به نام حضرت دوست

که هر آنچه هست از اوست

۱۰۸۸۴۴

۸۷/۱/۱۰۶۸۴۰
۸۷/۱/۱۶

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

طراحی، ساخت و آزمایش جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی خورشیدی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر مهران عامری

۱۳۸۷/۱۲/۲۷

مؤلف:

محمدمهدی محمودآبادی

شهریور ۸۷

۱۰۸۸۴۴

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مکانیک

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : محمد مهدی محمود آبادی

استاد راهنما : آقای دکترمهران عامری

داور ۱ : آقای دکتر سید حسین منصوری

داور ۲ : آقای دکتر مظفر علی مهرابیان

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: آقای دکترعلیرضا سعیدی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه است

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به بزرگترین آرزویم...

تقدیم به پدر و مادرم

تقدیم به برادرم و خانواده ایشان

که همواره برایم مظهر پاکی، فداکاری و ایثارند.

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش حکیم راستین و دانای حقیقی را که ره توشهٔ دانش در کوله بار اشرف آفریدگان خویش نهاد و با کرامت علم الاسماء او را شایستگی مقام خلیفه الهی ارزانی داشت.

سپاس همه معلمان صدیق و راهنمایان پاک بشر را که ظلمت جهل و کوره راه شقاوت به شاهراه علم و حقیقتش رهنمون گشتند.

سپاس همه آنان را که خوشه چین خرمن معرفتشان بوده ام و آموختن را به گونه ای مدیون فضل و کرم آنانم.

سپاس ویژه استاد راهنمایم جناب آقای دکتر مهران عامری که الگوی فروتنی و مهربانی و نیک سیرتی توأم با دانش و آگاهی است و هرگز مرا از خوان بی دریغ اندوخته های خویش محروم نگذاشته و رهین محبتهای پدرانه ایشان بوده و خواهم بود.

سپاس همه دوستان صدیق و مهربان بویژه جناب آقای امین شهسوار که از هیچ کوششی در جهت یاری بنده فرو گذار نکرده اند.

چکیده:

نیاز مبرم انسان امروزی به استفاده از سوخت‌های مختلف و آلودگی محیط زیست که ناشی از استفاده نادرست و بی‌رویه از این منابع سوختی است، نسل امروز را به چاره‌اندیشی برای حل این مشکل قبل از پایان یافتن ذخایر انرژی واداشته است. در راستای تلاش‌های انجام شده وسایل مختلفی که با انرژی خورشیدی کار می‌کنند ساخته شده است که یکی از آنها جمع کننده فتوولتاییک-حرارتی خورشیدی (PV/T) است. انرژی خورشیدی یکی از ارزشمندترین انرژی‌ها است که می‌تواند سهم زیادی از انرژی مورد نیاز دنیا را تامین کند. کاربردهای اصلی انرژی خورشیدی در جمع کننده‌های خورشیدی جهت تولید انرژی حرارتی و پانل‌های فتوولتاییک جهت تولید انرژی الکتریکی از انرژی خورشیدی می‌باشد. در طول تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریکی در پانل فتوولتاییک، مقدار زیادی انرژی حرارتی بر اثر افزایش دمای پانل فتوولتاییک تولید می‌شود. بر اثر افزایش دمای سطح پانل فتوولتاییک راندمان الکتریکی آن کاهش می‌یابد. این حرارت تولیدی توسط پانل مانع افزایش راندمان الکتریکی آن شده و نهایتاً بخشی از آن با انتقال به هوای محیط هدر می‌رود. این انرژی را می‌توان با جمع کردن در سیستم حرارتی و فتوولتاییک در یک مجموعه جمع کننده فتوولتاییک-حرارتی مهار کرد و باعث افزایش راندمان الکتریکی و حرارتی شد و انرژی زیادی بر واحد سطح تولید کرد. در این پایان نامه یک جمع کننده فتوولتاییک-حرارتی طراحی، ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است. فن‌های این (PV/T) بر خلاف مدل‌های قبلی بطور مستقیم از پانل‌های فتوولتاییک تغذیه می‌شود و دبی جرمی به علت تغییر تشعشع در طول روز متغیر می‌باشد و در نتیجه جریان غیر دایم ایجاد می‌نماید. این جمع کننده فتوولتاییک-حرارتی در ۱۲ حالت آزمایش شده و نتایج آن بصورت غیر دائم در دو حالت با سرپوش شیشه‌ای و بدون سرپوش شیشه‌ای ارائه شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ تاریخچه انرژی خورشیدی ۲

۱-۲ انرژی‌های تجدید پذیر ۵

۱-۲-۱ انرژی خورشید ۸

۱-۲-۱-۱ کاربردهای انرژی خورشید ۸

۱-۲-۱-۱-۱ کاربردهای نیروگاهی ۹

۱-۲-۱-۱-۲ کاربردهای غیر نیروگاهی ۱۶

۱-۲-۱-۱-۳ سیستم‌های فتوولتائیک ۲۰

۱-۲-۲ انرژی بادی ۲۵

۱-۲-۲-۱ توان پتانسیل توربین ۲۵

۱-۲-۲-۲ بهره بردرای از برق بادی ۲۷

۱-۲-۳ انرژی زمین گرمایی ۳۰

۱-۲-۳-۱ نیروگاه زمین گرمایی تبخیر آنی ۳۱

۱-۲-۳-۲ نیروگاه زمین گرمایی با چرخه دو مداره (باینری) ۳۱

۱-۳ جمع کننده فتوولتاییک حرارتی ۳۲

۱-۴ تاریخچه تحقیقاتی قبلی ۳۵

۱-۵ اهداف تحقیق ۳۹

فصل دوم: سیستم‌های فتوولتاییک

۲-۱ مقدمه ۴۲

۲-۲ ساختار سیستم‌های فتوولتاییک ۴۳
۲-۲-۱ پانل‌های فتوولتاییک ۴۴
۲-۳ مدل سازی پانل‌های فتوولتاییک ۴۹
۲-۳-۱ مدل سازی پانل با استفاده از پارامترهای مشخصه ۵۰
۲-۳-۲ پارامترهای مشخصه در دماهای مختلف ۵۵
۲-۳-۲-۱ مدل پیش بینی دمای پانل ۵۷
۲-۳-۳ پارامترهای مشخصه در دما و تابش سطح مختلف ۵۸
۲-۳-۴ پارامترهای مشخصه در دما، تابش سطح و شرایط آب هوایی مختلف ۵۹
۲-۳-۵ نتیجه گیری ۶۲
۲-۴ خلاصه فصل ۶۳

فصل سوم: جمع کننده فتوولتاییک – حرارتی

۳-۱ مقدمه ۶۵
۳-۲ جمع کننده فتوولتاییک – حرارتی (PV/T) ۶۵
۳-۳ تقسیم بندی سیستماتیک جمع کننده فتوولتاییک – حرارتی ۶۶
۳-۴ طراحی و ساخت جمع کننده فتوولتاییک – حرارتی ۶۹
۳-۴-۱ مقدمه ۶۹
۳-۴-۲ جزییات طراحی و ساخت ۶۹
۳-۴-۲-۱ طراحی و ساخت جمع کننده فتوولتاییک – حرارتی ۷۰
۳-۴-۲-۲ ابزار دقیق و اندازه گیری پارامترها ۷۵
۳-۵ کالیبراسیون ۷۷

فصل چهارم: آزمایش‌ها

۴-۱ مقدمه ۷۹

۴-۲ روش آزمایش ۷۹
۴-۳ آزمایش‌ها با سرپوش شیشه‌ای ۷۹
۴-۳-۱ روند آزمایش‌ها ۸۰
۴-۳-۱-۱ آزمایش با استفاده از هشت فن و ریگلاتور ۸۲
۴-۳-۱-۲ آزمایش با استفاده از هشت فن، بدون ذخیره سازی انرژی درون باطری ۸۶
۴-۳-۱-۳ آزمایش با استفاده از چهار فن و باطری ۹۰
۴-۳-۱-۴ آزمایش با استفاده از دو فن و باطری ۹۴
۴-۳-۱-۵ آزمایش با هشت فن و باطری ۹۸
۴-۳-۱-۶ آزمایش جابجایی آزاد (بدون فن) و باطری ۱۰۲
۴-۳-۲ بحث در مورد آزمایش‌های با سرپوش شیشه‌ای ۱۰۶
۴-۴آزمایش‌های بدون سرپوش شیشه‌ای ۱۰۷
۴-۴-۱ روند آزمایش ۱۰۷
۴-۴-۱-۱ آزمایش با هشت فن با استفاده از ریگلاتور ۱۰۸
۴-۴-۱-۲ آزمایش با هشت فن و بدون ذخیره سازی انرژی درون باطری ۱۱۲
۴-۴-۱-۳ آزمایش با چهار فن و باطری ۱۶۶
۴-۴-۱-۴ آزمایش با دو فن و باطری ۱۲۰
۴-۴-۱-۵ آزمایش با هشت فن و باطری ۱۲۴
۴-۴-۱-۶ آزمایش جابجایی آزاد (بدون فن) و باطری ۱۲۸
۴-۴-۲ بحث در مورد آزمایش‌های بدون سرپوش شیشه‌ای ۱۳۲
۴-۵ نتیجه‌گیری ۱۳۲

فصل پنجم: ارزیابی نتایج

۵-۱ مقدمه ۱۳۴

۵-۲ راندمان حرارتی جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۱۳۴

۵-۲-۱ ارزیابی راندمان حرارتی جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۱۳۵

۵-۳ راندمان الکتریکی جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۱۳۷

۵-۳-۱ ارزیابی راندمان الکتریکی جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۱۳۷

۵-۴ راندمان مجموع جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۱۳۹

۵-۴-۱ ارزیابی راندمان مجموع جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۱۳۹

۵-۵ راندمان کل جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۱۴۱

۵-۵-۱ ارزیابی راندمان کل جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۱۴۱

۵-۶ مقایسه راندمان های جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی در حالت با سرپوش و بدون سرپوش شیشه‌ای ۱۴۳

۵-۷ ارزیابی راندمان‌های جمع کننده فتوولتاییک حرارتی در یک مقدار تشعشع ثابت... ۱۴۶

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه‌گیری ۱۵۲

۶-۲ پیشنهادات ۱۵۳

فهرست منابع ۱۵۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ توان بادی نصب شده به مگاوات در کشورهای دنیا ۲۹

جدول ۲-۱ پارامترهای اندازه گیری شده عملکرد الکتریکی مدل ۵۶

جدول ۲-۲ پارامترهای حرارتی مدل برای چند نوع پانل با چندین نوع مونتاژ ۵۷

جدول ۳-۱ مشخصات فنی پانل‌های فتوولتاییک ۷۱

جدول ۴-۱ مراحل آزمایش‌های انجام شده با سرپوش شیشه‌ای ۸۰

جدول ۴-۲ پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش هشت فن با ریگلاتور و سرپوش شیشه‌ای (۵ جولای یا ۱۵ تیر) ۸۲

جدول ۴-۳ پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش هشت فن، بدون ذخیره‌سازی انرژی درون باطری با سرپوش شیشه ای (۱۵ جولای یا ۲۵ تیر) ۸۶

جدول ۴-۴ پارامترهای اندازه گیری شده آزمایش چهار فن و باطری با سرپوش شیشه‌ای (۲۲ جولای یا یکم مرداد) ۹۰

جدول۴-۵: پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش دو فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای (۲۳ جولای یا دوم مرداد) ۹۴

جدول۴-۶: پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش هشت فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای (۲۶ جولای یا پنجم مرداد) ۹۸

جدول۴-۷ پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش جابجایی آزاد و باطری، با سرپوش شیشه‌ای(۲۷ جولای یا ششم مرداد) ۱۰۲

جدول ۴-۸: مراحل آزمایش‌های انجام شده بدون سرپوش شیشه‌ای ۱۰۷

جدول ۴-۹: پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش هشت فن با ریگلاتور و بدون سرپوش شیشه‌ای(۱۲ جولای یا ۲۲ تیر) ۱۰۸
جدول ۴-۱۰: پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش هشت فن، بدون ذخیره سازی انرژی درون باطری و بدون سرپوش شیشه‌ای (۱۶ جولای یا ۲۶ تیر) ۱۱۲
جدول ۴-۱۱: پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش چهار فن و باطری بدون سرپوش شیشه‌ای(۲۱ جولای یا سی و یکم تیر) ۱۱۶
جدول۴-۱۲: پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش دو فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای (۲۴ جولای یا سوم مرداد) ۱۲۰
جدول۴-۱۳: پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش هشت فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای(۲۵جولای یا چهارم مرداد) ۱۲۴
جدول۴-۱۴: پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش جابجایی آزاد و باطری با سرپوش شیشه‌ای(۲۸ جولای یا هفتم مرداد) ۱۲۸
جدول ۵-۱: دبی جرمی هوا (آزمایش‌های هشت فن و بدون باطری، هشت فن با باطری، چهار فن با باطری، دو فن با باطری و جابجایی آزاد با باطری) در حالت با سرپوش شیشه‌ای و بدون سرپوش شیشه‌ای ۱۴۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ یک فروند هواپیمای آزمایشی خورشیدی ناسا..... ۹

شکل ۱-۲ یک نیروگاه در نیومکزیکو..... ۱۲

شکل ۱-۳ سیستم انعکاسی استرلینگ اداره برق ایالت آریزونا در آمریکا..... ۱۴

شکل ۱-۴ خانه خورشیدی شماره ۱ MIT، ساخته شده در سال ۱۹۳۹ ..... ۱۷

شکل ۱-۵ خشک کن خورشیدی ساخته شده در بخش مهندسی مکانیک ۱۸

شکل ۱-۶ یک سلول خورشیدی ۲۱

شکل ۱-۷ پنل های خورشیدی بکار رفته در ایستگاه فضایی بین المللی ۲۲

شکل ۱-۸ نمودار میزان و پیش بینی استفاده از برق بادی ۲۶

شکل ۱-۹ نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر ۳۱

شکل ۱-۱۰ یک نمونه جمع کننده فتوولتاییک-حرارتی خورشیدی ۳۳

شکل ۱-۱۱ مدل‌های مختلف جمع کننده فتوولتاییک-حرارتی ۳۳

شکل ۱-۱۲ نحوه نصب جمع کننده فتوولتاییک-حرارتی ۳۴

شکل ۱-۱۳ ساختمان با نمای جمع کننده فتوولتاییک-حرارتی ۳۵

شکل ۲-۱ پتانسیل خورشیدی با استفاده از فن‌آوری فتوولتاییک ۴۲

شکل ۲-۲ اجزاء سیستم فتوولتاییک ۴۳

شکل ۲-۳ ساختار پانل خورشیدی ۴۵

شکل ۲-۴ تأثیر افزایش دما بر روی توان تولیدی یک پانل پلی کریستالی ۴۵ واتی

در تشعشع ۵۰۰ و ۱۰۰۰ وات بر متر مربع..... ۴۸

شکل ۲-۵ تأثیر افزایش دما بر روی میزان ولتاژ و آمپر تولیدی یک پانل پلی کریستالی ۴۵ واتی در تشعشع ۵۰۰ و ۱۰۰۰ وات بر متر مربع ۴۹
شکل ۲-۶ نمودار مشخصه یک پانل ۶۴ واتی با مشخصات استاندارد SRC..... ۵۲
شکل ۲-۷ نمودار مشخصه I-V پانل پلی کریستال سیلیکونی ۴۰۰ واتی در $T_{cell} = 53^{\circ}c$ و $E_t = 982W/m^2$ ۵۲
شکل ۲-۸ نمودار مشخصه I-V پانل پلی کریستال سیلیکونی ۶۴ واتی در $T_{cell} = 38^{\circ}c$ و $E_t = 986W/m^2$ ۵۳
شکل ۲-۹ نمودار مشخصه I-V پانل آمرف سیلیکونی ۶۴ واتی در $T_{cell} = 73^{\circ}c$ و $E_t = 982W/m^2$ ۵۴
شکل ۲-۱۰ نمودار مشخصه I-V پانل تک کریستال سیلیکونی ۴۰۰ واتی در $T_{cell} = 73^{\circ}c$ و $E_t = 982W/m^2$ ۵۴
شکل ۲-۱۱ مقایسه نتایج مدل تئوری و آزمایشگاهی دمای پانل در تشعشع مرجع ۱۰۰۰ وات بر متر مربع ۵۸
شکل ۲-۱۲ نمودار مشخصه I-V پانل پلی کریستال سیلیکونی ۶۴ واتی در $T_{cell} = 30^{\circ}c$ و $E_t = 986W/m^2$ ۶۱
شکل ۲-۱۳ نمودار مشخصه I-V پانل پلی کریستال سیلیکونی ۶۴ واتی در $T_{cell} = 38^{\circ}c$ و $E_t = 986W/m^2$ ۶۱
شکل ۲-۱۴ نمودار مشخصه I-V پانل تک کریستال سیلیکونی ۴۰۰ واتی در $T_{cell} = 73^{\circ}c$ و $E_t = 982W/m^2$ ۶۲
شکل ۳-۱ انواع جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی با جمع کننده مسطح ۶۷
شکل ۳-۲ جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی با جمع کننده متمرکز کننده پخشی ۶۸

شکل ۳-۳ جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی با جمع کننده متمرکز کننده منحنی..... ۶۹
شکل ۳-۴ بدنه اصلی جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۷۰
شکل ۳-۵ محل قرار گرفتن جمع کننده در بدنه جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۷۱
شکل ۳-۶ محل‌قرارگرفتن‌پانل‌های‌فتوولتاییک در بدنه جمع‌کننده فتوولتاییک‌حرارتی.. ۷۲
شکل ۳-۷ محل قرار گرفتن فن‌ها بر روی بدنه اصلی جمع‌کننده فتوولتاییک حرارتی.. ۷۳
شکل ۳-۸ محل قرار گرفتن سرپوش شیشه‌ای بر روی بدنه اصلی جمع کننده
فتوولتاییک حرارتی ۷۴
شکل ۳-۹ جمع کننده فتوولتاییک–حرارتی ۷۴
شکل ۳-۱۰ محل قرار گرفتن سنسورهای دما داخل بدنه اصلی جمع کننده
فتوولتاییک–حرارتی ۷۶
شکل ۳-۱۱ تشعشع سنج Kipp & Zonen مدل CB7..... ۷۶
شکل ۴-۱ تشعشع خورشید (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و سرپوش شیشه‌ای،
۵ جولای یا ۱۵ تیر) ۸۳
شکل ۴-۲ دماها (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و سرپوش شیشه‌ای، ۵ جولای
یا ۱۵ تیر) ۸۳
شکل ۴-۳ اندازه‌گیری الکتریکی قبل از ریگلاتور (ولتاژ و آمپراژ تولیدی یک پانل)
(آزمایش هشت فن با ریگلاتور و سرپوش شیشه ای، ۵ جولای یا ۱۵ تیر) ۸۴
شکل ۴-۴ اندازه گیری الکتریکی قبل از ریگلاتور (ولتاژ و آمپراژ مصرفی یک فن)
(آزمایش هشت فن با ریگلاتور و سرپوش شیشه‌ای، ۵ جولای یا ۱۵ تیر) ۸۴
شکل ۴-۵ توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک و مصرفی (آزمایش هشت فن با
ریگلاتور و سرپوش شیشه‌ای، ۵ جولای یا ۱۵ تیر) ۸۵

شکل ۴-۶ دبی جرمی هوا (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و سرپوش شیشه‌ای، ۵ جولای یا ۱۵ تیر) ۸۵
شکل ۴-۷ تشعشع خورشید (آزمایش هشت فن، بدون ذخیره‌سازی انرژی درون باطری و با سرپوش شیشه‌ای، ۱۵ جولای یا ۲۵ تیر) ۸۷
شکل ۴-۸ دماها (آزمایش هشت فن، بدون ذخیره‌سازی انرژی درون باطری و با سرپوش شیشه‌ای، ۱۵ جولای یا ۲۵ تیر) ۸۷
شکل ۴-۹ اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک و مصرفی فن‌ها) (آزمایش هشت فن، بدون ذخیره‌سازی انرژی درون باطری و با سرپوش شیشه‌ای، ۱۵ جولای یا ۲۵ تیر) ۸۸
شکل ۴-۱۰ توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک و مصرفی فن‌ها (آزمایش هشت فن، بدون‌ذخیره‌سازی انرژی درون باطری و با سرپوش شیشه‌ای، ۱۵ جولای یا ۲۵ تیر) ... ۸۸
شکل ۴-۱۱ دبی جرمی هوا (آزمایش هشت فن، بدون ذخیره‌سازی انرژی درون باطری و با سرپوش شیشه‌ای، ۱۵ جولای یا ۲۵ تیر) ۸۹
شکل ۴-۱۲ تشعشع خورشید (آزمایش چهار فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۲ جولای یا یکم مرداد)..... ۹۱
شکل ۴-۱۳ دماها (آزمایش چهار فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۲ جولای یا یکم مرداد)..... ۹۱
شکل ۴-۱۴ اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و باطری) (آزمایش چهار فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۲ جولای یا یکم مرداد)..... ۹۲

شکل ۴-۱۵: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و ذخیره شده (آزمایش چهار فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۲جولای یا ۱ مرداد) ۹۲
شکل ۴-۱۶: دبی جرمی هوا (آزمایش چهار فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۲جولای یا یکم مرداد)..... ۹۳
شکل ۴-۱۷: تشعشع خورشید (آزمایش دو فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۳جولای یا ۲ مرداد)..... ۹۵
شکل ۴-۱۸: دماها (آزمایش دو فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۳جولای یا ۲ مرداد)..... ۹۵
شکل ۴-۱۹: اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و باطری) (آزمایش‌دو فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۳جولای یا ۲ مرداد)... ۹۶
شکل ۴-۲۰: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و ذخیره شده(آزمایش دو فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۳جولای یا ۲ مرداد)..... ۹۶
شکل ۴-۲۱: دبی جرمی هوا (آزمایش دو فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۳جولای یا ۲ مرداد) ۹۷
شکل ۴-۲۲: تشعشع خورشید (آزمایش هشت فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۶ جولای یا ۵ مرداد)..... ۹۹
شکل ۴-۲۳: دماها (آزمایش هشت فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۶جولای یا ۵ مرداد) ۹۹
شکل ۴-۲۴: اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و باطری)(آزمایش‌هشت‌فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای،۲۶جولای یا ۵ مرداد). ۱۰۰
شکل ۴-۲۵: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و ذخیره شده(آزمایش هشت فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۶جولای یا ۵ مرداد)..... ۱۰۰

شکل ۴-۲۶: دبی جرمی هوا (آزمایش هشت فن و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۶جولای یا ۵ مرداد) ۱۰۱
شکل ۴-۲۷: تشعشع خورشید (آزمایش جابجایی آزاد و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۷ جولای یا ۶ مرداد) ۱۰۳
شکل ۴-۲۸: دماها (آزمایش جابجایی آزاد و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۷ جولای یا ۶ مرداد) ۱۰۳
شکل ۴-۲۹: اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک و مصرفی باطری) (آزمایش جابجایی آزاد و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۷ جولای یا ۶ مرداد) با سرپوش شیشه‌ای، ۲۷ جولای یا ۶ مرداد) ۱۰۴
شکل ۴-۳۰: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و ذخیره شده(آزمایش جابجایی آزاد و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۷ جولای یا ۶ مرداد ۱۰۴
شکل ۴-۳۱: دبی جرمی هوا (آزمایش جابجایی آزاد و باطری، با سرپوش شیشه‌ای، ۲۷ جولای یا ۶ مرداد) ۱۰۵
شکل ۴-۳۲: تشعشع خورشید (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و بدون سرپوش شیشه‌ای، ۱۲ جولای یا ۲۲ تیر) ۱۰۹
شکل ۴-۳۳: دماها (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و بدون سرپوش شیشه‌ای ، ۱۲ جولای یا ۲۲ تیر) ۱۰۹
شکل ۴-۳۴: اندازه‌گیری الکتریکی قبل از ریگلاتور (ولتاژ و آمپراژ تولیدی یک پانل) (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و بدون سرپوش شیشه‌ای ، ۱۲ جولای یا ۲۲ تیر) ۱۱۰
شکل ۴-۳۵: اندازه‌گیری الکتریکی بعد از ریگلاتور (ولتاژ و آمپراژ تولیدی یک پانل) (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و بدون سرپوش شیشه‌ای ، ۱۲ جولای یا ۲۲ تیر) ۱۱۰
شکل ۴-۳۶: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک و مصرفی (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و بدون سرپوش شیشه‌ای ، ۱۲ جولای یا ۲۲ تیر) ۱۱۱

شکل ۴-۳۷: دبی جرمی هوا (آزمایش هشت فن با ریگلاتور و بدون سرپوش شیشه‌ای، ۱۲ جولای یا ۲۲ تیر)..... ۱۱۱
شکل ۴-۳۸: تشعشع خورشید (آزمایش هشت فن، بدون ذخیره سازی انرژی درون باطری و بدون سرپوش شیشه‌ای، ۱۶جولای یا ۲۶تیر)..... ۱۱۳
شکل ۴-۳۹: دماها (آزمایش هشت فن، بدون ذخیره‌سازی انرژی درون باطری و بدون سرپوش شیشه‌ای، ۱۶جولای یا ۲۶تیر)..... ۱۱۳
شکل ۴-۴۰: اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک و مصرفی فن‌ها) (آزمایش هشت فن، بدون ذخیره سازی انرژی درون باطری و بدون سرپوش شیشه‌ای، ۱۶جولای یا ۲۶تیر)..... ۱۱۴
شکل ۴-۴۱: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک و مصرفی فن‌ها (آزمایش هشت فن، بدون‌ذخیره سازی انرژی درون باطری و بدون سرپوش شیشه‌ای، ۱۶جولای یا ۲۶تیر). ۱۱۴
شکل ۴-۴۲: دبی جرمی هوا (آزمایش هشت فن، بدون ذخیره‌سازی انرژی درون باطری و بدون سرپوش شیشه‌ای، ۱۶جولای یا ۲تیر)..... ۱۱۵
شکل ۴-۴۳: تشعشع خورشید (آزمایش چهار فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۱ جولای یا ۳۱ تیر)..... ۱۱۷
شکل ۴-۴۴: دماها (آزمایش چهار فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۱جولای یا ۳۱ تیر)..... ۱۱۷
شکل ۴-۴۵: اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و باطری) (آزمایش چهار فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۱جولای یا ۳۱ تیر).. ۱۱۸
شکل ۴-۴۶: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و ذخیره شده (آزمایش چهار فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۱جولای یا ۳۱ تیر)..... ۱۱۸

شکل ۴-۴۷: دبی جرمی هوا (آزمایش چهار فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۱ جولای یا ۳۱ تیر)..... ۱۱۹
شکل ۴-۴۸: تشعشع خورشید (آزمایش دو فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۴ جولای یا ۳مرداد)..... ۱۲۱
شکل ۴-۴۹: دماها (آزمایش دو فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۴جولای یا ۳ مرداد)..... ۱۲۱
شکل ۴-۵۰: اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و باطری)(آزمایش‌دو فن و باطری، بدون سرپوش‌شیشه‌ای، ۲۴جولای یا۳مرداد).. ۱۲۲
شکل ۴-۵۱: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و ذخیره شده(آزمایش دو فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۴جولای یا ۳ مرداد)..... ۱۲۲
شکل ۴-۵۲: دبی جرمی هوا (آزمایش دو فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۴ جولای یا ۳ مرداد)..... ۱۲۳
شکل ۴-۵۳: تشعشع خورشید (آزمایش هشت فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۵جولای یا ۴ مرداد)..... ۱۲۵
شکل ۴-۵۴: دماها (آزمایش هشت فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۵جولای یا ۴ مرداد)..... ۱۲۵
شکل ۴-۵۵: اندازه‌گیری الکتریکی (ولتاژ و آمپراژ تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌هاوباطری)(آزمایش‌هشت فن و باطری،بدون سرپوش‌شیشه‌ای،۲۵جولای یا۴مرداد).. ۱۲۶
شکل ۴-۵۶: توان تولیدی پانل‌های فتوولتاییک، مصرفی فن‌ها و ذخیره شده(آزمایش هشت فن و باطری، بدون سرپوش شیشه‌ای، ۲۵جولای یا ۴ مرداد)..... ۱۲۶