوتی وجود دارد مرهون راهنمایی‌های ارزنده استاد ارجمند و مهربانم دکتر مهران عامری بوده، و مسئولیت کلیه ضعف‌ها و لغزش‌ها به عهده اینجانب است. اگرچه جور استاد هرگز بهتر از مهر پدر نیست: اما مهر استاد می‌تواند با مهر پدری برابری کند.

از کلیه اساتید ارجمندم در طول سالهای به یاد ماندنی شاگردیشان تشکر می‌نمایم. از اساتید ارجمند آقایان دکتر عامری، منصوری، مهرابیان، سعیدی، گنجعلیخان‌نسب و دکتر حاج عباسی که در این دوران تحصیل مشوق اینجانب بوده و همواره از ایده‌های خوب آنان بهره‌مند گردیده‌ام، خاضعانه سپاسگزارم.

و در پایان از پدر، مادر و همه فرشتگانی که بالهای محبت خود را گسترانیدند و با تحمل دشواری‌ها، سبب شدند تا در کمال آسودگی خیال و فراغت بال، شوق آموختن در من زنده بماند صمیمانه سپاسگزارم و این نیست جز جلوه‌ای از لطف و رحمت پرودگاری که از ادای شکر حتی یک نعمت او ناتوانم.

چکیده

پنل‌های فتوولتائیک بخش کمی از تابش خورشیدی جذب شده را به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و مابقی آن را به صورت انرژی حرارتی، که باعث بالا رفتن دمای پنل و کاهش راندمان الکتریکی آن می‌شود، تلف می‌کنند. سیستم‌های فتوولتائیک/حرارتی (PV/T) این انرژی حرارتی را احیا کرده و مورد استفاده قرار می‌دهند. در این تکنولوژی خنک‌کاری پنل فتوولتائیک و افزایش راندمان با یکدیگر مقارن شده است. استفاده از آب و هوا برای خنک‌کاری پنل‌های فتوولتائیک رایج است. در سیستم‌های فتوولتائیک/حرارتی هوایی برای تامین انرژی مورد نیاز فن‌ها از یکی از منابع زیر استفاده می‌شود:

۱- برق مستقیم شهری

۲- باتری‌هایی که توسط سیستم فتوولتائیک شارژ می‌شوند

۳- استفاده مستقیم از پنل فتوولتائیک

در این تحقیق سیستم‌های فتوولتائیک/حرارتی هوایی که در آنها انرژی مورد نیاز فن‌ها با استفاده مستقیم از پنل‌های فتوولتائیک تامین می‌شود، برای حالت‌های با سرپوش شیشه‌ای و بدون آن مدل‌سازی شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. اثرات قرار دادن سرپوش شیشه‌ای بر پارامترهای مختلف سیستم نیز بررسی شده است. همچنین تاثیر قرار دادن کلکتور حرارتی،تغییر عمق کانال عبور هوا و نحوه چیدمان پنل‌ها، بر روی مشخصات سیستم، مورد بررسی قرار گرفته است. ویژگی این تحقیق نسبت به تمامی کارهای قبلی انجام شده این است که انرژی مورد نیاز فن‌ها به طور مستقیم از پنل‌های فتوولتائیک گرفته می‌شود. در صورتی که در سیستم‌های مشابه، انرژی ذکر شده از باتری که توسط سیستم فتوولتائیک شارژ شده و یا از برق مستقیم شهری گرفته شده است. پس در این تحقیق بر خلاف کارهای قبلی، دبی جرمی

هوا و تمامی پارامترهای مرتبط با دبی جرمی هـوا تـابعی از شـدت تـابش خورشـیدی و دمـای محیط می‌باشند که در طول روز متغیر هستند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ انرژی خورشیدی ۲

۱-۲ سیستم‌های فتوولتائیک ۴

۱-۳ سیستم‌های فتوولتائیک/حرارتی ۸

۱-۴ تاریخچه تحقیقات قبلی ۱۰

۱-۵ اهداف تحقیق ۱۵

فصل دوم: سیستم‌های فتوولتائیک

۲-۱ مقدمه ۱۷

۲-۲ ساختار سیستم‌های فتوولتائیک ۱۷

۲-۳ مدل‌سازی پنل‌های فتوولتائیک ۲۰

۲-۳-۱ رابطه ولتاژ و جریان در پنل‌های فتوولتائیک ۲۱

۲-۳-۲ مدل‌های پیش‌بینی دمای پنل‌های فتوولتائیک ۲۸

۲-۳-۲-۱ مدل عملکرد الکتریکی ارائه شده توسط *SNL* ۲۸

۲-۳-۲-۲ مدل عملکرد الکتریکی ارائه شده توسط *NOCT* ۲۸

۲-۳-۲-۳ مدل عملکرد الکتریکی ارائه شده توسط *NIST* ۲۹

۲-۴ سیستم‌های فتوولتائیک اتصال مستقیم ۳۰

۲-۴-۱ تعیین نقطه عملکرد مجموعه پنل فتوولتائیک و بار مقاومتی ۳۰

۲-۴-۲ تعیین نقطه عملکرد مجموعه پنل فتوولتائیک، بار الکتریکی و باتری ۳۱

۲-۴-۳ تعیین نقطه عملکرد مجموعه پنل فتوولتائیک و فن ۳۳

فصل سوم: معرفی سیستم فتوولتائیک/حرارتی مورد بررسی

۳-۱ مقدمه ۳۶

۳-۲ طراحی و ساخت سیستم فتوولتائیک/حرارتی ۳۶

۳-۳ آزمایش‌ها ۳۹

فصل چهارم: معادلات حاکم

۴-۱ مقدمه ۴۱

۴-۲ معادلات بقای انرژی ۴۱

۴-۳ راندمان الکتریکی پنل فتوولتائیک ۴۳

۴-۴ ضرایب اتلاف حرارتی ۴۳

۴-۵ ضرایب انتقال حرارت جابجایی ۴۴

۴-۶ ضرایب انتقال حرارت تابشی ۴۶

۴-۷ محاسبه دبی جرمی ۴۶

۴-۷-۱ جابجایی آزاد ۴۶

۴-۷-۲ جابجایی اجباری ۴۹

۴-۷-۲-۱ آزمایش با ۸ فن و بدون بار مقاومتی ۴۹

۴-۷-۲-۲ آزمایش با ۲، ۴ و ۸ فن همراه با بار مقاومتی ۵۱

فصل پنجم: ارزیابی نتایج

۵-۱ مقدمه ۵۳

۵-۱-۱ راندمان حرارتی ۵۳

۵-۱-۲ راندمان الکتریکی ۵۴

۵-۱-۳ راندمان مجموع ۵۴
۵-۱-۴ راندمان کل ۵۴
۵-۲ آزمایش جابجایی آزاد با بار مقاومتی ۵۵
۵-۳ آزمایش با ۲ فن و بار مقاومتی ۶۰
۵-۴ نتیجه‌گیری ۶۶
۵-۵ مقایسه پارامترهای مختلف سیستم فتوولتائیک/حرارتی مورد بررسی در یک مقدار تشعشع ثابت ۶۶

فصل ششم: بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد سیستم

۶-۱ مقدمه ۷۵
۶-۲ بررسی تأثیر قرار دادن کلکتور حرارتی بر روی مشخصات سیستم ۷۵
۶-۲-۱ آزمایش جابجایی آزاد با بار مقاومتی ۷۷
۶-۲-۲ آزمایش جابجایی اجباری با ۲ فن و بار مقاومتی ۸۱
۶-۲-۳ مقایسه آزمایش‌های مختلف ۸۵
۶-۳ بررسی تأثیر افزایش عمق کانال عبور هوا بر روی مشخصات سیستم ۸۷
۶-۳-۱ آزمایش جابجایی آزاد با بار مقاومتی ۸۸
۶-۳-۲ آزمایش جابجایی اجباری با ۲ فن و بار مقاومتی ۹۴
۶-۳-۳ مقایسه آزمایش‌های مختلف ۱۰۰
۶-۴ بررسی تأثیر نحوه چیدمان پنل‌ها بر روی مشخصات سیستم ۱۰۸
۶-۴-۱ مقایسه چیدمان‌های مختلف ۲ پنل فتوولتائیک ۱۱۰
۶-۴-۱-۱ آزمایش جابجایی آزاد با بار مقاومتی ۱۱۰
۶-۴-۱-۲ آزمایش جابجایی اجباری با ۲ فن و بار مقاومتی ۱۱۴

۶-۴-۱-۳ مقایسه آزمایش‌های مختلف ۱۱۸
۶-۴-۲ مقایسه چیدمان‌های مختلف ۴ پنل فتوولتائیک ۱۲۰

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷-۱ نتیجه‌گیری ۱۲۵
۷-۲ پیشنهادات ۱۲۶
فهرست منابع ۱۲۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ مشخصات فنی پنل‌های به کار گرفته شده در سیستم مورد بررسی ۲۷

جدول ۲-۲ پارامترهای حرارتی مورد استفاده برای پیش‌بینی دمای انواع متداول پنل‌ها ۲۷.

جدول ۵-۱ دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌های سیستم برای حالت با سرپوش شیشه‌ای آزمایش‌های مختلف ۶۷

جدول ۵-۲ دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌های سیستم برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای آزمایش‌های مختلف ۶۷

جدول ۶-۱ پارامترهای مهم سیستم مورد بررسی با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در ساعت ۱۲:۳۰ کلیه آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۸۶

جدول ۶-۲ پارامترهای مهم سیستم مورد بررسی با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در ساعت ۱۲:۳۰ کلیه آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۸۷

جدول ۶-۳ پارامترهای مهم سیستم مورد بررسی برای چیدمان‌های مختلف ۲ پنل فتوولتائیک در ساعت ۱۲:۳۰ کلیه آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۱۱۹

جدول ۶-۴ پارامترهای مهم سیستم مورد بررسی برای چیدمان‌های مختلف ۲ پنل فتوولتائیک در ساعت ۱۲:۳۰ کلیه آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۱۲۰

جدول ۶-۵ پارامترهای مهم سیستم مورد بررسی برای چیدمان‌های مختلف ۴ پنل فتوولتائیک در ساعت ۱۲:۳۰ کلیه آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای..... ۱۲۳
جدول ۶-۶ پارامترهای مهم سیستم مورد بررسی برای چیدمان‌های مختلف ۴ پنل فتوولتائیک در ساعت ۱۲:۳۰ کلیه آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای..... ۱۲۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ یک سلول خورشیدی ۵

شکل ۱-۲ یک نمونه سیستم فتوولتائیک/حرارتی خورشیدی ۹

شکل ۱-۳ نحوه نصب سیستم فتوولتائیک/حرارتی بر روی بام ساختمان‌ها ۹

شکل ۱-۴ ساختمان با نمای سیستم فتوولتائیک/حرارتی ۱۰

شکل ۲-۱ پتانسیل برق خورشیدی با استفاده از فن‌آوری فتوولتائیک ۱۷

شکل ۲-۲ اجزای مختلف سیستم فتوولتائیک ۱۸

شکل ۲-۳ ساختار یک سلول خورشیدی ۱۹

شکل ۲-۴ ساختار پنل خورشیدی ۲۰

شکل ۲-۵ مدار معادل یک سلول خورشیدی ۲۲

شکل ۲-۶ منحنی جریان- ولتاژ و توان- ولتاژ برای یک پنل فتوولتائیک ۲۳

شکل ۲-۷ منحنی مشخصه پنل فتوولتائیک برای سطوح تابش متغیر ۲۳

شکل ۲-۸ منحنی مشخصه آرایه فتوولتائیک برای حالت‌های مختلف ترکیب شدن پنل‌های فتوولتائیک ۲۴

شکل ۲-۹ تأثیر دما بر منحنی مشخصه پنل فتوولتائیک ۲۵

شکل ۲-۱۰ نحوه تغییر بار مقاومتی بهینه در طول روز برای سه نمونه شدت تابش ۳۱

شکل ۲-۱۱ آرایه فتوولتائیک همراه با بار الکتریکی و باتری موازی ۳۲

شکل ۲-۱۲ منحنی مشخصه مجموعه پنل، بار الکتریکی و باتری ۳۲

شکل ۲-۱۳ منحنی ولتاژ بر حسب وضعیت شارژ برای باتری ۱۲ ولتی ۳۳

شکل ۲-۱۴ منحنی مشخصه مجموعه پنل و فن ۳۴

شکل ۳-۱ بدنه اصلی سیستم فتوولتائیک/حرارتی مورد بررسی ۳۶
شکل ۳-۲ محل قرار گرفتن کلکتور در بدنه سیستم فتوولتائیک/حرارتی مورد بررسی ۳۷
شکل ۳-۳ محل قرار گرفتن پنل‌های فتوولتائیک در بدنه سیستم فتوولتائیک/حرارتی مورد بررسی ۳۸
شکل ۳-۴ محل قرار گرفتن فن‌ها در بدنه سیستم فتوولتائیک/حرارتی مورد بررسی..... ۳۸
شکل ۳-۵ سیستم فتوولتائیک/حرارتی مورد بررسی ۳۹
شکل ۴-۱ اجزای مختلف سیستم مورد بررسی و کلیه ضرایب انتقال حرارت..... ۴۱
شکل ۴-۲ مقطع عرضی سیستم فتوولتائیک/حرارتی هوایی ۴۷
شکل ۴-۳ منحنی هد- دبی فن‌های به کار گرفته شده در سیستم مورد بررسی..... ۵۰
شکل ۵-۱ شدت تابش برخوردی به پنل‌ها در طول روز ۵۵
شکل ۵-۲ مجموع دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌های بالا و پایین سیستم در طول روز..... ۵۶
شکل ۵-۳ ولتاژ تولید شده توسط پنل‌ها در طول روز ۵۶
شکل ۵-۴ جریان تولید شده توسط پنل‌ها در طول روز..... ۵۷
شکل ۵-۵ دمای اجزای مختلف سیستم در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای.... ۵۷
شکل ۵-۶ دمای اجزای مختلف سیستم در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای..... ۵۸
شکل ۵-۷ راندمان حرارتی سیستم در طول روز..... ۵۸
شکل ۵-۸ راندمان الکتریکی سیستم در طول روز..... ۵۹
شکل ۵-۹ راندمان مجموع سیستم در طول روز ۵۹
شکل ۵-۱۰ راندمان کل سیستم در طول روز..... ۶۰

شکل ۵-۱۱ شدت تابش برخوردی به پنل‌ها در طول روز..... ۶۰
شکل ۵-۱۲ مجموع دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌های بالا و پایین سیستم در طول روز..... ۶۱
شکل ۵-۱۳ ولتاژ تولیدی سیستم در طول روز..... ۶۱
شکل ۵-۱۴ جریان مصرفی فن‌ها در طول روز..... ۶۲
شکل ۵-۱۵ جریان مصرفی بار در طول روز..... ۶۲
شکل ۵-۱۶ دمای اجزای مختلف سیستم در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای..۶۳
شکل ۵-۱۷ دمای اجزای مختلف سیستم در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای..... ۶۳
شکل ۵-۱۸ راندمان حرارتی سیستم در طول روز..... ۶۴
شکل ۵-۱۹ راندمان الکتریکی سیستم در طول روز..... ۶۴
شکل ۵-۲۰ راندمان مجموع سیستم در طول روز..... ۶۵
شکل ۵-۲۱ راندمان کل سیستم در طول روز..... ۶۵
شکل ۵-۲۲ دمای پنل فتوولتائیک و دمای هوای عبوری از کانال بالای سیستم مورد بررسی برای حالت با سرپوش شیشه‌ای آزمایش‌های مختلف در مقدار تشعشع ثابت ۶۹
شکل ۵-۲۳ دمای پنل فتوولتائیک و دمای هوای عبوری از کانال بالای سیستم مورد بررسی برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای آزمایش‌های مختلف در مقدار تشعشع ثابت..... ۶۹
شکل ۵-۲۴ راندمان حرارتی و راندمان الکتریکی سیستم مورد بررسی برای حالت با سرپوش شیشه‌ای آزمایش‌های مختلف در مقدار تشعشع ثابت..... ۷۱
شکل ۵-۲۵ راندمان حرارتی و راندمان الکتریکی سیستم مورد بررسی برای حالت

بدون سرپوش شیشه‌ای آزمایش‌های مختلف در مقدار تشعشع ثابت ۷۱
شکل ۵-۲۶ راندمان مجموع و راندمان کل سیستم مورد بررسی برای حالت با سرپوش شیشه‌ای آزمایش‌های مختلف در مقدار تشعشع ثابت ۷۳
شکل ۵-۲۷ راندمان مجموع و راندمان کل سیستم مورد بررسی برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای آزمایش‌های مختلف در مقدار تشعشع ثابت ۷۳
شکل ۶-۱ شرایط محیطی اندازه‌گیری شده در روز آزمایش جابجایی اجباری با ۲ فن و بار مقاومتی ۷۵
شکل ۶-۲ نحوه تغییر دبی جرمی سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای ۷۷
شکل ۶-۳ نحوه تغییر دبی جرمی سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۷۷
شکل ۶-۴ نحوه تغییر دمای پنل فتوولتائیک و دمای هوای خروجی از کانال سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای ۷۸
شکل ۶-۵ نحوه تغییر دمای پنل فتوولتائیک و دمای هوای خروجی از کانال سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۷۸
شکل ۶-۶ نحوه تغییر راندمان حرارتی و راندمان الکتریکی سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای ۷۹
شکل ۶-۷ نحوه تغییر راندمان حرارتی و راندمان الکتریکی سیستم با کلکتور حرارتی

(TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۷۹
شکل ۶-۸ نحوه تغییر راندمان مجموع و راندمان کل سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای ۸۰
شکل ۶-۹ نحوه تغییر راندمان مجموع و راندمان کل سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۸۰
شکل ۶-۱۰ نحوه تغییر دبی جرمی سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای ۸۱
شکل ۶-۱۱ نحوه تغییر دبی جرمی سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۸۱
شکل ۶-۱۲ نحوه تغییر دمای پنل فتوولتائیک و دمای هوای خروجی از کانال سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای ۸۲
شکل ۶-۱۳ نحوه تغییر دمای پنل فتوولتائیک و دمای هوای خروجی از کانال سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۸۲
شکل ۶-۱۴ نحوه تغییر راندمان حرارتی و راندمان الکتریکی سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای ۸۳
شکل ۶-۱۵ نحوه تغییر راندمان حرارتی و راندمان الکتریکی سیستم با کلکتور حرارتی

(TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۸۳
شکل ۶-۱۶ نحوه تغییر راندمان مجموع و راندمان کل سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت با سرپوش شیشه‌ای ۸۴
شکل ۶-۱۷ نحوه تغییر راندمان مجموع و راندمان کل سیستم با کلکتور حرارتی (TMS) و بدون کلکتور حرارتی (REF) در طول روز برای حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۸۴
شکل ۶-۱۸ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌ها در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۸۸
شکل ۶-۱۹ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌ها در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۸۹
شکل ۶-۲۰ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی دمای هوای عبوری از کانال‌ها در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۸۹
شکل ۶-۲۱ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی دمای هوای عبوری از کانال‌ها در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۰
شکل ۶-۲۲ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان حرارتی سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۰
شکل ۶-۲۳ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان حرارتی سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۱
شکل ۶-۲۴ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان الکتریکی سیستم در حالت با

سرپوش شیشه‌ای ۹۱
شکل ۶-۲۵ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان الکتریکی سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۲
شکل ۶-۲۶ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان مجموع سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۲
شکل ۶-۲۷ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان مجموع سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۳
شکل ۶-۲۸ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان کل سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۳
شکل ۶-۲۹ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان کل سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۴
شکل ۶-۳۰ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌ها در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۴
شکل ۶-۳۱ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌ها در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۵
شکل ۶-۳۲ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی دمای هوای عبوری از کانال‌ها در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۵
شکل ۶-۳۳ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی دمای هوای عبوری از کانال‌ها در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۶
شکل ۶-۳۴ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان حرارتی سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۶

شکل ۶-۳۵ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان حرارتی سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۷
شکل ۶-۳۶ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان الکتریکی سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۷
شکل ۶-۳۷ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان الکتریکی سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۸
شکل ۶-۳۸ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان مجموع سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۸
شکل ۶-۳۹ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان مجموع سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۹۹
شکل ۶-۴۰ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان کل سیستم در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۹۹
شکل ۶-۴۱ تأثیر عمق کانال عبور هوا بر روی راندمان کل سیستم در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۱۰۰
شکل ۶-۴۲ تأثیر افزایش عمق کانال عبور هوای بر روی دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌ها برای آزمایش‌های مختلف در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۱۰۱
شکل ۶-۴۳ تأثیر افزایش عمق کانال عبور هوای بر روی دبی جرمی هوای عبوری از کانال‌ها برای آزمایش‌های مختلف در حالت بدون سرپوش شیشه‌ای ۱۰۲
شکل ۶-۴۴ تأثیر افزایش عمق کانال عبور هوای بر روی دمای پنل فتوولتائیک برای آزمایش‌های مختلف در حالت با سرپوش شیشه‌ای ۱۰۲
شکل ۶-۴۵ تأثیر افزایش عمق کانال عبور هوای بر روی دمای پنل فتوولتائیک برای