دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در (مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی)

عنوان:

بررسی تجربی عملکرد کلکتور فتوولتائیک حرارتی متمرکزکننده صفحه تخت با نانوسیال

استاد راهنما:

دکتر علیرضا حسین‌نژاددوین

استاد مشاور:

دکتر سعید فراهت

تحقیق و نگارش:

احمدرضا خاکی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

شهریور ۱۳۹۲

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان **بررسی تجربی عملکرد کلکتور فتوولتائیک حرارتی متمرکزکننده صفحه تخت با نانوسیال** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک توسط دانشجو **احمدرضا خاکی** با راهنمایی استاد پایان نامه **دکتر علیرضا حسین‌نژاددوین** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

احمدرضا خاکی

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:			
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:			
داور ۲:			
نماینده تحصیلات تکمیلی:			

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب احمدرضـــا خاکی تعهد می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصـــل کار پژوهشـــی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده اســـت. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم ســـطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: احمدرضا خاکی

امضاء

تقدیم به:

خورشید تابان زندگیم

مادرم

مایه پرفروغ زندگیم

پدرم

خواهر عزیزم

و

پدربزرگم

که از میان رفت ولی یادش همیشه پابرجاست

سپاسگزاری

بر خود لازم می دانم از استاد راهنمای این پایان نامه جناب آقای دکتر علیرضا حسین نژاد که همواره و در تمامی لحظات پدرانه یار و یاور بنده بود تشکر و سپاس ویژه بنمایم. همچنین از دکتر سعید فراهت استاد مشاور پروژه که خالصانه و فروتنانه بسیار فراتر از وظایف یک استاد مشاور بنده را در انجام این پایان نامه یاری نمودند سپاس و قدردانی دارم.

از اساتید محترم گروه مهندسی مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان بالاخص دکتر امین بهزادمهر، دکتر فرامرز سرحدی و دکتر محمد حسین شفیعی میم نیز که در طول مدت تحصیل یار و یاور حقیر بوده و بحق مرا با آموزش علم و معرفت خودشان بندهٔ خویش ساختند نیز تشکر و سپاس گزاری می نمایم.

از دوستان بسیار عزیزم محمد داستانیان، مهدی نجف آبادی، محمد زبیده، سعید شمس الدینی، احمد ثاقب فر، سعید عادلیان فر، سعید بصائر، رضا دهلایی، حمزه روایی، حمیدرضا منوری، مهدی رحم دل، جواد نیز دانپناهی، محمد علی پریزادی، احمدرحیم خانلی، ایمان آهنین جان و محمد آزادی طلب نیز سپاسگزارم.

همچنین می بایستی از دانشجویان دکتری مهندسی مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان، بالاخص مهندس محسن مهدوی عادلی، مهندس محمد مهدی ناصریان، مهندس محمد محمودی اصل، مهندس عباس قره قاشی، مهندس حامد افشاری و مهندس عباس زارع نژاد تشکر و سپاس داشته باشم.

از کارمندان محترم گروه مهندسی مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان، خصوصاً منشی گروه آقای مهدی نیکبخت و خانم ها امینی و رضایی نیز تشکر و سپاس دارم.

در انتها با عذرخواهی از تمام سروران و دوستانی که به علت اجتناب از اطالة بیشتر کلام قادر به ذکر نام آن ها نبودم، توفیق روزافزون همگان را از درگاه خداوند متعال خواستارم. /

احمدرضا خاکی

شهریور /۱۳۹۲

چکیده:

در سال‌های اخیر وسایل مختلفی که با انرژی خورشیدی کار می‌کنند، ساخته شده است. یکی از آن‌ها سیستم فتوولتائیک/حرارتی (PV/T) است. در سیستم فتوولتائیک/حرارتی (PV/T) از جمع‌کننده حرارتی جهت تولید انرژی حرارتی و از پانل‌های فتوولتائیک جهت تولید انرژی الکتریکی از انرژی خورشیدی استفاده می‌شود. در این پایان‌نامه عملکرد یک گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با متمرکزکننده صفحه تخت به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. در آزمایش‌های انجام شده اثر وجود متمرکزکننده، رژیم‌های مختلف جریان شامل جریان آرام، گذار و آشفته، وجود و عدم وجود سیستم خنک‌کاری و همچنین تفاوت استفاده از نانوسیال و آب به عنوان سیال عامل بررسی شده است. پارامترهای اندازه‌گیری شده پارامترهای مختلف جوی (شدت تابش، دمای محیط و سرعت باد)، پارامترهای حرارتی (دمای ورودی و خروجی سیال، دمای سطح پانل فتوولتائیک، و دمای صفحه جاذب) و پارامترهای الکتریکی (شدت جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، توان بیشینه، شدت جریان و ولتاژ در نقطه توان بیشینه) می‌باشد. برای این‌که بتوان توان الکتریکی و حرارت تولیدی را افزایش داد از دو متمرکزکننده صفحه تخت استفاده شده است. ابتدا زاویه‌ی بهینه‌ای را که در شرایط محیطی یکسان بیشترین توان الکتریکی و حرارت تولید می‌کند، به دست آمده است. سپس میزان تأثیر متمرکزکننده صفحه تخت بر توان الکتریکی، حرارت تولید شده و پارامترهایی همانند تابش و دبی جرمی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان داد که استفاده از نانوسیال به خصوص زمانی که متمرکزکننده‌های صفحه تخت بر روی سیستم نصب می‌باشند راندمان سیستم را بسیار بیشتر از آب افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: کلکتور - فتوولتائیک حرارتی – متمرکزکننده صفحه تخت - اکسرژی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱- سیستم‌های فتوولتائیک ۲
۱-۱-۱-پانل با پایه ثابت ۳
۱-۱-۲-سیستم‌های دنبال کننده خورشیدی ۳
۱-۲-کاربرد سیستم‌های فتوولتائیک ۶
۱-۳- روش‌های کاربرد سیستم‌های برق خورشیدی ۶
۱-۴- مصارف و کاربردهای فتوولتائیک ۸
۱-۵-سیستم‌های فتوولتائیک/حرارتی ۹
۱-۶- مروری بر پژوهش‌های گذشته ۱۰
۱-۷- اهداف پایان‌نامه: ۱۵
فصل دوم: استفاده از انرژی خورشیدی ۱۷
۲-۱- انرژی خورشیدی ۱۸
۲-۲- چرا انرژی‌های تجدیدپذیر؟ ۲۰
۲-۳- جایگاه انرژی‌های نو در ایران ۲۶
۲-۴- میزان انرژی خورشید در سطح زمین ۲۶
۲-۵- مؤلفه‌های تابش خورشید ۲۷
فصل سوم: نانوسیال، فتوولتائیک و ویژگی‌هایشان ۲۹
۳-۱- پانل‌های فتوولتائیک ۳۰
۳-۲- نانوسیال ۳۴
۳-۳- روش‌های تهیه نانوسیال ۳۵
۳-۴- نانوکلوئید نقره ۳۵
۳-۵- روش ساخت نانوکلوئید نقره ۳۶
فصل چهارم: گردآورنده فتوولتائیک حرارتی همراه با دو متمرکزکننده صفحه تخت ۴۰
۴-۱- مقدمه ۴۱
۴-۲- تقسیم بندی سیستماتیک جمع کننده فتوولتائیک/حرارتی ۴۱
۴-۲-۱- جمع‌کننده فتوولتائیک/ حرارتی با جمع‌کننده مسطح ۴۱
۴-۲-۲- جمع‌کننده فتوولتائیک/حرارتی با جمع‌کننده متمرکزکننده ۴۲
۴-۲-۳- جمع‌کننده فتوولتائیک/حرارتی با جمع‌کننده‌های متمرکزکننده پخشی ۴۳
۴-۲-۴- جمع‌کننده فتوولتائیک/حرارتی با جمع‌کننده‌های متمرکزکننده منحنی ۴۴

۴-۳- ساخت و نصب متمرکزکننده های صفحه تخت بر روی سیستم فتوولتائیک/حرارتی ۴۴
۴-۳-۱- مقدمه ۴۴
۴-۳-۲- ساخت متمرکزکننده صفحه تخت و نصب بر روی جمع‌کننده فتوولتائیک/حرارتی متمرکز کننده صفحه تخت ۴۴
۴-۴- طراحی و ساخت گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با متمرکزکننده صفحه تخت ۴۵
۴-۴-۱- مقدمه ۴۵
۴-۴-۲- مراحل طراحی و ساخت گردآورنده فتوولتائیک حرارتی متمرکزکننده صفحه تخت ۴۶
۴-۴-۳- جهت‌دهی گردآورنده فتوولتائیک حرارتی متمرکزکننده صفحه تخت ۵۳
۴-۴-۴- ابزار دقیق و سیستم‌های اندازه‌گیری پارامترها ۵۸
فصل پنجم: تحلیل انرژی و اکسرژی گردآورنده فتوولتائیک حرارتی (PV/T) ۶۵
۵-۱- پیشگفتار ۶۶
۵-۲- تحلیل حرارتی ۶۶
۵-۲-۱- تعادل انرژی برای پنل فتوولتائیک شیشه- تدلار ۶۹
۵-۲-۲- تعادل انرژی برای سطح زیرین تدلار ۷۰
۵-۲-۳- تعادل انرژی برای صفحه جاذب ۷۲
۵-۲-۴- تعادل انرژی برای المان سیال عامل در یک مجرا ۷۶
۵-۲-۵- راندمان حرارتی گردآورنده فتوولتائیک حرارتی ۷۷
۵-۳- تحلیل الکتریکی ۷۸
۵-۴- تحلیل اکسرژی ۷۹
۵-۴-۱- نرخ اکسرژی ورودی و خروجی توسط جریان جرمی ۷۹
۵-۴-۲- نرخ اکسرژی انتقال حرارت ورودی ۸۰
۵-۴-۳- نرخ اکسرژی کار خروجی ۸۰
۵-۴-۴- نرخ بازگشت ناپذیری در گردآورنده فتوولتائیک حرارتی ۸۰
۵-۴-۵- راندمان اکسرژی گردآورنده فتوولتائیک حرارتی ۸۱
۵-۵- ضریب اصطکاک و افت فشار درون مجاری جریان ۸۱
۵-۶- خواص سیال عامل ۸۲
فصل ششم: آزمایش‌ها و ارزیابی نتایج ۸۴
۶-۱- مقدمه ۸۵
۶-۲- محاسبه آزمایشگاهی ولتاژ و جریان الکتریکی درحالت توان بیشینه ۸۵
۶-۳- روند آزمایش‌های انجام شده ۸۶
۶-۳-۱- پارامترهای جوی، حرارتی و عملکردی اندازه‌گیری شده گردآورنده فتوولتائیک حرارتی ۸۶
۶-۳-۲- پارامترهای جوی، حرارتی و عملکردی اندازه‌گیری شده گردآورنده فتوولتائیک حرارتی متمرکزکننده صفحه تخت ۹۲
۶-۳-۳- محاسبه تجربی راندمان‌های حرارتی و الکتریکی ۹۵
۶-۳-۳-۱- راندمان حرارتی ۹۵
۶-۳-۳-۲- راندمان الکتریکی ۹۷
۶-۳-۴- محاسبه راندمان اکسرژی ۹۹

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۱
۷-۱- نتایج ۱۰۲
۷-۲- پیشنهادها ۱۰۴
مراجع ۱۰۵

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۴-۱: مشخصات فنی پانل فتوولتائیک و دستگاه ساخته شده ۵۱
جدول ۴-۲: خواص آب در دماهای مختلف [۴۲] ۸۳
جدول ۶-۱: مقادیر رینولدز و دبی در آزمایش‌های انجام شده.....۹۶

فهرست شکل ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱: زاویه تابش به سطح پانل [۱]..... ۳
شکل ۱-۲. الگوریتم بخش‌های سلول فتوولتائیک وتولید و مصرف الکتریسیته تولیدی از خورشید[۱]..... ۴
شکل ۱-۳. ساختار یک سلول خورشیدی[۱] ۵
شکل ۱-۴. سلول، پانل و آرایه فتوولتائیک[۱] ۶
شکل ۱-۵: سهم روش‌های کاربرد سیستمهای برق[۱]..... ۷
شکل ۲-۱: نمونه ای از مزرعهٔ هلیوستاتها[۴۳] ۲۵
شکل ۲-۲: عوامل جوی اثرگذار بر تابش خورشید[۴۴] ۲۷
شکل ۲-۳ : تصویر دستگاه پیرهلیومتر[۴۴].....۲۸
شکل ۲-۴ تصویر پیرانومتر[۴۴].....۲۸
شکل۳-۱: ساختار پانل خورشیدی[۴۳].....۳۱
شکل۳-۲: تاثیرافزایش دما بر روی توان تولیدی یک پانل پلی‌کریستالی ۴۵ واتی در تشعشع ۵۰۰ و ۱۰۰۰ وات بر متر مربع[۴۴] ۳۳
شکل۳-۳: تاثیر افزایش دما بر روی میزان ولتاژ و آمپر تولیدی یک پانل پلی‌کریستالی ۴۵ واتی در تشعشع ۵۰۰ و ۱۰۰۰ وات بر متر مربع[۴۴].....۳۳
شکل ۳-۴ . دستگاه PNC1K برای تولیدنانوکلوئیدهای فلزی [۴۷] ۳۶
شکل ۳-۵ . شماتیک دستگاه برای تولیدنانوکلوئیدهای فلزی [۴۹] ۳۷
شکل ۳-۶ . تصویرTEM نانوکلوئید نقره[۴۸] ۳۸
شکل ۳-۷ . مدل سوسپانسیون ذرات نقره در آب [۴۸] ۳۸
شکل ۳-۸ . کلوئید نقره استفاده شده برای سیستم [۴۷] ۳۹
شکل ۳-۹ . میانگین اندازه ذرات نقره در آب [۴۸] ۳۹
شکل ۴-۱:انواع جمع‌کننده فتوولتائیک/حرارتی با جمع‌کننده مسطح[۴۴] ۴۲
شکل ۴-۲:جمع کننده فتوولتائیک-حرارتی با جمع کننده متمرکزکننده‌ی پخشی[۴۴] ۴۳
شکل ۴-۳:جمع کننده فتوولتائیک-حرارتی با جمع کننده متمرکزکننده پخشی[۴۴].....۴۳
شکل ۴-۴: جمع‌کننده فتوولتائیک/حرارتی با جمع‌کننده متمرکزکننده منحنی[۴۴].....۴۴
شکل۴-۵. نمایی از متمرکزکننده ۴۵
شکل ۴-۶. نحوه قرارگیری لوله‌های مسی بین صفحه جاذب و پانل فتوولتائیک ۴۷
شکل ۴-۷. طرح شماتیک گردآورنده فتوولتائیک حرارتی ساخته شده در دانشگاه سیستان و بلوچستان ۴۷
شکل ۴-۸. نمایی از عایق کاری پشت گردآورنده فتوولتائیک حرارتی ساخته شده ۴۸
شکل ۴-۹. تصویر پمپ ۴۸

شکل ۴-۱۰. تصویر رادیاتور و فن استفاده شده در سیستم فتوولتائیک حرارتی.....۴۹
شکل ۴-۱۱. نمای روبروی سلول فتوولتائیک ساخته شده با متمرکزکننده تخت در دانشگاه سیستان و بلوچستان ۵۰
شکل ۴-۱۲. نمای جانبی سلول فتوولتائیک ساخته شده با متمرکزکننده تخت در دانشگاه سیستان و بلوچستان ۵۱
شکل۴-۱۳. محاسبه زاویه نوسان خورشیدی.....۵۵
شکل ۴-۱۴. نمایی از سنسور DS_18B20 فیش اتصال آن به دیتالاگر ۵۹
شکل ۴-۱۵. نمایی از دستگاه دیتالاگر ۶۰
شکل ۴-۱۶. ترومتر مادون قرمز برای اندازه‌گیری دما ۶۰
شکل ۴-۱۷. نمایی از بادسنج مورد استفاده در آزمایش‌ها ۶۱
شکل ۴-۱۸. تصویری از دو مولتی متر استفاده شده در آزمایش‌ها ۶۱
شکل ۴-۱۹. تصویرنورسنج مدل TES 1339R.....۶۲
شکل ۴-۲۰. تصویر مقاومت ۵۰Ω -۰ ، ۲۵۰ وات.....۶۳
شکل ۴-۲۱. تصویری از فلومتر پانلی و شیر سوزنی.....۶۳
شکل ۴-۲۲. تصویری از دستگاه اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی.....۶۴
شکل ۴-۲۳. دستگاه KD2 در حال اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی ۶۴
شکل۵-۱- الف. مقطع طولی گردآورنده، و ب. مقطع عرضی گردآورنده ۶۸
شکل ۵-۲. مدار مقاومت حرارتی گردآورنده فتوولتائیک حرارتی [۵۰] ۶۸
شکل ۵-۳. توزیع دما در صفحه جاذب در جهت عمود بر جهت جریان سیال ۷۲
شکل ۵-۴. انتقال حرارت از دو طرف صفحه جاذب به مجرای جریان.....۷۴
شکل ۵-۵ المان DY سیال درون یک مجرای جریان ۷۶
شکل۶-۱. مدار بسته شده برای اندازه گیری ولتاژ و جریان.....۸۵
شکل۶-۲. شدت تابش مربوط به آزمایش‌های بدون متمرکزکننده با آب و نانوسیال ۸۷
شکل۶-۳. بیشینه توان الکتریکی پانل فتوولتائیک مربوط به آزمایش‌های بدون متمرکزکننده ۸۸
شکل۶-۴. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با آب بدون متمرکزکننده و جریان آرام ۸۸
شکل۶-۵. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با آب بدون متمرکزکننده و جریان گذرا ۸۹
شکل۶-۶. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با آب بدون متمرکزکننده و جریان آشفته.....۸۹
شکل۶-۷. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش بدون سیستم خنک‌کننده ۹۰
شکل۶-۸. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با نانوسیال بدون متمرکزکننده و جریان آرام.....۹۰
شکل۶-۹. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با نانوسیال بدون متمرکزکننده و جریان گذرا.....۹۱
شکل۶-۱۰. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با نانوسیال بدون متمرکزکننده و جریان آشفته ۹۱
شکل۶-۱۱. شدت تابش مربوط به آزمایش‌های با متمرکزکننده صفحه تخت ۹۲
شکل۶-۱۲. بیشینه توان الکتریکی پانل فتوولتائیک مربوط به آزمایش‌های با متمرکزکننده صفحه تخت ۹۳
شکل۶-۱۳. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با نانوسیال با متمرکزکننده و جریان آرام ۹۳
شکل۶-۱۴. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با نانوسیال با متمرکزکننده و جریان گذرا.....۹۴
شکل۶-۱۵. مقایسه دماهای مختلف مربوط به آزمایش با نانوسیال با متمرکزکننده و جریان آشفته ۹۴

شکل۶-۱۶. راندمان حرارتی مربوط به آزمایش گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با آب و نانوسیال بدون متمرکزکننده ۹۶
شکل۶-۱۷. راندمان حرارتی مربوط به آزمایش گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با آب و نانوسیال با متمرکزکننده ۹۷
شکل۶-۱۸. راندمان الکتریکی مربوط به آزمایش گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با آب و نانوسیال بدون متمرکزکننده ۹۸
شکل۶-۱۹. راندمان حرارتی مربوط به آزمایش گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با آب و نانوسیال با متمرکزکننده ۹۸
شکل۶-۲۰. راندمان اکسرژی مربوط به آزمایش گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با آب و نانوسیال بدون متمرکزکننده ۹۹
شکل۶-۲۱. راندمان اکسرژی مربوط به آزمایش گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با آب و نانوسیال با متمرکزکننده ۱۰۰

فهرست علائم

علامت	نشانه
$A\ (m^2)$	سطح مقطع مجرای جریان
a	ضریب ایده‌آل
b	عرض مدول فتوولتائیک
C_p	ظریب تبدیل نیروگاهی
C_i	نسبت تمرکز
C_f	ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت
$D_i(m)$	قطر داخلی لوله‌ها
$D_o(m)$	قطر خارجی لوله‌ها
$dx(m)$	المانی از مجرای جریان
Ex	اکسرژی
F	ضریب تاثیر صفحه جاذب
F'	ضریب بازده گردآورنده
F_R	ضریب برداشت گرما
f	ضریب اصطکاک
$G(W/m^2)$	شدت تابش خورشید
h_{P1}	ضریب جریمه به دلیل ماده سلول خورشیدی
h_{P2}	ضریب جریمه به دلیل سطح تماس سیال و دیواره داخلی مجرای جریان
$h_{conv}(W/m^2K)$	ضریب انتقال حرارت جابجایی
$h_{conv,b}(W/m^2K)$	ضریب انتقال حرارت جابجایی در سطح زیر گردآورنده

$h_f\ (W/m^2K)$	ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال عامل در مجرای جریان
$h_{rad}\ (W/m^2K)$	ضریب انتقال حرارت تابشی
$I\ (A)$	جریان الکتریکی
$I_D\ (A)$	جریان اشباع معکوس
$I_L\ (A)$	جریان نوری
$I_{mp}\ (A)$	جریان حداکثر توان
$I_{sc,ref}\ (A)$	جریان اتصال کوتاه و مرجع
$K\ (W/m\,K)$	ضریب هدایت حرارتی سیال
$K_i\ (W/m\,K)$	ضریب هدایت حرارتی عایق
$K_g\ (W/m\,K)$	ضریب هدایت حرارتی شیشه
$K_p\ (W/m\,K)$	ضریب هدایت حرارتی صفحه جاذب
$K_{si}\ (W/m\,K)$	ضریب هدایت حرارتی لایه سیلیکونی
$K_T\ (W/m\,K)$	ضریب هدایت حرارتی تدلار
$L\ (m)$	طول مجرای جریان
$L_i\ (m)$	ضخامت عایق
$L_g\ (m)$	ضخامت لایه شیشه‌ای
$L_T\ (m)$	ضخامت تدلار
$L_1\ (m)$	طول مدول
$L_2\ (m)$	عرض مدول
$\dot{m}\ (kg/s)$	دبی جرمی جریان سیال
N_m	تعداد مدول‌ها
N_s	تعداد رشته‌ها

Nu_D	عدد ناسلت
PV	مدول فتوولتائیک
PV/T	گردآورنده حرارتی فتوولتائیک خورشیدی
$P_{el}(W)$	توان الکتریکی حداکثر
P	فشار
Pr	عدد پرانتل
RMS	خطای میانگین مربعات
Re_D	عدد رینولدز
$\dot{S}$	آنتروپی
$T_{bs}(K)$	دمای سطح زیر تدلار
$T_{cell}(K)$	دمای سطح سلول
$T_f(K)$	دمای سیال عامل
$U_b(W/m^2K)$	ضریب انتقال حرارت از پائین گردآورنده
$U_T(W/m^2K)$	ضریب انتقال حرارت هدایتی به جریان سیال
$U_t(W/m^2K)$	ضریب اتلاف حرارتی از بالای سلول خورشیدی به محیط
$V_{in}(m/s)$	سرعت سیال ورودی
$V_{mp}(v)$	ولتاژ حداکثر توان
$V_{oc,ref}(v)$	ولتاژ مدار باز و مرجع
$V_w(m/s)$	سرعت باد

علائم یونانی

$\alpha(A/^0C)$	ضریب دمایی جریان
α_c	ضریب جذب سلول خورشیدی
α_T	ضریب جذب تدلار

$\beta(V\ /\ ^{0}C)$	ضریب دمایی ولتاژ
β_c	ضریب تراکم سلول خورشیدی
$\varepsilon(ev)$	انرژی شکاف باند
ε_g	قابلیت صدور پوشش شیشه‌ای
η_{el}	راندمان الکتریکی
$\eta_{en,ov}$	راندمان انرژی معادل
η_{th}	راندمان حرارتی
$\rho(^{kg}/_{m^3})$	چگالی سیال عامل
$\mu_f\ (kg\ /\ m.s)$	لزجت سینماتیک سیال
$\sigma(^{W}/_{m^2K^4})$	ثابت استفان بولتزمن
τ_g	ضریب انتقال حرارات شیشه

زیرنویس‌ها

amb	محیط
$conv$	همرفت
el	الکتریسیته
f	سیال
g	شیشه
i	عایق
in	ورودی
mp	توان بیشینه
out	خروجی
r	جاذب
rad	تشعشع

ref	مرجع
S	خورشید
sc	سلول فتوولتائیک
th	حرارتی

فصل اول

مقدمه

۱-۱- سیستم‌های فتوولتائیک

تولید نیروی برق یکی از پایه‌های قدرت اقتصادی یک کشور می‌باشد، به همین دلیل نیز افزایش تولید الکتریسیته و ارزش افزوده آن در چند دهه اخیر مورد توجه بوده است. در این میان با روی‌آوری و دست‌یابی به تکنولوژی‌های پیشرفته، بکارگیری و استفاده از انرژی‌های پاک و سیستم‌های تجدیدپذیر در تامین انرژی مورد نیاز بشر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است. سهولت در دسترسی و کاربرد انرژی خورشیدی، آن را در موقعیت مناسبی قرار داده است. خورشید بزرگ‌ترین و تنها منبع تأمین‌کننده انرژی کره زمین می‌باشد که انرژی صادره از آن به صورت‌های مختلف در جهت تأمین انرژی مورد نیاز اعم از سوخت‌های فسیلی و غیرفسیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر در سیستم‌های تبدیل انرژی زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که بدانیم انرژی تابشی خورشید با استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک، به‌طور مستقیم و بدون نیاز به فرآیندهای واسطه به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و سهولت در دسترسی به انرژی الکتریکی حاصل از برق خورشیدی یکی از کاربردهای آن است. تولید سلول و مدول‌های خورشیدی در چند سال اخیر رشد فزاینده‌ای داشته است و در سال‌های کنونی به بیش از ۲۵۰۰ مگاوات پیک در سال رسیده است.

عمده دلایل توجه به صنعت فتوولتائیک در یک دهه اخیر و رشد سالانه آن به شرح ذیل می باشد:

- ✓ عدم نیاز به سوخت فسیلی و مشکلات سوخت رسانی به ویژه در مناطق صعب العبور
- ✓ قابلیت تولید در محل مصرف، کاهش و صرفه جویی در هزینه‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی و عدم نیاز به شبکه سراسری برق
- ✓ تنوع بخشی با منابع تامین کننده انرژی
- ✓ امکان نصب و را ەاندازی در توا نهای مختلف، متناسب با نیاز مصر ف کننده
- ✓ طول عمر مناسب و سهولت در بهره برداری
- ✓ امکان نصب بر نما و یا روی سقف خانه‌ها و توانایی ذخیره سازی انرژی در باطری

سیستم‌های فتوولتائیک یا برق خورشیدی متشکل از تعدادی پانل خورشیدی می‌باشند که نور خورشید را جذب کرده و آن را مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. الکتریسیته تولیدی توسط این پانل‌ها از نوع DC یا مستقیم است و برای مصارف عمومی توسط اینورتر تبدیل به جریان AC می شود. در بسیاری از کاربردها انرژی