بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی
گروه مکانیک

پایان‌نامه جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک
گرایش تبدیل انرژی

عنوان پایان‌نامه

بررسی عملکرد حرارتی هواگرمکن خورشیدی با موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب

استاد راهنما:

دکترحبیب اله صفرزاده

نگارش:

میلاد احمدوند

اسفند ماه ۱۳۹۳

چکیده

در مطالعه حاضر، دو دستگاه هواگرمکن خورشیدی هر یک با مساحت مؤثر (سطح کلکتور) ۱/۱۴ مترمربع ساخته شد و در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه رازی در زاویه قرارگیری ثابت معادل عرض جغرافیایی شهر کرمانشاه (۳۴/۳۲ درجه شمالی) و روبه جنوب در طول روزهایی از دی‌ماه از ساعت ۱۰ تا ۱۶ و در دبی‌های جرمی ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳ و ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه هوای ورودی، به‌صورت تجربی بررسی شد. این بررسی‌ها برای ۳ حالت با آرایش موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب و یک حالت بدون آرایش موانع (حالت مرجع) انجام شد. از فوم آلومینیومی سلول بسته به‌عنوان موانع متخلخل استفاده شد. موانع متخلخل با ضخامت ۱ سانتی‌متر و سطح ۹۰ سانتی‌متر مربع و با آرایش‌های متوالی، نیمه متناوب و متناوب بر روی صفحه جاذب قرار گرفتند. دمای شیشه، دمای صفحه جاذب، دمای محیط، دمای هوای ورودی و خروجی، سرعت جریان هوای خروجی و تابش خورشید اندازه‌گیری و ثبت شد و سپس بازده حرارتی از دیدگاه قوانین اول و دوم ترمودینامیک بررسی شد.

نتایج نشان می‌دهد که با آرایش موانع متخلخل در حالت کلی به دلیل افزایش سطح انتقال حرارت، کاهش فضای مرده با هدایت جریان به‌تمامی سطح صفحه جاذب و فضای کانال عبور هوا، افزایش میزان آشفتگی جریان و متناسب با آن افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی، عملکرد حرارتی هواگرمکن بهبود می‌یابد. بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش توان ورودی به هواگرمکن با نزدیک شدن به ظهر خورشیدی عملکرد حرارتی (بازده انرژی و بازده اگزرژی) هواگرمکن افزایش می‌یابد و بیش‌ترین بازده در ظهر خورشیدی مشاهده شد. از طرفی با دور شدن از ظهر خورشیدی و نزدیک شدن به غروب آفتاب و کاهش توان ورودی، عملکرد حرارتی هواگرمکن کاهش می‌یابد.

با افزایش دبی جرمی، بازده انرژی و بازده اگزرژی در تمامی حالات بررسی شده افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که بیش‌ترین بازده مربوط به آرایش متناوب در دبی جرمی ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه (با بازده انرژی متوسط ۷۶/۴۱ درصد و بازده اگزرژی متوسط ۴۱/۹۵ درصد) است که در این حالت بازده انرژی و اگزرژی نسبت به حالت مرجع در همان دبی جرمی به ترتیب ۶۳/۷۹ درصد و ۶۰/۰۵ درصد افزایش می‌یابد. کم‌ترین بازده مربوط به حالت مرجع (بدون چیدمان موانع) در دبی جرمی ۰۱/ کیلوگرم بر ثانیه (با بازده انرژی متوسط ۳۰/۵۵ درصد و بازده اگزرژی متوسط ۱۹/۰۷ درصد) است. همچنین در کلیه حالت‌های بررسی شده شامل آرایش موانع بر روی صفحه جاذب و حالت مرجع (بدون چیدمان موانع) بازده انرژی هواگرمکن نسبت به بازده اگزرژی هواگرمکن بیش‌تر می‌باشد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- کاربردهای انرژی خورشیدی ۴
۱-۱-۱- سیستم‌های فوتوولتاییک ۵
۱-۱-۲- کاربردهای نیروگاهی ۵
۱-۱-۲-۱- نیروگاه‌های حرارتی از نوع سهموی خطی ۶
۱-۱-۲-۲- نیروگاه‌های حرارتی از نوع دریافت کننده مرکزی ۷
۱-۱-۲-۳- نیروگاه‌های حرارتی از نوع بشقابی ۸
۱-۱-۲-۴- دودکش‌های حرارتی ۹
۱-۱-۳- کاربردهای غیر نیروگاهی ۹
۱-۱-۳-۱- آب‌شیرین‌کن خورشیدی ۹
۱-۱-۳-۲- اجاق‌های خورشیدی ۱۰
۱-۱-۳-۳- کوره خورشیدی ۱۱
۱-۱-۳-۴- آبگرمکن‌های خورشیدی و حمام خورشیدی ۱۱
۱-۱-۳-۵- سیستم‌های گرمایش و سرمایش و تهویه مطبوع خورشیدی ۱۲
۱-۱-۳-۶- گرمایش و خشک‌کردن با استفاده از هواگرمکن خورشیدی ۱۲
۱-۲- هواگرمکن‌های خورشیدی ۱۳
۱-۳- گرمایش و سرمایش ساختمان ۱۴
۱-۳-۱- سیستم گرمایش خورشیدی غیرفعال ۱۴
۱-۳-۱-۱- روش دریافت مستقیم ۱۵
۱-۳-۱-۲- دیوار آبی ۱۶
۱-۳-۱-۳- دیوار ترومب ۱۸
۱-۳-۱-۴- روش گلخانه‌ای (گرمخانه) ۱۹
۱-۳-۱-۵- استخر یا حوضچه روی بام ۲۱
۱-۳-۱-۶- هواکش حرارتی (برج هوا) ۲۲
۱-۳-۲- سیستم گرمایش خورشیدی فعال ۲۴
۱-۴- خشک‌کن‌های خورشیدی ۲۵
۱-۴-۱- خشک‌کن غیرفعال ۲۵
۱-۴-۱-۱- خشک‌کن کابینتی ۲۵
۱-۴-۱-۲- خشک‌کن گلخانه‌ای گنبدی ۲۶
۱-۴-۱-۳- خشک‌کن گلخانه‌ای دود کشی ۲۷
۱-۴-۱-۴- خشک‌کن سقف شیشه‌ای ۲۸
۱-۴-۱-۵- خشک‌کن چادری ۲۸

۱-۴-۲- خشک‌کن فعال ۲۹
۱-۴-۲-۱- خشک‌کن غیرمستقیم ۲۹
۱-۴-۲-۲- خشک‌کن گلخانه‌ای ۳۰
۱-۴-۲-۳- خشک‌کن سقف کلکتوری ۳۱
۱-۴-۲-۴- خشک‌کن سقف شفاف ۳۲
فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته
مروری بر کارهای گذشته ۳۴
فصل سوم: متال فوم ها
متال فوم ها ۵۸
فصل چهارم: مدل آزمایش
۴-۱- ساختمان دستگاه هواگرمکن خورشیدی ۶۳
۴-۱-۱ قاب یا بدنه اصلی دستگاه ۶۵
۴-۱-۲- عایق‌بندی ۶۵
۴-۱-۳- صفحه جاذب ۶۷
۴-۱-۴- پوشش شفاف ۶۸
۴-۱-۵- موانع ۶۸
۴-۱-۵-۱- مشخصات موانع ۶۸
۴-۱-۵-۲- آرایش موانع روی صفحه جاذب ۷۱
۴-۱-۶- ترموکوپل‌ها ۷۵
۴-۱-۶-۱- ترموکوپل روی صفحه جاذب ۷۵
۴-۱-۶-۲- ترموکوپل‌های روی پوشش شیشه‌ای ۷۶
۴-۱-۶-۳- ترموکوپل‌های نصب شده بروی اتصالات ورودی و خروجی هوا ۷۶
۴-۱-۷- شیرهای مکانیکی کنترل جریان ۷۶
۴-۱-۸- فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار ۷۷
۴-۱-۹- دمنده هوا ۷۸
۴-۲- روش آزمایش ۷۸
فصل پنجم- تئوری مسئله
۵-۱- دینامیک سیالات ۸۱
۵-۲- مدل ریاضی هواگرمکن خورشیدی ۸۲
۵-۲-۱- معادله موازنه انرژی در پوشش شفاف ۸۲
۵-۲-۲- معادله موازنه انرژی بری هوای درون کانال ۸۳
۵-۲-۳- معادله موازنه انرژی صفحه جاذب ۸۳
۵-۳- بازده حرارتی هواگرمکن از دیدگاه قانون اول ترمودینامیک (تحلیل انرژی) ۸۳
۵-۴- بازده حرارتی هواگرمکن از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک (تحلیل اگزرژی) ۸۴

فصل ششم: بررسی نتایج از دیدگاه قانون اول (تحلیل انرژی) و قانون دوم ترمودینامیک (تحلیل اگزرژی)

۶-۱- شرایط محیطی ۸۷
۶- بررسی تغییرات دمای اجزای هواگرمکن ۸۷
۶-۳- بررسی اختلاف دمای خروجی و ورودی هواگرمکن ۹۰
۶-۳-۱- بررسی اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن با چیدمان موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب ۹۰
۶-۳-۲- بررسی تغییرات متوسط روزانه اختلاف دمای هوای خروجی و ورودی به هواگرمکن، بر حسب دبی جرمی هوای ورودی به هواگرمکن ۹۳
۶-۴- بررسی عملکرد حرارتی هواگرمکن خورشیدی از دیدگاه قانون اول ترمودینامیک (تحلیل انرژی). ۹۴
۶-۴-۱- بررسی بازده انرژی حرارتی هواگرمکن خورشیدی با چیدمان موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب ۹۴
۶-۴-۲- بررسی تغییرات متوسط بازده انرژی، بر حسب دبی جرمی ۹۸
۶-۴-۳- بررسی بازده انرژی برحسب اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی ۹۹
۶-۵- بررسی عملکرد حرارتی هواگرمکن خورشیدی از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک (تحلیل اگزرژی) ۱۰۲
۶-۵-۱-بررسی بازده اگزرژی هواگرمکن خورشیدی با چیدمان موانع متخلخل برروی صفحه جاذب ۱۰۲
۶-۵-۲- بررسی تغییرات متوسط بازده قانون دوم، نسبت به دبی جرمی ۱۰۵
۶-۵-۳- بررسی عملکرد حرارتی (بازده اگزرژی) برحسب اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی ۱۰۶
۶-۵-۴- اتلاف اگزرژی بی بعد و پتانسیل بهبود یافته بر حسب دبی جرمی ۱۰۸
۶-۵-۵- جداول تحلیل اگزرژی ۱۱۰

فصل هفتم- نتیجه گیری

۷-۱- نتیجه گیری ۱۱۳
۷-۲- پیشنهادات ۱۱۴

پیوست ۱۱۷

منابع ۱۱۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- تأمین برق به روش فوتوولتاییک [۴] ۵
شکل ۱-۲- نیروگاه سهموی خطی [۴] ۶
شکل ۱-۳- نیروگاه حرارت مرکزی [۴] ۷
شکل ۱-۴- نیروگاه‌های حرارتی از نوع بشقابی [۴] ۸
شکل ۱-۵- نمای شماتیک از دودکش خورشیدی [۴] ۹
شکل ۱-۶- آب‌شیرین‌کن خورشیدی [۴] ۱۰
شکل ۱-۷- اجاق خورشیدی [۴] ۱۰
شکل ۱-۸- کوره خورشیدی [۴] ۱۱
شکل ۱-۹- آبگرمکن‌های خورشیدی و حمام خورشیدی [۴] ۱۲
شکل ۱-۱۰- هواگرمکن‌های خورشیدی به صورت شیب‌دار جهت نصب بر روی پشت‌بام [۵] ۱۴
شکل ۱-۱۱- گرمایش ساختمان با ورود مستقیم نور خورشید به داخل اتاق[۳] ۱۶
شکل ۱-۱۲- حالت‌های مختلف قرارگیری دیواره آبی, به‌منظور گرمایش ساختمان [۳] ۱۷
شکل ۱-۱۳- استفاده از دیوار ذخیره کننده انرژی (دیوار ترومب) برای گرم کردن ساختمان [۳] ۱۹
شکل ۱-۱۴- روش گلخانه‌ای برای گرمایش ساختمان[۳] ۲۰
شکل ۱-۱۵- بهره‌گیری از استخر یا حوضچه‌ی روی بام به‌منظور گرمایش ساختمان[۳] ۲۱
شکل ۱-۱۶- گرمایش ساختمان به روش طبیعی[۳] ۲۲
شکل ۱-۱۷- گرمایش ساختمان به روش طبیعی[۳] ۲۳
شکل ۱-۱۸- گرمایش ساختمان به روش فعال[۶] ۲۴
شکل ۱-۱۹- خشک‌کن‌های کابینتی[۷] ۲۶
شکل ۱-۲۰- خشک‌کن‌های نوع گلخانه‌ای گنبدی [۷] ۲۷
شکل ۱-۲۱- خشک‌کن نوع گلخانه‌ای دود کشی[۷] ۲۷
شکل ۱-۲۲:خشک‌کن‌های نوع سقف شیشه‌ای[۷] ۲۸
شکل ۱-۲۳- خشک‌کن‌های چادری[۷] ۲۹
شکل ۱-۲۴- خشک‌کن غیر مستقیم-فعال [۷] ۳۰
شکل ۱-۲۵- خشک‌کن خورشیدی گلخانه ای-فعال [۷] ۳۱
شکل ۱-۲۶- خشک‌کن مستقیم-فعال [۷] ۳۱
شکل ۱-۲۷- خشک‌کن سقف شفاف[۷] ۳۲
شکل ۲-۱- آرایش قرارگیری دندانه‌های مایل و مایل دارای بریدگی[۱۳] ۳۵
شکل ۲-۲- دندانه‌های گوه‌ای شکل[۱۵] ۳۵
شکل ۲-۳- آرایش دادن دندانه‌های مختلف روی صفحه جاذب[۹]. ۳۶
شکل ۲-۴- شماتیک هواگرمکن با فین‌های طولی با بازیاب[۱۶] ۳۷
شکل ۲-۵- آرایش قرارگیری فین‌های طولی در هواگرمکن دارای کانال بازیاب[۱۶]. ۳۷

شکل ۲-۶- راندمان هواگرمکن بر حسب بازیاب[۱]..... ۳۸
شکل ۲-۷- شمای کلی هواگرمکن[۱۷]..... ۳۸
شکل ۲-۸- آرایش قرارگیری فین‌های طولی و بافل‌های متصل به آن[۱۷]..... ۳۹
شکل ۲-۹- آرایش قرارگیری فین‌ها و بافل‌های متصل به آن[۱۸]..... ۴۰
شکل ۲-۱۰- چیدمان فین‌های طولی در دو طرف صفحه جاذب[۱۹]..... ۴۱
شکل ۲-۱۱- راندمان حرارتی هواگرمکن بر حسب ارتفاع و تعداد فین[۱۹]..... ۴۱
شکل ۲-۱۲- شماتیک هواگرمکن با بازیاب همراه با فین‌های طولی[۲۰] ۴۲
شکل ۲-۱۳- آرایش فین‌های طولی[۲۰] ۴۲
شکل ۲-۱۴- چیدمان فین‌های طولی[۲۱] ۴۳
شکل ۲-۱۵- راندمان حرارتی هواگرمکن[۲۱] ۴۳
شکل ۲-۱۶- هواگرمکن و چیدمان فین‌ها بر روی صفحه جاذب[۲۲] ۴۴
شکل ۲-۱۷- آرایش قرارگیری لوله‌ها بر روی صفحه جاذب[۲۳] ۴۵
شکل ۲-۱۸- بازده انرژی در ساعات روز برای هر سه نوع هواگرمکن در دبی‌های ثابت[۲۳]..... ۴۶
شکل ۲-۱۹- شمای کلی هواگرمکن، آرایش موانع و محل قرارگیری صفحه جاذب [۲۴]..... ۴۶
شکل ۲-۲۰- موقعیت‌های قرارگیری صفحه جاذب [۲۴]..... ۴۷
شکل ۲-۲۱- شماتیک هواگرمکن[۲۴]..... ۴۷
شکل ۲-۲۲- بازده انرژی چهار نوع هواگرمکن در ساعات مختلف روز[۲۴]..... ۴۸
شکل ۲-۲۳- چیدمان موانع و هواگرمکن به‌کاررفته[۲۵]..... ۴۹
شکل ۲-۲۴- راندمان هواگرمکن[۲۵]..... ۵۰
شکل ۲-۲۵- نحوه قرارگیری موانع بر روی صفحه جاذب[۲۶]..... ۵۱
شکل ۲-۲۶- آرایش فین‌های طولی همراه با ماتریس‌های متخلخل[۲۷]..... ۵۲
شکل ۲-۲۷- راندمان حرارتی هواگرمکن بر حسب دبی جریان[۲۸]..... ۵۳
شکل ۲-۲۸- عملکرد هواگرمکن دارای فین‌های طولی در ساعات مختلف روز[۲۸]..... ۵۳
شکل ۲-۲۹- شمای کلی هواگرمکن و نمای کلکتور از جلو[۲۸]..... ۵۴
شکل ۲-۳۰- بازده متوسط روزانه بر حسب دبی[۲۸]..... ۵۵
شکل ۲-۳۱- نمای کلی از هواگرمکن[۱۲]..... ۵۵
شکل ۲-۳۲- بازده انرژی و اگزرژی[۱۲]..... ۵۶
شکل ۳-۱- یک نوع فوم فلزی با سه درصد تخلخل[۳۱]..... ۵۹
شکل ۳-۲- فوم فلزی سلول باز و نحوه‌ی عبور جریان از آن[۳۲]..... ۶۰
شکل ۳-۳- فوم فلزی سلول بسته [۳۳]..... ۶۰
شکل ۴-۱- شمای کلی دستگاه هواگرمکن خورشیدی مطالعه حاضر..... ۶۴
شکل ۴-۲- شماتیک دستگاه هواگرمکن ساخته شده مطالعه حاضر..... ۶۴
شکل ۴-۳- بدنه چوبی هواگرمکن..... ۶۵
شکل ۴-۴- عایق یونولیت در زیر صفحه جاذب (پشت هواگرمکن)..... ۶۶
شکل ۴-۵- عایق پشم شیشه الحاق شده در زیر صفحه جاذب (پشت هواگرمکن)..... ۶۶
شکل ۴-۶- صفحه جاذب..... ۶۷

شکل ۴-۷- الف) بدنه چوبی هواگرمکن ب) نمای پشت هواگرمکن با قرارگیری صفحه جاذب در شیار تعبیه شده ج) نمای روبه روی هواگرمکن با رنگ آمیزی صفحه جاذب ۶۷
شکل ۴-۸- پوشش شیشه‌ای ۶۸
شکل ۴-۹- درزگیری شیشه‌ها ۶۸
شکل ۴-۱۰- تصویر مانع استفاده شده در آزمایش ۶۹
شکل ۴-۱۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از فوم آلومینیومی ۷۰
شکل ۴-۱۲- تصویر میکروسکوپ نوری از فوم آلومینیومی ۷۰
شکل ۴-۱۳- آرایش مرجع- بدون چیدمان موانع ۷۱
شکل ۴-۱۴- آرایش متوالی موانع متخلخل ۷۲
شکل ۴-۱۵- آرایش نیمه متناوب موانع متخلخل ۷۲
شکل ۴-۱۶- آرایش متناوب موانع متخلخل ۷۳
شکل ۴-۱۷- آرایش موانع- (الف) نمای کنار آرایش متوالی، نیمه متناوب و متناوب موانع.(ب) نمای بالای آرایش متوالی موانع.(ج)نمای بالای آرایش نیمه متناوب موانع .(د)نمای بالای آرایش متناوب موانع ۷۴
شکل ۴-۱۸- ترموکوپل نوع K با طول سیم بلند ۷۵
شکل ۴-۱۹- الف- محل قرارگیری ترموکوپل‌ها روی صفحه جاذب و فاصله آن‌ها از یکدیگر ب- شیار تعبیه شده در صفحه جاذب برای اتصال بهتر ترموکوپل و صفحه جاذب ۷۵
شکل ۴-۲۰- اتصالات ورودی جریان ۷۶
شکل ۴-۲۱- لوله خروجی جریان ۷۶
شکل ۴-۲۲- شیرهای گازی جهت تنظیم جریان هوای ورودی ۷۷
شکل ۴-۲۳- فشار سنج (مانومتر) برای اندازه‌گیری فشار ۷۷
شکل ۴-۲۴- دمنده سانتریفوژ برای دمیدن هوا در هواگرمکن ۷۸
شکل ۴-۲۵- دیتالاگر دوازده کاناله لوترون ۷۸
شکل ۴-۲۶- تابش سنج برای اندازه‌گیری برای اندازه‌گیری تابش خورشید ۷۹
۴-۲۷- بادسنج توربینی برای اندازه‌گیری سرعت جریان هوا ۷۹
شکل ۶-۱- شرایط محیطی متوسط ۸۷
شکل ۶-۲- تغییرات دمای اجزای هواگرمکن در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه ۸۸
شکل ۶-۳- تغییرات دمای اجزای هواگرمکن در دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه ۸۸
شکل ۶-۴- تغییرات دمای اجزای هواگرمکن در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه ۸۹
شکل ۶-۵- تغییرات دمای اجزای هواگرمکن در دبی جرمی ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه ۸۹
شکل ۶-۶- اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن در طول روز برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه ۹۰
شکل ۶-۷- اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن در طول روز برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه ۹۱
شکل ۶-۸- اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن در طول روز برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه ۹۱

شکل ۶-۹- اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن در طول روز برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه ۹۲
شکل ۶-۱۰- تغییرات متوسط روزانه، اختلاف دمای هوای خروجی و ورودی به هواگرمکن برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل برحسب دبی جرمی هوای ورودی به هواگرمکن ۹۳
شکل ۶-۱۱- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز از دیدگاه قانون اول ترمودینامیک برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه ۹۵
شکل ۶-۱۲- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز از دیدگاه قانون اول ترمودینامیک برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه ۹۵
شکل ۶-۱۳- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز از دیدگاه قانون اول ترمودینامیک برای چیدمان‌های مختلف موانع ثابت در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه ۹۶
شکل ۶-۱۴- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز از دیدگاه قانون اول ترمودینامیک برای چیدمان‌های مختلف موانع ثابت در دبی جرمی ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه ۹۶
شکل ۶-۱۵- تغییرات متوسط روزانه، عملکرد حرارتی هواگرمکن (بازده انرژی) برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل برحسب دبی جرمی هوای ورودی به هواگرمکن ۹۸
شکل ۶-۱۶- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز برحسب نسبت اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه ۹۹
شکل ۶-۱۷- عملکرد حرارتی هواگرمکن (بازده انرژی) در طول روز برحسب نسبت اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۰
شکل ۶-۱۸- عملکرد حرارتی هواگرمکن (بازده انرژی) در طول روز برحسب نسبت اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۰
شکل ۶-۱۹- عملکرد حرارتی هواگرمکن (بازده انرژی) در طول روز برحسب نسبت اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۱
شکل ۶-۲۰- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۲
شکل ۶-۲۱- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۳
شکل ۶-۲۲- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۳
شکل ۶-۲۳- عملکرد حرارتی هواگرمکن در طول روز از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۴
شکل ۶-۲۴- تغییرات بازده اگزرژی برحسب دبی جرمی هوای ورودی، برای آرایش موانع متخلخل ۱۰۵

شکل ۶-۲۵- عملکرد حرارتی هواگرمکن (بازده اگزرژی) در طول روز برحسب نسبت اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۶
شکل ۶-۲۶- عملکرد حرارتی هواگرمکن (بازده اگزرژی) در طول روز برحسب نسبت اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۷
شکل ۶-۲۷- عملکرد حرارتی هواگرمکن (بازده اگزرژی) در طول روز برحسب نسبت اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۷
شکل ۶-۲۸- عملکرد حرارتی هواگرمکن (بازده اگزرژی) در طول روز برحسب نسبت اختلاف دمای آنی بر شدت تابش دریافتی برای چیدمان‌های مختلف موانع متخلخل در دبی جرمی ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه ۱۰۸
شکل ۶-۲۹- تغییرات اگزرژی تخریب شده برحسب دبی جرمی هوای ورودی، برای آرایش موانع متخلخل ۱۰۹
شکل ۶-۳۰- تغییرات پتانسیل بهبود یافته، برحسب دبی جرمی هوای ورودی، برای آرایش موانع متخلخل ۱۰۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- خواص فوم آلومینیومی به کار رفته در آزمایش..... ۶۹
جدول۶-۱- اختلاف دمای متوسط روزانه بین هوای ورودی و خروجی از هواگرمکن برای چیدمان های متفاوت از آرایش موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب در گستره دبی جرمی ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه..... ۹۳
جدول۶-۲- ثابت های معادله تغییرات دمای بین هوای ورودی و خروجی از هواگرمکن، برحسب دبی جرمی هوای ورودی به هواگرمکن..... ۹۴
جدول۶-۳- عملکرد حرارتی متوسط روزانه هواگرمکن برای چیدمان های متفاوت از آرایش موانع بر روی صفحه جاذب در گسترده دبی ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه..... ۹۷
جدول۶-۴- ثابت های معادله بازده حرارتی برحسب دبی جرمی هوای ورودی به هواگرمکن..... ۹۸
جدول۶-۵- نسبت اختلاف دما بر شدت تابش متوسط روزانه هواگرمکن برای چیدمان های متفاوت از آرایش موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب در گستره دبی جرمی ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ کیلوگرم برثانیه ۱۰۱
جدول۶-۶- متوسط بازده اگزرژی هواگرمکن برای چیدمان های متفاوت از آرایش موانع بر روی صفحه جاذب در گستره دبی ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه..... ۱۰۵
جدول۶-۷- ثابت های معادله درجه دوم عبور داده شده برای حالت های مختلف..... ۱۰۶
جدول۶-۸:تحلیل اگزرژی هواگرمکن برای چیدمان های متفاوت از آرایش موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه..... ۱۱۰
جدول۶-۹- تحلیل اگزرژی هواگرمکن برای چیدمان های متفاوت از آرایش موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب در دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه..... ۱۱۰
جدول۶-۱۰- تحلیل اگزرژی هواگرمکن برای چیدمان های متفاوت از آرایش موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه..... ۱۱۱
جدول۶-۱۱- تحلیل اگزرژی هواگرمکن برای چیدمان های متفاوت از آرایش موانع متخلخل بر روی صفحه جاذب در دبی جرمی ۰/۰۴ کیلوگرم بر ثانیه..... ۱۱۱

فهرست علائم

سطح مؤثر صفحه جاذب (m^2)	A_c
مساحت صفحه جاذب (m^2)	A_p
ظرفیت گرمایی مخصوص (J/kgK)	C_P
نرخ اگزرژی تخریب شده (kW)	$\dot{\mathrm{E}}\mathrm{X}_{\mathrm{dest}}$
نرخ اگزرژی اتلافی بی بعد(kW)	$\dot{\mathrm{E}}\mathrm{X}_D$
پتانسیل بهبود یافته (kW)	$\dot{\mathrm{I}}\mathrm{P}$
نرخ اگزرژی ورودی و خروجی (kW)	$\dot{\mathrm{E}}_{\mathrm{in}}, \dot{\mathrm{E}}_{\mathrm{out}}$
تابش دریافتی (W/m^2)	G_{T}
انتالپی هوای محیط (kJ/kg)	h_a
ضریب انتقال حرارت هدایت از شیشه $(W/m^2.k)$	h_{c}
ضریب انتقال حرارت جابجایی میان پوشش شفاف و هوای درون کانال $(W/m^2.k)$	h_{cgf}
انتالپی هوای ورودی و خروجی (kJ/kg)	$\mathrm{h}_{\mathrm{in}}, \mathrm{h}_{\mathrm{out}}$
ضریب انتقال حرارت تابشی از پوشش شفاف به آسمان $(W/m^2.k)$	$\mathrm{h}_{\mathrm{rgs}}$
ضریب انتقال حرارت تشعشع میان صفحه جاذب و پوشش شفاف$(W/m^2.k)$	h_{rgp}
ضریب انتقال حرارت جابجایی میان صفحه جاذب و هوای درون کانال $(W/m^2.k)$	h_{cpf}
ضریب انتقال حرارت جابجای توسط باد$(W/m^2.k)$	$\mathrm{h}_{\mathrm{wind}}$
انرژی جنبشی (kJ)	K
ضریب انتقال حرارت هدایت سیال(هوا) $(W/m.K)$	K_f
طول پوشش شفاف (m^2)	L_{g}
طول دیوار هوا گرمکن (m^2)	L_{p}
نرخ جریان جرم (kg/s)	$\dot{m}$
عدد ناسلت	Nu
فشار هوای ورودی و خروجی (kPa)	$\mathrm{p}_{\mathrm{in}}, p_{out}$
انرژی مفید انتقال یافته به سیال (هوا) (W/m^2)	Q_c
ثابت گاز ها (kJ/kgK)	R
انتروپی هوای پیرامون(kJ/kg)	s_{a}
تابش رسیده به پوشش شفاف(W/m^2)	S_{g}
انتروپی تولید شده(kJ/kg)	s_{gen}
انتروپی هوای ورودی و خروجی از هواگرمکن(kJ/kg)	$\mathrm{s}_{\mathrm{in}}, s_{out}$
اتلاف انرژی جنبشی (kJ)	s_{k}
اتلاف مومنتوم در جهت محور x ها (kJ)	s_{u}
اتلاف مومنتوم در جهت محور y ها(kJ)	s_{v}
اتلاف مومنتوم در جهت محور z ها(kJ)	s_{w}
اتلاف انرژی حرارتی(kJ)	s_{w}

s_ε	تلفات انرژی (kJ)
S_p	تابش رسیده به صفحه جاذب (w/m^2)
t	زمان
$\mathrm{T_a}$	دمای محیط پیرامون $(\mathrm{°C})$
T_f	میانگین دمای هوای درون $(\mathrm{°C})$
$T_\mathrm{f,i}$	دمای هوای ورودی به هواگرمکن $(\mathrm{°C})$
$T_\mathrm{f,o}$	دمای هوای خروجی از هواگرمکن $(\mathrm{°C})$
T_g	میانگین دمای پوشش شفاف $(\mathrm{°C})$
T_m	دمای متوسط $(\mathrm{°C})$
T_s	دمای سطح (K)
T_sky	دمای معادل آسمان $(\mathrm{°C})$
T_w	میانگین دمای دیواره $(\mathrm{°C})$
u	سرعت در جهت محور x ها (m/s)
u_wind	سرعت وزش باد (m/s)
U_c	ضریب اتلاف حرارتی $(W/m^2.K)$
v	سرعت در جهت محور y ها (m/s)
w	سرعت در جهت محور z ها (m/s)
τ	ضریب عبور
ϑ	ویسکوزیته $kg/\mathrm{m.s}$
ϑ_T	ویسکوزیته جریان آشفته $kg/\mathrm{m.s}$
η	بازده انرژی
η_Π	بازده اگزرژی
α_g	ضریب جذب پوشش شفاف
α_w	ضریب جذب صفحه جاذب
σ	ثابت استفان بولتز من $(5.67 \times 10^{-8}\, W/m^2K^4)$
ε	ضریب گسیل
γ	ضریب تقریب دمای توسط
$\psi_\mathrm{in}, \psi_\mathrm{out}$	اگزرژی جریانی ورودی و خروجی (kW)
M_P	جرم صفحه جاذب $(\mathrm{°C})$
$T_{p,ave}$	دمای میانگین صفحه $(\mathrm{°C})$
η_O	بازده نوری $(\mathrm{°C})$
T_e	دمای محیط $(\mathrm{°C})$
T_sky	دمای معادل آسمان $(\mathrm{°C})$
I	شدت تابش (W/m^2)

فصل اول

مقدمه

انرژی، منشأ اصلی و اساس زندگی انسان‌هاست. دوره‌های مختلف تمدن بشر بر اساس کشفیات، اختراعات و چگونگی بهره‌گیری از منابع انرژی‌های گوناگون موجود شکل گرفته است و بنابراین می‌توان بحث انرژی را به‌عنوان بنیاد و اساس زندگی اجتماعی امروز بشر بررسی کرد.

اکتشافات، تحقیقات، اختراعات و بهره‌گیری از انرژی‌های مختلف، از اساسی‌ترین و مهم‌ترین گام‌هایی است که انسان‌ها در طول تاریخ در راه پیشرفت خود برداشته‌اند. رشد علم و صنعت و تکنولوژی در جهان امروز، روش‌های استفاده از اشکال ساده انرژی را که در دوران قبل از انقلاب صنعتی معمول بوده را دگرگون کرده و شناخت منابع انرژی‌های جدید، تحولی عظیم در توسعه صنعتی و تکامل اجتماعی بشر به وجود آورده است.

خورشید، عامل و منشأ انرژی‌های گوناگونی است که در طبیعت موجود است. از جمله سوخت‌های فسیلی که در اعماق زمین ذخیره شده‌اند، انرژی آبشارها و باد، نمو گیاهان که انسان‌ها و حیوانات برای رشد خود از آن استفاده می‌کنند، کلیه مواد آلی که قابل تبدیل به انرژی حرارتی و مکانیکی هستند، امواج دریاها، قدرت جزر و مد که بر اساس جاذبه و حرکت زمین به دور خورشید و ماه حاصل می‌شود، این‌ها همه نمادهایی از خورشید هستند. انرژی هسته‌ای را می‌توان یک استثنا کلی دانست، با این‌که امروزه یکی از منابع مهم تولید انرژی در جهان شناخته شده است. انرژی اتمی نیاز به تکنیکی بسیار پیشرفته و گران قیمت دارد و در موقع استفاده از آن خطرات احتمالی و مضرات آن را نیز باید مدنظر قرار داد. با مطالعه در تاریخ زندگی انسان‌ها خواهیم دید که انرژی قابل استفاده برای انسان نخستین، تنها قدرت بدنی او بوده و مدت‌ها گذشت تا او توانست با رام کردن حیوانات و به خدمت گرفتن سایر انسان‌ها و نیز سوزاندن درختان، احتیاجات خود را برآورده سازد، تا این‌که انسان با دستیابی به منابع سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ و نفت و گاز توانست قدرت فنی و مادی خویش را به‌صورت بی‌سابقه‌ای افزایش دهد.

استفاده از قدرت باد در آسیاها و کشتیرانی و به‌کارگیری انرژی آب در چرخ‌ها و توربین‌های آبی، بعد از گسترش معلومات علمی و تکنیکی بشر امکان‌پذیر شد. دستیابی به قوانین فیزیکی و اصول علمی انرژی‌های مختلف و نحوه استفاده گوناگون از آن‌ها، زندگی بشر را مرفه‌تر کرد و طرز فکر او را متوجه مادیات ساخت. وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی فسیلی به‌خصوص نفت و گاز و به‌کارگیری مصرف بی رویه آن‌ها ممکن است منابع عظیمی را که طی قرون متمادی در لایه زیرین زمین تشکیل شده است را تخلیه نماید. با توجه به این‌که منابع انرژی زیرزمینی با سرعت فوق‌العاده‌ای مصرف می‌شوند و در آینده‌ای نه‌چندان دور

چیزی از آن‌ها باقی نخواهد ماند، نسل فعلی وظیفه دارد به آن دسته از منابع انرژی که دارای عمر و پتانسیل زیادی هستند روی آورده و دانش خود را برای بهره‌گیری از آن‌ها گسترش دهد.

خورشید یکی از دو منبع انرژی است که باید به آن روی آورد، ضمن این‌که به تکنولوژی پیشرفته و پرخرج نیاز نداشته و می‌تواند به‌عنوان یک منبع مفید و تأمین کننده انرژی در اکثر نقاط جهان به کار گرفته شود. به‌علاوه استفاده از آن برخلاف انرژی هسته‌ای خطر و اثر نامطلوبی از خود باقی نمی‌گذارد و برای کشورهایی که فاقد منابع زیرزمینی هستند مناسب‌ترین راه برای دسترسی به نیرو و رشد و توسعه اقتصاد می‌باشد[۱].

مقدار انرژی خورشید که بر زمین می‌تابد، بسیار زیاد است. تمامی انرژی نهفته در ذخایر زغال‌سنگ، گاز و نفت کره زمین، معادل انرژی ۲۰ روز تابش خورشید است. انرژی خورشید در خارج از جو کره زمین، ۱۳۰۰ وات بر مربع است. یک سوم از نور خورشید را جو زمین منعکس می‌کند و به فضا بازمی‌تاباند مقداری را هم جذب می‌کند. هنگامی‌که نور خورشید به کره زمین می‌رسد، انرژی موجود در آن به ۱۰۰۰ وات بر مترمربع (در هنگام ظهر یک روز بدون ابر) کاهش می‌یابد. میانگین دریافت انرژی کل سطح زمین در طول یک سال، معادل یک بشکه نفت به ازای هر مترمربع است. درنتیجه به‌طور متوسط هر مترمربع روزانه ۲/۴ کیلووات‌ساعت انرژی دریافت می‌کند[۲].

در ایران، باوجوداین‌که یکی از کشورهای نفت خیز به شمار می‌آید و دارای منابع عظیم گاز طبیعی نیز می‌باشد خوشبختانه به علت تابش خورشید در اکثر مناطق کشور اجرای طرح‌های خورشیدی در شهرها و روستاها در سطح کشور می‌تواند صرفه‌جویی مهمی در مصرف نفت و گاز را به همراه داشته باشد تا نسل‌های آینده این کشور هم بتوانند از این منابع قیمتی زیرزمینی بهره بگیرند.

با توجه به متوسط ساعات آفتابی سالیانه ایران (بهار حدود ۷۰۰ ساعت – پاییز حدود ۸۳۰ ساعت – تابستان حدود ۱۰۵۰ ساعت – زمستان حدود ۵۰۰ ساعت) نتیجه می‌شود که ایران با استفاده از انرژی خورشیدی قادر خواهد بود که قسمتی زیادی از انرژی مورد نیاز خود را از این منبع ارزان و بدون آلودگی زیست محیطی تأمین کند.

هم‌چنین ایران یک کشور کشاورزی است و درصد زیادی از جمعیت در روستاها زندگی می‌کنند. تأمین انرژی مصرفی در روستاها، برای ازدیاد تولیدات کشاورزی و بالا بردن سطح زندگی و ایجاد صنایع محلی، نه‌تنها ضروری بلکه یک امر حیاتی است. در این خصوص انرژی خورشیدی می‌تواند نقش اساسی را ایفا کند[۳].

تکنولوژی ساده، آلوده نشدن هوا و حفظ محیط زیست و از همه مهم‌تر ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی برای آیندگان و یا تبدیل آن‌ها به مواد و مصنوعات پرارزش با استفاده از تکنیک‌های پتروشیمی، از عمده دلایلی هستند که لزوم استفاده از انرژی‌های نو و تجدید پذیر را برای کشور آشکار می‌سازد.

امروزه، استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای گرم کردن منازل از لحاظ تکنیکی امکان‌پذیر می‌باشد. از نظر اقتصادی نیز به علت افزایش روزافزون قیمت سوخت‌های فسیلی و سایر منابع انرژی و تلاش علم در کاهش هزینه مواد اولیه و لوازم مورد نیاز برای جمع آوری حرارت و پرتوهای خورشیدی، محققین و دانشمندان را در جهت مطالعه و بهینه سازی سیستم‌های خورشیدی تشویق نموده و به پیشرفت‌های مهمی نیز دست یافته اند.

دلایل اهمیت و لزوم به‌کارگیری و استفاده از انرژی خورشیدی را در چند مورد می‌توان خلاصه کرد:

۱- ارزش واقعی منابع فسیلی خیلی بیش‌تر از آن است که از نفت برای گرم کردن آب یا گرمایش ساختمان‌ها و اموری از قبیل آن‌ها استفاده شود.

۲-منابع نفت و گاز رو به زوال اند و دیر یا زود این منابع تخلیه خواهند شد.

۳-در مواقع بحرانی مانند زمان جنگ که اختلالاتی در استخراج و تولید ایجاد می‌شود و یا در زمستان که به علت بسته بودن راه‌ها، امر توزیع مختل می‌گردد، مصرف‌کنندگان با کمبود شدید سوخت روبه‌رو خواهند شد.

۴-آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی به یکی از مهم‌ترین بحران‌ها تبدیل شده است.

بنابراین استفاده و جایگزینی انرژی‌های نو به جای سوخت‌های فسیلی امری ضروری است. در بین انرژی‌های نو، انرژی خورشیدی از جایگاه ممتاز و ویژه‌ای برخوردار است. انرژی خورشیدی، منبع بی‌پایان انرژی است و از نظر سازگاری با محیط زیست بسیار مناسب می‌باشد. هم‌چنین، انرژی فراوان و لایزال خورشید، بدون نیاز به شبکه‌های انتقال و توزیع عظیم و پرخرج، در سراسر کشور گسترده شده است. معماری سنتی ایران نشان‌دهنده توجه خاص ایرانیان در استفاده صحیح و مؤثر از انرژی خورشید در زمان‌های قدیم می‌باشد. متأسفانه در حال حاضر و با وجود این علم و تکنولوژی جدید در کشور استفاده از انرژی خورشیدی خیلی کم می‌باشد.

مهم‌ترین نکته این است پژوهشگران و مخترعین و صنعتگران ایرانی باید طرح‌ها و دستگاه‌هایی را معرفی کنند که با شرایط جوی و علمی و فنی ایران مطابقت داشته و از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه باشد[۱].

از انرژی خورشیدی توسط سیستم‌های مختلف و برای مقاصد مختلف بهره‌برداری می‌شود. در ادامه برخی کاربردهای انرژی خورشیدی آمده است:

۱-۱- کاربردهای انرژی خورشید

از انرژی خورشیدی توسط سیستم‌های مختلف و برای مقاصد مختلف بهره‌برداری می‌شود که عبارت‌اند از[۴]:

الف: تبدیل مستقیم نور حاصل از پرتوهای خورشید به الکتریسیته به‌وسیله تجهیزاتی به نام فوتوولتاییک[1].

[1] photovolltaic

ب: استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف نیروگاهی

ج: استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف غیر نیروگاهی

۱-۱-۱- سیستم‌های فوتوولتاییک

به پدیده‌ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک، الکتریسیته تولید کند پدیده فوتوولتاییک و به هر سیستمی که از این پدیده‌ها استفاده کند سیستم فوتوولتاییک گویند. سیستم‌های فوتوولتاییک یکی از پرمصرف‌ترین کاربردهای انرژی‌های نو می‌باشند و تاکنون سیستم‌های گوناگونی با ظرفیت‌های مختلف (۰/۵ وات تا چند مگاوات) در سراسر جهان نصب و راه‌اندازی شده است و با توجه به قابلیت اطمینان و عملکرد این سیستم‌ها هر روزه بر تعداد متقاضیان آن‌ها افزوده می‌شود. شکل ۱-۱ نمونه‌ای از روش تأمین برق فوتوولتاییک را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۱: تأمین برق به روش فوتوولتاییک[٤]

۱-۱-۲- کاربردهای نیروگاهی

تأسیساتی که با استفاده از آن‌ها انرژی جذب شده حرارتی خورشید به الکتریسیته تبدیل می‌شود نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می‌شود. این تأسیسات بر اساس انواع متمرکز کننده‌های موجود و برحسب اشکال هندسی متمرکز کننده‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- نیروگاه‌هایی که گیرنده آن‌ها آینه‌های سهموی ناودانی هستند.
- نیروگاه‌هایی که گیرنده آن‌ها در یک برج قرار دارد و نور خورشید توسط آیینه‌های بزرگی به نام هلیوستات[1] به آن منعکس می‌شود. (دریافت کننده مرکزی)
- نیروگاه‌هایی که گیرنده آن‌ها بشقابی سهموی (دیش) است.

[1] heliostat