



دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی
گروه آموزشی مهندسی مکانیک و بیوسیستم

رساله برای دریافت درجه‌ی دکترای تخصصی
در رشته‌ی مهندسی مکانیک بیوسیستم

عنوان:

**مدل‌سازی و ارزیابی گردآورنده بشقابی سهموی خورشیدی با کاربرد نانوسیال
(آلومینا/روغن)**

اساتید راهنما:

دکتر عزت اله عسکری اصلی ارده
دکتر برات قبادیان

اساتید مشاور:

دکتر علیبخش کسائیان
دکتر شیوا گرجیان

پژوهشگر:

ریحانه لونی

شهریور ۱۳۹۶

نام خانوادگی دانشجو: لونی	نام: ریحانه
عنوان رساله: مدل سازی و ارزیابی گردآورنده بشقابی سهموی خورشیدی با کاربرد نانوسیال (آلومینا/روغن)	
اساتید راهنما: دکتر عزت اله عسکری اصلی ارده – دکتر برات قبادیان اساتید مشاور: دکتر علی بخش کسائیان – دکتر شیوا گرجیان	
مقطع تحصیلی: دکترای تخصصی رشته: مهندسی مکانیک بیوسیستم گرایش: انرژی دانشگاه: محقق اردبیلی دانشکده: کشاورزی و منابع طبیعی تاریخ دفاع: ۱۳۹۶/۶/۷ تعداد صفحات: ۱۳۷	
<p>چکیده: در این پژوهش، یک گردآورنده بشقابی با دریافت کننده حفره‌ای مکعبی به عنوان منبع گرم سیستم خورشیدی سیکل رنکاین آلی (ORC) مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله اول پژوهش، مدل سازی و طراحی بهینه سیستم خورشیدی ORC انجام شد. هدف اصلی این بخش از پژوهش، طراحی بهینه متغیرهای مورد بررسی به منظور بدست آوردن بالاترین بازده حرارتی کل در سیستم تولید توان خورشیدی ORC بوده است. سیال روغن حرارتی به عنوان سیال عامل سیستم خورشیدی و سیال R141b به عنوان سیال عامل سیستم ORC استفاده شد. متغیرهای مورد بررسی در این بخش شامل مساحت ورودی دریافت کننده، قطر لوله داخلی دریافت کننده، ارتفاع دریافت کننده، دمای ورودی سیال عامل سیستم خورشیدی و شدت جریان سیال عامل خورشیدی بود. در بخش دوم پژوهش، دریافت کننده حفره‌ای طراحی بهینه شده، به صورت آزمایشگاهی ساخته شد و با سیال عامل‌های روغن حرارتی و نانوسیال آلومینا / روغن حرارتی مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف اصلی این بخش از پژوهش، بررسی اثر کاربرد نانوسیال آلومینا / روغن حرارتی به عنوان سیال عامل سیستم خورشیدی در مقایسه با روغن حرارتی، بود. نتایج مدل سازی و طراحی بهینه نشان داد که دریافت کننده حفره‌ای با ارتفاع برابر با ۱۲/۵ cm، قطر لوله داخلی ۱۰ mm، ضلع ورودی ۱۲/۵ cm دارای بالاترین عملکرد حرارتی و ترمودینامیکی بوده است. از طرفی نتایج مدل سازی حرارتی نشان داد که کاهش دمای ورودی و افزایش شدت جریان جرمی سیال عامل موجب افزایش بازده حرارتی سیستم خورشیدی مورد بررسی می‌شود. نتایج تجربی نشان داد که کاربرد نانوسیال آلومینا / روغن موجب افزایش عملکرد حرارتی سیستم خورشیدی مورد بررسی می‌شود. همچنین بر اساس نتایج تجربی در حالت پایدار سیستم مورد بررسی، مقادیر $F_R \eta_{opt}$ و $\frac{FRUL}{C}$ به ترتیب برابر با ۰/۷۱ و ۱/۲۵ برای روغن حرارتی و ۰/۷۴ و ۱/۰۵ برای نانوسیال آلومینا / روغن حرارتی به عنوان سیال عامل سیستم خورشیدی حاصل گردید. در نهایت نتایج تجربی نشان داد در حالت پایدار میانگین بازده حرارتی دریافت کننده مکعبی برای سیال عامل روغن حرارتی و نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی به ترتیب برابر با ۶۵/۱۴ درصد و ۷۱/۵۹ درصد است.</p>	
<p>کلید واژه‌ها: مدل سازی؛ سیستم خورشیدی ORC؛ دریافت کننده حفره‌ای مکعبی؛ گردآورنده بشقابی؛ نانوسیال آلومینا / روغن حرارتی.</p>	

عنوان	صفحه
-------	------

کلیات: فصل اول

۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ گردآورنده‌های خورشیدی	۳
۳-۱ انواع گردآورنده‌های متمرکزکننده	۴
۱-۳-۱ گردآورنده سهموی خطی	۵
۲-۳-۱ انعکاس دهنده خطی فرنل	۶
۳-۳-۱ دریافت کننده مرکزی	۷
۴-۳-۱ گردآورنده سهموی بشقابی	۸
۴-۱ کاربرد گردآورنده بشقابی	۱۰
۱-۴-۱ کاربرد نیروگاهی	۱۰
۱-۴-۱ موتور استرلینگ	۱۰
۲-۴-۱ تلفیق سیستم گردآورنده بشقابی و سیکل هیدرولیکی	۱۰
۲-۴-۱ کاربرد غیر نیروگاهی	۱۲
۵-۱ نانوسیال	۱۲
۶-۱ بیان مسأله	۱۳
۷-۱ فرضیه‌های تحقیق	Error! Bookmark not defined.
۸-۱ اهداف تحقیق	Error! Bookmark not defined.

فصل دوم: پیشینه پژوهش

۱-۲ مقدمه	Error! Bookmark not defined.
۲-۲ تاریخچه گردآورنده سهموی بشقابی	Error! Bookmark not defined.
۳-۲ گردآورنده بشقابی خورشیدی با دریافت کننده حفره‌ای	Error! Bookmark not defined.
۴-۲ سیکل خورشیدی تولید توان رنگین آلی (ORC)	Error! Bookmark not defined.
۵-۲ نانوسیال و کاربرد آن در سیستم‌های خورشیدی	Error! Bookmark not defined.
۶-۲ ضرورت انجام تحقیق	Error! Bookmark not defined.

فصل سوم: مدل‌سازی و طراحی بهینه حرارتی و ترمودینامیکی

۱-۳ مقدمه	Error! Bookmark not defined.
۲-۳ مدل‌سازی و طراحی بهینه حرارتی	Error! Bookmark not defined.
۱-۲-۳ مدل‌سازی نوری دریافت‌کننده حفره‌ای با نرم افزار SolTrace	Error! Bookmark not defined.
۲-۲-۳ معادله‌های انتقال حرارت حاکم بر دریافت‌کننده حفره‌ای مکعبی	Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined.	۱-۲-۲-۳	تلفات حرارتی رسانایی
Error! Bookmark not defined.	۲-۲-۲-۳	تلفات حرارتی تابشی
Error! Bookmark not defined.	۳-۲-۲-۳	تلفات حرارتی همرفتی
Error! Bookmark not defined.	۳-۲-۳	افت فشار
Error! Bookmark not defined.	۴-۲-۳	روش حل مسأله
Error! Bookmark not defined.	۳-۳	مدل سازی ترمودینامیکی سیکل تولید توان خورشیدی ORC
Error! Bookmark not defined.	۱-۳-۳	معادله های ترمودینامیکی
Error! Bookmark not defined.	۲-۳-۳	روش حل مسأله

فصل چهارم: مواد و روش های آزمون آزمایشگاهی

Error! Bookmark not defined.	۱-۴	مقدمه
Error! Bookmark not defined.	۲-۴	معرفی اجزای مختلف سیستم انرژی خورشیدی
Error! Bookmark not defined.	۱-۲-۴	گردآورنده سهموی بشقابی
Error! Bookmark not defined.	۲-۲-۴	دریافت کننده
Error! Bookmark not defined.	۱-۲-۲-۴	روش ساخت
Error! Bookmark not defined.	۲-۲-۲-۴	فرآیند آبکاری دریافت کننده
Error! Bookmark not defined.	۳-۲-۲-۴	آماده سازی دریافت کننده برای آزمون های آزمایشگاهی

defined.

Error! Bookmark not defined.	۳-۲-۴	مبدل های حرارتی
Error! Bookmark not defined.	۴-۲-۴	دمنده و اجزای آن
Error! Bookmark not defined.	۵-۲-۴	پمپ
Error! Bookmark not defined.	۶-۲-۴	مخزن
Error! Bookmark not defined.	۷-۲-۴	شیلنگ ها و اتصال های هیدرولیکی
Error! Bookmark not defined.	۸-۲-۴	سیستم هیدرولیکی مورد استفاده
Error! Bookmark not defined.	۳-۴	تجهیزات اندازه گیری
Error! Bookmark not defined.	۱-۳-۴	دبی سنج
Error! Bookmark not defined.	۱-۱-۳-۴	دبی سنج دستی
Error! Bookmark not defined.	۲-۱-۳-۴	دبی سنج الکتریکی
Error! Bookmark not defined.	۲-۳-۴	حسگرهای اندازه گیری دما
Error! Bookmark not defined.	۳-۳-۴	تابش سنج
Error! Bookmark not defined.	۴-۳-۴	بادسنج
Error! Bookmark not defined.	۵-۳-۴	ثبات داده
Error! Bookmark not defined.	۴-۴	مواد مورد استفاده
Error! Bookmark not defined.	۱-۴-۴	روغن حرارتی
Error! Bookmark not defined.	۲-۴-۴	نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی

Error! Bookmark not defined.	نانو ذرات	۱-۲-۴-۴
Error! Bookmark not defined.	سورفکتانت‌های مورد استفاده	۲-۲-۴-۴
Error! Bookmark not defined.	نحوه تهیه نانوسیال	۳-۲-۴-۴
Error! Bookmark not defined.	پیش بینی خواص حرارتی نانوسیال	۴-۲-۴-۴
Error! Bookmark not defined.	۵-۴ روش انجام آزمون‌های آزمایشگاهی	

فصل پنجم: نتایج و بحث

Error! Bookmark not defined.	۱-۵ مقدمه	
Error! Bookmark not defined.	۲-۵ مدل‌سازی و طراحی بهینه حرارتی دریافت‌کننده	
Error! Bookmark not defined.	۱-۲-۵ طراحی بهینه سطح ورودی دریافت‌کننده	
Error! Bookmark not defined.	۲-۲-۵ توزیع شدت تابش خورشیدی	
Error! Bookmark not defined.	۳-۲-۵ طراحی بهینه قطر لوله داخلی، ارتفاع دریافت‌کننده، شدت جریان و دمای ورودی سیال عامل	
Error!		

Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined.	۴-۲-۵ اعتبار سنجی	
Error! Bookmark not defined.	۳-۵ مدل‌سازی ترمودینامیکی سیستم خورشیدی ORC	
Error! Bookmark not defined.	۱-۳-۵ تغییرات قطر لوله دریافت‌کننده	
Error! Bookmark not defined.	۲-۳-۵ تغییرات ارتفاع دریافت‌کننده	
Error! Bookmark not defined.	۴-۵ آزمون‌های پایداری نانوسیال	
Error! Bookmark not defined.	۵-۵ آزمون‌های آزمایشگاهی عملکرد حرارتی	
Error! Bookmark not defined.	۱-۵-۵ روغن حرارتی	
Error! Bookmark not defined.	۲-۵-۵ نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی	
Error! Bookmark not defined.	۳-۵-۵ مقایسه عملکرد حرارتی روغن خالص و نانوسیال	

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

Error! Bookmark not defined.	۱-۶ نتیجه‌گیری	
Error! Bookmark not defined.	۲-۶ پیشنهادات	

فهرست جداول

جدول	صفحه
جدول ۱-۳: ویژگیهای ترموفیزیکی سیال عامل R141b.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۲-۳: ویژگیهای فیزیکی مورد بررسی در مدل‌سازی سیستم خورشیدی ORC.	Error! Bookmark not defined.
جدول ۱-۴: شرایط عملکردی آبکاری کروم سیاه.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۱-۵: تغییر بازده حرارتی گردآورنده و افت فشار دریافت‌کننده مکعبی در ارتفاع ۰/۵a نسبت به تغییرات دمای ورودی سیال عامل، قطر لوله دریافت‌کننده و جریان جرمی سیال عامل.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۲-۵: تغییر بازده حرارتی گردآورنده و افت فشار دریافت‌کننده مکعبی در ارتفاع ۰/۷۵a نسبت به تغییرات دمای ورودی سیال عامل، قطر لوله دریافت‌کننده و جریان جرمی سیال عامل.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۳-۵: تغییر بازده حرارتی گردآورنده و افت فشار دریافت‌کننده مکعبی در ارتفاع ۱a نسبت به تغییرات دمای ورودی سیال عامل، قطر لوله دریافت‌کننده و جریان جرمی سیال عامل.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۴-۵: تغییر بازده حرارتی گردآورنده و افت فشار دریافت‌کننده مکعبی در ارتفاع ۱/۵a نسبت به تغییرات دمای ورودی سیال عامل، قطر لوله دریافت‌کننده و جریان جرمی سیال عامل.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۵-۵: تغییر بازده حرارتی گردآورنده و افت فشار دریافت‌کننده مکعبی در ارتفاع ۲a نسبت به تغییرات دمای ورودی سیال عامل، قطر لوله دریافت‌کننده و جریان جرمی سیال عامل.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۶-۵: میزان انرژی حرارتی جذب شده توسط تبخیرکننده در قطرهای مختلف لوله داخلی دریافت‌کننده.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۷-۵: میزان انرژی حرارتی جذب شده توسط تبخیرکننده در ارتفاعهای مختلف دریافت‌کننده.....	Error! Bookmark not defined.
جدول ۸-۵: ساعت، محدوده تغییرات و تغییرات بازده حرارتی دریافت‌کننده در حالت یکنواخت با بکارگیری روغن حرارتی و نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی به عنوان سیال عامل سیستم خورشیدی.	Error! Bookmark not defined.
جدول ۹-۵: مقایسه ضرایب رابطه بازده حرارتی دریافت‌کننده در حالت یکنواخت با بکارگیری روغن حرارتی و نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی به عنوان سیال عامل سیستم خورشیدی.....	Error! Bookmark not defined.

جدول ۵-۱۰: بیشترین، کمترین و مقدار میانگین بازده حرارتی در حالت یکنواخت با بکارگیری روغن حرارتی و نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی به عنوان سیال عامل سیستم خورشیدی.....**Error! Bookmark not defined.**

فهرست اشکال

شکل	صفحه
شکل ۱-۱: نمایی از گردآورنده سهموی خطی.....	۶
شکل ۲-۱: نمایی از انعکاس دهنده خطی فرنل.....	۷
شکل ۳-۱: نمایی از دریافت کننده مرکزی.....	۸
شکل ۴-۱: نمایی از گردآورنده سهموی بشقابی (Kalogirou, 2013).....	۹
شکل ۱-۲: کاربرد انرژی خورشیدی به منظور ابزار دفاعی (Kalogirou, 2013). Error! Bookmark not defined.	
شکل ۲-۲: نمایی از نحوه‌ی متمرکز کردن نور خورشید روی لوله‌های آزمایش (Kesselring and Selvage, 1986). Error! Bookmark not defined.	
شکل ۳-۲: یک پابلوت توان خورشیدی کوچک در پاریس (Kesselring and Selvage, 1986). Error! Bookmark not defined.	
شکل ۴-۲: موتور خورشیدی تولید توان ۱۰ اسب بخاری بوسیله‌ی انیس در کالیفرنیا سال ۱۹۰۱ میلادی (Kesselring and Selvage, 1986). Error! Bookmark not defined.	
شکل ۱-۳: نمونه‌ای از دریافت کننده مکعبی مدل‌سازی شده در نرم افزار SolTrace. Error! Bookmark not defined.	
شکل ۲-۳: طرح شماتیک تلفات حرارتی در دریافت کننده مکعبی..... Error! Bookmark not defined.	
شکل ۳-۳: شماتیک سیستم خورشیدی تولید توان ORC..... Error! Bookmark not defined.	
شکل ۴-۳: نمودار آنتروپی- دما سیال آلی R141b..... Error! Bookmark not defined.	
شکل ۵-۳: فرآیند محاسبه آنتالپی در سیستم ORC..... Error! Bookmark not defined.	
شکل ۶-۳: معادلات تخمین زده شده برای محاسبه الف) آنتالپی در ورودی تبخیرکننده، ب) آنتالپی در ورودی توربین، ج) آنتروپی در ورودی توربین و د) آنتالپی در ورودی کندانسور سیستم ORC. Error! Bookmark not defined.	

defined.

شکل ۴-۱: گردآورنده متمرکزکننده بشقابی.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲: مراحل ساخت دریافت کننده حفره‌ای مکعبی.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۳: نمایی از دریافت کننده مکعبی پوشش دهی شده با کروم سیاه.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۴: نمایی از دریافت کننده حفره‌ای مکعبی پوشیده شده با پشم سنگ به عنوان لایه ایزوله.**Error!**

Bookmark not defined.

شکل ۴-۵: نمایی از دریافت کننده مکعبی نصب شده روی گردآورنده بشقابی.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۶: تصویر شماتیکی از یک مبدل حرارتی صفحه‌ای. سیال گرم از بین دو صفحه که با رنگ قرمز نشان داده شده

عبور می‌کند و سیال سرد از بین دو صفحه‌ای که با رنگ آبی نشان داده شده می‌گذرد. **Error! Bookmark not**

defined.

شکل ۴-۷: نمایی عقبی مبدل‌های حرارتی.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۸: نمای جلوی دو مبدل حرارتی کوپل شده و اجزای آن‌ها.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۹: نمایی از دمنده هوا و اجزای آن.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۰: پمپ مورد استفاده.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۱: نمایی از مخزن تغذیه و مخزن تخلیه مورد استفاده در سیستم انرژی خورشیدی مورد آزمایش. **Error!**

Bookmark not defined.

شکل ۴-۱۲: نمای داخلی مخزن تغذیه که ورود سیال خروجی مبدل‌ها به مخزن تغذیه موجب ایجاد تلاطم نانو سیال و

عدم ته‌نشین شدن نانوذرات می‌شود.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۳: نمایی از شیلنگ‌ها و اتصالات هیدرولیکی.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۴: شماتیک مدار هیدرولیک مورد استفاده.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۵: ابزارها و اجزا مورد استفاده در ساخت دی‌سنج دستی.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۶: نمایی از دی‌سنج دستی نصب شده روی پایلوت مورد آزمایش.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۷: نمایی از دبی سنج الکتریکی نصب شده روی پایلوت مورد آزمایش... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۸: نمونه‌ای از حسگرهای اندازه‌گیری دما..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۹: تابش سنج..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۰: باد سنج..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۱: الف) ثبات داده، و ب) ثبات داده نصب شده روی سیستم انرژی خورشیدی. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۲: نانوذرات آلومینا مورد استفاده در آزمون‌های آزمایشگاهی..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۳: همزن مغناطیسی..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۴: دستگاه آلتراسونیک..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۵: نمایی از نانوسیال‌ها آماده سازی شده..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱: بازده حرارتی دریافت کننده مکعبی نسبت به تغییر ضریب تمرکز در خطای ردیاب 1° ، ارتفاع دریافت کننده a و $1/5$ خطاهای نوری مختلف 10 mrad ، 15 mrad ، 20 mrad و 35 mrad **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۲: مقایسه بازده حرارتی دریافت کننده مکعبی نسبت به تغییر ضریب تمرکز در ارتفاع دریافت کننده a $1/5$ ، خطای نوری 10 mrad و خطاهای مختلف ردیاب 0° ، 1° و 2° **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۳: بازده حرارتی دریافت کننده نسبت به تغییر ضریب تمرکز در ارتفاع‌های مختلف دریافت کننده مکعبی..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۴: توزیع شدت تابش در موقعیت‌های مختلف لوله دریافت کننده با قطر لوله داخلی ۱۰ میلی متر و ارتفاع دریافت کننده مکعبی برابر با ۲a..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۵: مقایسه نحوه‌ی توزیع شدت تابش خورشیدی در دیوار جانبی دریافت کننده مکعبی در ارتفاع‌های مختلف دریافت کننده و قطر لوله داخلی ۱۰ میلی متر..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۶: مقایسه نحوه‌ی توزیع شدت تابش خورشیدی در دیوار بالایی دریافت کننده مکعبی شکل در ارتفاع‌های مختلف و قطر لوله داخلی ۱۰ میلی متر..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۷: نحوه‌ی توزیع شدت تابش در موقعیت‌های مختلف لوله‌های داخلی دریافت کننده با ارتفاع دریافت کننده

مکعبی برابر با $1/5a$ و با قطر لوله داخلی 10 میلی‌متر.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۸: نحوه‌ی توزیع شدت تابش در موقعیت‌های مختلف لوله‌های داخلی دریافت کننده با ارتفاع دریافت کننده

مکعبی برابر با $1/5a$ و با قطر لوله داخلی 22 میلی‌متر.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۹: نحوه‌ی توزیع شدت تابش در موقعیت‌های مختلف لوله‌های داخلی دریافت کننده با ارتفاع دریافت کننده

مکعبی برابر با $1/5a$ و با قطر لوله داخلی 35 میلی‌متر.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۰: پروفیل دمای سطح المان‌های لوله دریافت کننده با قطر 10 میلی‌متر، دمای ورودی سیال 70°C ، جریان

سیال عامل 6 g/s ، در پنج ارتفاع دریافت کننده ($1a$ ، $0.75a$ ، $0.5a$ و $2a$).**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۱: پروفیل دمای روغن خروجی از المان‌های لوله دریافت کننده با قطر 10 میلی‌متر، دمای ورودی سیال 70°C

جریان سیال عامل 6 g/s ، در پنج ارتفاع دریافت کننده ($1a$ ، $0.75a$ ، $0.5a$ و $2a$).**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۲: پروفیل حرارت جذب شده توسط المان‌های لوله دریافت کننده با قطر 10 میلی‌متر، دمای ورودی سیال

70°C ، جریان سیال عامل 6 g/s ، در پنج ارتفاع دریافت کننده ($1a$ ، $0.75a$ ، $0.5a$ و $2a$).**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۳: تغییرات حرارت دریافتی توسط دریافت کننده در ارتفاعهای مختلف دریافت کننده، دمای ورودی مختلف

دریافت کننده، قطرهای داخلی مختلف دریافت کننده در جریان جرمی 0.06 kg/s .**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۴: مقایسه نتایج الف) گزارش شده توسط مقاله (Le Roux et al., 2014) و ب) نتایج بدست آمده از

مدل سازی در این پژوهش برای ارتفاع $2a$**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۵: دماهای سطح، سیال عامل خروجی و حرارت جذب شده هریک از المان‌ها برای دریافت کننده مکعبی با

خطای ردیاب 1° و خطای نوری 10 mrad و قطر لوله داخلی 50 میلی‌متر (Le Roux et al., 2014).**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۶: تغییرات نرخ جریان جرمی سیال عامل آلی بر حسب تغییرات دمای ورودی توربین در قطرهای مختلف

لوله داخلی.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۷: تغییرات کار خالص خروجی از سیستم خورشیدی ORC بر حسب تغییرات دمای ورودی توربین در

قطرهای مختلف لوله داخلی.....**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۸: تغییرات بازده کلی سیستم خورشیدی ORC بر حسب تغییرات دمای ورودی توربین در قطرهای مختلف لوله داخلی.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۱۹: تغییرات نرخ جریان جرمی سیال عامل آلی بر حسب تغییرات دمای ورودی توربین در ارتفاع های مختلف دریافت کننده.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۰: تغییرات کار خالص خروجی از سیستم خورشیدی ORC بر حسب تغییرات دمای ورودی توربین در ارتفاع های مختلف دریافت کننده.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۱: تغییرات بازده کلی سیستم خورشیدی ORC بر حسب تغییرات دمای ورودی توربین در ارتفاع های مختلف دریافت کننده.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۲: نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی آماده شده بدون سورفکتنت و با سورفکتنت های مختلف یک ساعت بعد.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۳: نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی آماده شده بدون سورفکتنت و با سورفکتنت های مختلف دو ساعت بعد.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۴: نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی آماده شده بدون سورفکتنت و با سورفکتنت های مختلف چهار ساعت بعد.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۵: نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی آماده شده بدون سورفکتنت و با سورفکتنت های مختلف یک روز بعد.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۶: نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی آماده شده بدون سورفکتنت و با سورفکتنت های مختلف دو روز بعد.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۷: نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی آماده شده بدون سورفکتنت و با سورفکتنت های مختلف یک ماه بعد.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۸: نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی آماده شده بدون سورفکتنت و با سورفکتنت های مختلف دو ماه بعد.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۲۹: تغییرات اختلاف دمای ورودی و خروجی روغن حرارتی در دریافت کننده، شدت تابش خورشید و سرعت وزش باد طی آزمون آزمایشگاهی.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۵-۳۰: تغییرات دمای ورودی و خروجی روغن حرارتی طی آزمون آزمایشگاهی.....
Error! Bookmark not defined.

شکل ۳۱-۵: تغییرات دمای سطح بالایی دریافت کننده، سطح مجاور دریافت کننده و سرعت وزش باد طی آزمون آزمایشگاهی با بکارگیری روغن حرارتی به عنوان سیال عامل. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳۲-۵: تغییرات گرمای دریافتی و بازده حرارتی دریافت کننده طی آزمون آزمایشگاهی با بکارگیری روغن حرارتی به عنوان سیال عامل. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳۳-۵: تغییرات اختلاف دمای ورودی و خروجی نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی در دریافت کننده، شدت تابش خورشید و سرعت وزش باد طی آزمون آزمایشگاهی. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳۴-۵: تغییرات دمای ورودی و خروجی نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی طی آزمون آزمایشگاهی **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳۵-۵: تغییرات دمای سطح بالایی دریافت کننده، سطح مجاور دریافت کننده و سرعت وزش باد طی آزمون آزمایشگاهی با بکارگیری نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی به عنوان سیال عامل. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳۶-۵: تغییرات گرمای دریافتی و بازده حرارتی دریافت کننده طی آزمون آزمایشگاهی با بکارگیری نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی به عنوان سیال عامل. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳۷-۵: مقایسه شدت تابش خورشید و دمای محیط طی آزمون های آزمایشگاهی با بکارگیری روغن حرارتی و نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳۸-۵: مقایسه اختلاف دمایی سیال عامل در ورودی و خروجی دریافت کننده، و سرعت وزش باد طی آزمون های آزمایشگاهی با بکارگیری روغن حرارتی و نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳۹-۵: مقایسه حرارت جذب شده توسط دریافت کننده و بازده حرارتی با بکارگیری روغن حرارتی و نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی طی آزمون های آزمایشگاهی. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴۰-۵: تغییرات بازده حرارتی در مقابل (Tin-Tamb)/Gb برای حالت یکنواخت با بکارگیری روغن حرارتی به عنوان سیال عامل سیستم خورشیدی. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴۱-۵: تغییرات بازده حرارتی در مقابل (Tin-Tamb)/Gb برای حالت یکنواخت با بکارگیری نانوسیال آلومینا/روغن حرارتی به عنوان سیال عامل سیستم خورشیدی. **Error! Bookmark not defined.**

فهرست علائم اختصاری

واحد	مفهوم	علامت اختصاری
m	طول ورودی دریاف کننده	a
m ²	مساحت	A
-	ضریب ثابت معادله خطی	c ₂
J/kgK	ضریب گرمای ویژه	c _p
m	قطر لوله داخلی دریاف کننده	d
m	قطر	D
-	ضریب دید	F
-	عدد گرافش	Gr
m	عمق دریاف کننده	h
kJ/kg	آنتالپی	h*
W/m ² K	ضریب انتقال حرارت	h ₁
W/m ²	شدت تابش خورشید	I
W/mK	رسانایی حرارتی	k
-	شیب خطی معادله	m ₂

kg/s	نرخ جریان جرمی سیال	\dot{m}
-	تعداد کل المان‌های لوله داخلی دریافت‌کننده	N
-	عدد ناسلت	Nu
Pa	فشار	P
-	عدد پراتل	Pr
W	نرخ انتقال حرارت خالص	\dot{Q}_{net}
W	نرخ حرارت خورشیدی قابل دسترس در دریافت‌کننده	\dot{Q}^*
W	نرخ تلفات حرارتی از دریافت‌کننده	\dot{Q}_{loss}
W	نرخ حرارت خورشیدی قابل دسترس در گردآورنده	\dot{Q}_{solar}
بشقابی		
K/W	مقاومت حرارتی	R
-	عدد ریلی	Ra
-	عدد رینولدز	Re
K	دما	T
m/s	سرعت	V
W	توان	\dot{W}

علائم یونانی

-	ضریب پراکنش	ε
W/m^2K^4	ضریب استفان-بلتزمن	σ
kg/m^3	دانسیته	ρ
-	بازدهی	η

زیرنویس‌ها

در شرایط ورودی به دریافت‌کننده	0
هوا	air
ورودی	ap
میانگین	Ave
بویلر	b
کندانسور	c
از دریافت‌کننده	cav
از گردآورنده	col
گردآورنده بشقابی	conc
به علت رسانایی	cond
به علت همرفتی	conv
گردآورنده بشقابی	Dish

سیال	f
به علت همرفتی اجباری	forced
در ورودی	inlet
عایق حرارتی	ins
تعداد بخش‌های لوله	n
به علت همرفتی طبیعی	natural
خالص	net
روغن حرارتی	oil
بهینه	opt
نوری	optical
در خروجی	out
خارج دریافت‌کننده	outer
دریافت‌کننده	rec
به علت انعکاس از گردآورنده	refl
به علت تابش	rad
برای دریافت‌کننده شامل بازده نوری	REC
سطح دریافت‌کننده	s
<hr/>	
بدست آمده از نرم افزار SolTrace	SolTrace
توربین	t
<hr/>	

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر، مشکلات مهمی پیرامون محیط زیست در ارتباط با منابع تولید انرژی مطرح می‌شود. زیرا کاهش منابع سوخت‌های فسیلی از یک سو و آلودگی‌های ناشی از تولید CO و CO_2 حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی، گرم شدن کره زمین، آسیب دیدن لایه اوزون و آب شدن یخ‌های قطبی و بالا آمدن سطح آب‌ها از سوی دیگر، بشر را به پیدا کردن جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی به عنوان منبع پاک تولید انرژی مجبور کرده است. در نتیجه، بشر به منابع متناوب و تجدیدپذیر انرژی به منظور تأمین انرژی مصرفی خود نیازمند است. کاربرد انرژی خورشیدی به عنوان منبع انرژی پاک، رایگان و پایدار می‌تواند بررسی شود. به طور کلی، گردآورنده‌های خورشیدی را می‌توان به عنوان نوسانی در مبدل‌های حرارتی که انرژی تابشی خورشید را به انرژی سیال عامل منتقل می‌کند، در نظر گرفت. انرژی حرارتی جمع‌آوری شده توسط گردآورنده خورشید می‌تواند برای کاربردهای گوناگون تولید توان، الکتریسته، گرمایشی و ... مورد استفاده قرار گیرد.

انرژی خورشیدی یکی از منابع مهم انرژی تجدیدپذیر در جهان و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین است. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد. به‌طور کلی انرژی متصاعد شده از خورشیدی در حدود $10^{18} \times 1/3$ ژول در ثانیه است. انرژی خورشید همانند سایر انرژی‌ها بطور مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند به دیگر اشکال انرژی همانند گرما و الکتریسیته و غیره تبدیل شود.

اما به علت کمبود دانش و تجربه عملی، متغیر و متناوب بودن مقدار انرژی (به دلیل تغییرات جوی و فصول سال و جهت تابش) و محدوده توزیع بسیار وسیع موجب شده تا استفاده محدودی از این انرژی صورت گیرد. خورشید از گازهایی نظیر هیدروژن (۷۳،۴۶ درصد) هلیوم (۲۴،۸۵ درصد) و درصد کمی از عناصر دیگری شامل اکسیژن، کربن، نئون و نیتروژن تشکیل شده است. طبق آخرین برآوردهای رسمی اعلام شده، عمر این منبع انرژی بیش از ۱۴ میلیارد سال است. در هر ثانیه ۴/۲ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می‌شود. با توجه به جرم خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر جرم زمین است، این کره نورانی را می‌توان به‌عنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده به حساب آورد. میزان دما در مرکز خورشید حدود ۱۰ تا ۱۴ میلیون درجه سلسیوس است، از سطح آن دارای حرارتی نزدیک به ۵۶۰۰ درجه کلوین و به صورت امواج الکترومغناطیس در فضا منتشر می‌شود (Kalogirou, 2013).

امروزه تکنولوژی انرژی‌های تجدیدپذیر باعث تأمین انرژی مورد نیاز بشر شده است. از جمله مزایای تولید و کاربرد سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ذخیره انرژی، ایجاد مشاغل جدید و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی (Kalogirou, 2013). مزیت ذخیره انرژی ناشی از کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به صورت مستقیم به میزان صرفه‌جویی مالی تبدیل شود، زیرا انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی‌های رایگان محسوب می‌شود که بجز هزینه اولیه و هزینه نگهداری، هزینه دیگری را پرداخت نمی‌کنند. در نهایت، از جمله مزایای کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی اشاره کرد. این مهم با کاهش آلودگی هوا بواسطه مصرف سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌شود. از جمله اثرات مخرب آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از کاربرد سوخت‌های فسیلی می‌توان به اثرات آن‌ها روی سلامت بشر، اثر گلخانه‌ای، از بین رفتن لایه اوزون و خطرات اشعه ماورا بنفش و گرم شدن کره زمین که موجب تغییرات آب و هوایی و آب شدن یخ‌های قطبی می‌شود، اشاره کرد. با توجه به مزایای بالا اهمیت توسعه و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نمایان می‌شود (Kalogirou, 2013).

۲-۱ گردآورنده‌های خورشیدی

یکی از روش‌های استفاده از انرژی خورشید، کاربرد گردآورنده‌های خورشیدی به منظور دریافت و جمع‌آوری

انرژی حرارتی خورشید است. یک گردآورنده خورشیدی یک نوع خاص از مبدل‌های حرارتی است که انرژی تابش خورشیدی را به انرژی حرارتی سیال عامل تبدیل می‌کند. یک گردآورنده خورشیدی از جنبه‌های مختلف با مبدل‌های حرارتی متداول تفاوت دارد. در مبدل‌های حرارتی به طور کلی، انتقال حرارت از سیالی به سیال دیگر با نرخ انتقال حرارت بالا اتفاق می‌افتد. در حالی که در یک گردآورنده خورشیدی، انتقال انرژی از یک منبع تابشی به سیال عامل اتفاق می‌افتد. شدت تابش ورودی خورشید در شرایط مطلوب و بدون در نظر گرفتن بازده نوری گردآورنده خورشیدی حدود 1100 W/m^2 است که این مقدار در مکان‌های جغرافیایی مختلف متفاوت است (Duffie and Beckman, 2013). دو نوع اساسی از گردآورنده خورشیدی وجود دارد که عبارتند از: گردآورنده‌های غیرمتمرکزکننده یا ثابت و گردآورنده‌های متمرکزکننده. یک گردآورنده غیرمتمرکز مساحتی برابر برای ورود و جذب اشعه‌های خورشیدی دارد؛ در حالی که یک گردآورنده متمرکزکننده دنبال کننده-خورشید اغلب سطوح انعکاس دهنده مقعر به منظور متمرکز کردن اشعه خورشید در یک مساحت دریافت‌کننده کوچکتر دارد، از این رو شار تابشی در گردآورنده‌های متمرکزکننده زیاد است. گردآورنده‌های متمرکزکننده برای کاربردهای دما-بالا مناسب هستند. دمای انرژی دریافت شده با کاهش مساحت دریافت‌کننده و در نتیجه کاهش تلفات حرارتی، می‌تواند افزایش یابد. گردآورنده‌های متمرکزکننده دارای مزایایی نسبت به گردآورنده‌های نوع تخت هستند (Kalogirou et al., 1994) که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Kalogirou, 2013):

۱- سیال عامل دماهای بالاتری را در یک سیستم گردآورنده متمرکزکننده خورشیدی در مقایسه با گردآورنده صفحه تخت با یک سطح برابر ورودی انرژی خورشیدی می‌تواند تأمین کند.

۲- امکان هماهنگی ترمودینامیکی بین سطح دمایی و کار مورد نظر، در گردآورنده‌های متمرکزکننده وجود دارد.

۳- بازده حرارتی بالاتر به دلیل سطح دریافت‌کننده انرژی و تلفات حرارتی کمتر.

۴- سطح انعکاسی با مواد کمتر و ساختار ارزان‌تر و ساختار ساده‌تر نسبت به سطح دریافت انرژی گردآورنده صفحه تخت.

۱-۳ انواع گردآورنده‌های متمرکزکننده

در گردآورنده‌های متمرکزکننده، انرژی خورشیدی به صورت نوری متمرکز می‌شود، قبل از اینکه به حرارت تبدیل شود. تمرکز می‌تواند با استفاده از انعکاس تابش خورشیدی با کاربرد آینه‌ها یا لنزها بدست آورده شود. نور منعکس شده در نقطه کانونی متمرکز می‌شود، بنابراین شار انرژی در نقطه کانونی افزایش می‌یابد. گردآورنده‌های متمرکزکننده به صورت زیر می‌توانند دسته بندی شوند:

۱- گردآورنده سهموی خطی^۱

۲-انعکاس دهنده خطی فرنل^۲

۳-دریافت کننده مرکزی^۳

۴-گردآورنده سهموی بشقابی^۴

۱-۳-۱ گردآورنده سهموی خطی

به منظور بدست آوردن دمای بالا با بازده خوب یک گردآورنده خورشیدی عملکرد- بالا نیاز است. سیستم-هایی با ساختار سبک و تکنولوژی هزینه- پایین برای کاربردهای حرارتی تا 400°C ، می‌تواند با استفاده از گردآورنده‌های سهموی خطی بدست آورده شوند. گردآورنده‌های سهموی خطی حرارت را در محدود دمایی $400-500^{\circ}\text{C}$ می‌توان بکار گرفت (Kalogirou, 2013).

گردآورنده‌های سهموی خطی بوسیله‌ی صفحه خم شده به منظور انعکاس نور خورشید به شکل سهموی، ساخته شده است. یک لوله فلزی سیاه رنگ که با شیشه محافظ به منظور کاهش تلفات حرارتی، در طول خط کانونی گردآورنده قرار گرفته است. زمانی که گردآورنده به سمت خورشید قرار گرفته باشد، تابش‌های موازی خورشید به سطح سهموی گردآورنده برخورد کرده و بعد از انعکاس از سطح سهموی گردآورنده به لوله دریافت کننده واقع شده در خط کانونی گردآورنده برخورد می‌کند. تابش متمرکز شده خورشید بعد از برخورد با لوله

^۱ Parabolic trough collector

^۲ Linear Fresnel reflector

^۳ Central receiver

^۴ Parabolic dish

دریافت کننده موجب گرم شدن سیال عاملی که در گردآورنده در حال چرخش است، می‌شود. بنابراین تابش خورشید متمرکز شده به شکل انرژی حرارتی مفید تبدیل می‌شود. در گردآورنده‌های سهموی خطی، با توجه به کاربرد ردیاب تک محوره، امکان بکارگیری گردآورنده با طول زیاد را موجب می‌شود. در شکل ۱-۱ نمایی از گردآورنده سهموی خطی نشان داده شده است (Kalogirou, 2013).



شکل ۱-۱: نمایی از گردآورنده سهموی خطی.

۱-۳-۲ انعکاس دهنده خطی فرنل

گردآورنده‌های فرنل دو نوع دارند: گردآورنده لنزی فرنل^۵ و گردآورنده خطی فرنل^۶. قالب‌ها از مواد پلاستیکی ساخته شده‌اند و به شکلی نوارهای آئینه را که روی آن‌ها سوار شده است را سازمان‌دهی می‌کنند که تابش خورشیدی روی خط دریافت کننده متمرکز شود. به عبارت دیگر از گردآورنده فرنل برای متمرکز کردن نور خورشید روی لوله گیرنده استفاده می‌شود. این نوع گردآورنده از تعداد زیادی آینه تخت با پهنای کم و طول زیاد تشکیل شده است که کنار هم دیگر قرار می‌گیرند. زاویه قرارگیری هر کدام از آینه‌ها بصورتی است که بازتاب نور خورشید را روی بخش دریافت کننده متمرکز کنند. در بخش دریافت کننده یک بازتاب دهنده ثانویه از نوع

^۵ Fresnel lens collector

^۶ linear Fresnel reflector

جفت سهموی قرار دارد که بازتاب آینه‌ها را جمع آوری کرده و روی لوله گیرنده می‌تاباند با گرم شدن لوله گیرنده سیال داخل آن گرم می‌شود. برای نیروگاه‌های خورشیدی از این دست عملکرد ممکن است به دو صورت باشد در سیستم‌های متدوال سیال عامل داخل لوله گیرنده روغن است که پس از داغ شدن به مبدل‌های حرارتی منتقل شده و سپس موجب تولید بخار می‌شود اما در نوع دیگر که نوع بخار مستقیم^۷ نامیده می‌شود طول گردآورنده‌ها بیش از یکصد متر می‌باشد. از یک طرف لوله دریافت کننده آب وارد شده و از طرف دیگر بخار خارج می‌شود و نیازی به سیستم‌های جانبی اضافی نیست. در شکل ۱-۲ نمای از گردآورنده خطی فرنل نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: نمایی از انعکاس دهنده خطی فرنل.

۳-۳-۱ دریافت کننده مرکزی

به منظور بدست آوردن انرژی بسیار بالا از انرژی خورشیدی، مجموعه‌ای از آینه‌های تخت به منظور منعکس کردن نور خورشید به یک هدف مشترک می‌توانند بکار گرفته شوند. در این سیستم مجموعه‌ای از آینه‌ها که هر یک بطور جداگانه انرژی خورشید را متمرکز و به برج دریافت کننده مرکزی منتقل می‌کنند، به صورت جداگانه دارای ردیاب جهت دنبال کردن خورشید در طول روز هستند. با استفاده از این سیستم مقدار زیادی انرژی

³ Direct steam

حرارتی می‌تواند به صورت مستقیم تولید بخار دما- بالا و فشار- بالا کند. در دریافت کننده قرار گرفته در بالای برج حرارتی انرژی توسط یک مبدل حرارتی که در روی یک برج نصب شده است و گیرنده نامیده می‌شود جذب می‌شود. در آن جا آب به بخار فوق‌اشباع تولید شده، توربین ژنراتور را که در پائین برج نصب شده به حرکت درآورده و تولید برق می‌نماید.



شکل ۳-۱: نمایی از دریافت کننده مرکزی.

۴-۳-۱ گردآورنده سهموی بشقابی

گردآورنده سهموی بشقابی، یک گردآورنده متمرکزکننده نقطه‌ای است که اشعه تابش خورشید را در نقطه کانونی گردآورنده بشقابی متمرکز می‌کند و دارای دو محور برای دنبال کردن خورشید است. انرژی متمرکز شده خورشیدی وارد دریافت کننده‌ای که در نقطه کانونی بشقاب قرار گرفته است، می‌شود. ساختار متمرکزکننده بشقابی بگونه‌ای است که کل نور ورودی خورشید را در نقطه کانونی بشقاب، متمرکز می‌کند. بنابراین برای اینکه متمرکزکننده بشقابی همواره خورشید را در طول روز دنبال کند، سیستم ردیاب دومحوره برای آن در نظر گرفته می‌شود. از این انرژی خورشیدی متمرکز شده در نقطه کانونی می‌توان برای کاربردهای دما- بالا استفاده نمود؛ بنابراین یکی از روش‌های اصلی تبدیل انرژی خورشیدی به حرارت دما - بالا، کاربرد گردآورنده سهموی بشقابی

است (Burgess et al., 2008; Riveros-Rosas et al., 2011). شکل ۴-۱ نمایی از متمرکزکننده بشقابی سهموی با ردیاب دو محوره را نشان می‌دهد (Kalogirou, 2013).

دریافت کننده قرار گرفته در نقطه کانونی متمرکزکننده سهموی بشقابی، کل انرژی خورشیدی متمرکز شده را جذب و آن را به انرژی حرارتی سیال واسط سیستم انرژی خورشید تبدیل می‌کند. انرژی حرارتی جمع آوری شده می‌تواند مستقیماً توسط موتور استرلینگ به الکتریسته تبدیل شود و یا انرژی حرارتی جمع آوری شده به سیستم تبدیل توان منتقل شده و در آنجا به الکتریسته تبدیل می‌شود. دمای سیال خروجی از سیستم خورشیدی بشقابی سهموی می‌تواند از دمای 1500°C تجاوز کند (Kalogirou, 2013).



شکل ۴-۱: نمایی از گردآورنده سهموی بشقابی (Kalogirou, 2013).

متمرکزکننده سهموی بشقابی دارای مزایایی به شرح زیر می‌باشند (De Laquil III et al., 1993):

- دارای بیشترین بازده حرارتی در بین همه گردآورنده‌های خورشیدی است، زیرا دائماً رو به خورشید قرار می‌گیرند.
- به علت اینکه دارای ضریب تمرکز ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ هستند، بنابراین دارای بازده حرارتی بالایی برای جذب و تولید توان هستند.
- گردآورنده و متمرکزکننده آن‌ها به صورت یک واحد هستند و می‌توان آن‌ها را به صورت مستقل یا جزئی از یک سیستم بزرگی از گردآورنده‌های بشقابی ساخت.

دریافت‌کننده‌های گردآورنده بشقابی به دریافت‌کننده‌های خارجی و حفره‌ای شکل تقسیم بندی می‌شود. دریافت‌کننده حفره‌ای دارای یک ورودی در سطح جلویی دریافت‌کننده است، که تابش خورشید متمرکز شده در نقطه کانونی از طریق آن وارد محفظه داخلی دریافت‌کننده حفره‌ای می‌شود. تابش خورشیدی وارد شده به دیواره‌های داخلی دریافت‌کننده حفره‌ای برخورد می‌کند. در نتیجه‌ی بازتابش‌های مکرر اشعه خورشیدی وارد شده به دریافت‌کننده حفره‌ای، حداکثر انرژی خورشید توسط دیواره‌های داخلی دریافت‌کننده و سیال عامل خورشیدی جذب می‌شود (Sparrow and Cess, 1978).

۱-۴ کاربرد گردآورنده بشقابی

۱-۴-۱ کاربرد نیروگاهی

۱-۴-۱-۱ موتور استرلینگ

با قرار دادن موتور استرلینگ در محل دریافت‌کننده گردآورنده بشقابی امکان تولید توان در ظرفیت‌های به نسبت پایین (۱۰ کیلووات از هر واحد) به علت محدودیت اندازه و وزن موتورهای استرلینگ و اثرات باد روی گردآورنده، فراهم می‌شود. گردآورنده بشقابی دارای کاربردهای گوناگونی است که مهم‌ترین آن‌ها تولید الکتریسته از چند کیلووات تا چند مگاوات است (Snidvongs, 2005; Nepveu et al., 2009; Kleih, 1991). اهمیت گردآورنده بشقابی در مکان‌هایی که دور از مناطق برق‌کشی شده است، بیشتر است. همچنین می‌توان در ساعت‌های اوج مصرف، مازاد برق مورد نیاز را با استفاده از این نوع گردآورنده‌های خورشیدی تأمین نمود.

۱-۴-۱-۲ تلفیق سیستم گردآورنده بشقابی و سیکل هیدرولیکی

تلفیق سیستم گردآورنده بشقابی و توربین مولد بخار نیروگاه‌ها به دو روش تولید بخار مستقیم و غیرمستقیم صورت می‌گیرد. در هر دو حالت، سیستم خورشیدی می‌تواند محرک تمام انواع توربین‌های بخار اعم از توربین سیکل رنکاین ساده، سیکل رنکاین با گرمایش مجدد، سیکل رنکاین (تولید بخار از یک سیال آلی در دمای پایین) باشد. سیکل رنکاین آلی (ORC[^]) به عنوان یک سیستم پر بازده برای تبدیل حرارت به الکتریسته مطرح است. در

[^] Organic Rankine Cycle

این سیکل ترمودینامیکی، سیال عاملی با نقطه جوش پایین به عنوان سیال عامل سیکل ترمودینامیکی استفاده می‌شود. سیکل رنکاین آلی با منابع گرم مختلفی از جمله گردآورنده‌های خورشیدی می‌تواند ترکیب شود. حرارت جمع‌آوری شده توسط گردآورنده‌های خورشیدی به عنوان منبع گرم سیکل رنکاین آلی استفاده می‌شود که این حرارت در یک مبدل حرارتی به سیال عامل سیکل رنکاین آلی انتقال داده می‌شود (Henning, 2007). حرارت جذب شده توسط سیال عامل موجب ایجاد سیالی با دما و فشار بالا در سیکل رنکاین آلی می‌شود که این گاز دما- بالا و فشار- بالا وارد توربین شده و موجب به حرکت درآمدن توربین و نهایتاً تولید الکتریسته یا توان می‌شود. در نتیجه با استفاده از سیستم خورشیدی رنکاین آلی امکان تبدیل مستقیم حرارت خورشیدی به الکتریسته یا توان با بازده بالا، امکان پذیر خواهد بود (Kosmadakis et al., 2010; Tchanche et al., 2009). مورد قابل توجه دیگر، الحاق سیستم خورشیدی به سیکل ترکیبی می‌باشد، شامل سیکل تولید بخار رنکاین و توربین گاز برایتون می‌باشند. سوخت در سیکل توربین گاز دچار احتراق شده و حرارت خروجی احتراق، بازیاب حرارتی می‌شود. از حرارت بازیاب شده در توربین سیکل رنکاین فشار پایین جهت تولید بخار استفاده می‌شود و سیستم گردآورنده بشقابی می‌تواند در فشار بالاتری تولید بخار کند. از جمله مزایای این واحدها عبارتند از (Macchi and Astolfi, 2016):

- بالا بودن بازده تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی،

- کمتر بودن هزینه اولیه سیستم خورشیدی ترکیب شده با توربین بخار ظرفیت بالا در سیستم ترکیبی

نسبت به هزینه نیروگاه خورشیدی منفرد،

- بالا بودن بازده حرارتی سیکل ترکیبی.

فناوری‌های مربوط به کاربرد نیروگاهی به دو بخش تولید بخار مستقیم و تولید بخار غیر مستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند. در فناوری غیرمستقیم، که اغلب واحدهای تجاری سیستم خورشیدی دنیا از این روش استفاده می‌کنند، سیال عامل حرارت، روغن حرارتی می‌باشد. همچنین فناوری تولید بخار مستقیم که آب مستقیماً وارد لوله جاذب گردآورنده‌ها می‌شود، نیز از نظر اقتصادی و انرژی مورد توجه بوده است. در این زمینه تحقیقاتی انجام پذیرفته است.

۱-۴-۲ کاربرد غیر نیروگاهی

سیستم‌های بشقابی خورشیدی همچنین می‌توانند به منظور پخت و پز نیز مورد استفاده قرار گیرند. در سال ۱۹۹۶، محققان یک سیستم پخت خورشیدی را با استفاده از گردآوردنده‌های لوله خلاء، مورد آزمایش قرار دادند (Balzar et al., 1996). در سال ۲۰۰۷، پژوهشگران یک طرح جدید سیستم پخت بشقابی خورشیدی را ارائه نمودند که موجب افزایش انتقال حرارت می‌شد (Rao and Rao, 2007). در پژوهشی در سال ۲۰۱۲، محققان یک آنالیز تجربی را به منظور افزایش انتقال حرارت سیستم پخت بشقابی خورشیدی با استفاده از مواد متخلخل ارائه دادند (Lokeswaran and Eswaramoorthy, 2012). در پژوهشی در سال ۲۰۱۴، عملکرد حرارتی مواد ذخیره کننده حرارت در دستگاه گردآورنده بشقابی خورشیدی جهت پخت و پز مواد غذایی را مورد بررسی قرار گرفت (Agrawal et al., 2014).

برخی از تحقیقات نیز در زمینه کاربرد گردآورنده بشقابی جهت گرم کردن آب گزارش شده است. در پژوهشی در سال ۲۰۰۲، پژوهشگران یک گردآورنده بشقابی را طراحی و ساختند و سپس آن را برای کاربردهای گوناگون از جمله پخت و گرم کردن آب مورد آزمایش قرار دادند (Manukaji and Akinbode, 2002). طی تحقیقی در سال ۲۰۱۲، طراحی و توسعه یک گرمکن آب گردآورنده بشقابی برای کاربرد خانگی انجام شد (Mohammed, 2012). در تحقیقی دیگر در سال ۲۰۱۲، طرحی با استفاده از گردآورنده ساخته شد که قابلیت تحمل فشار ۲ بار و تولید دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس داشت (Dafle and Shinde, 2012).

سیستم‌های بشقابی خورشیدی همچنین می‌توانند به عنوان پمپ مورد استفاده قرار گیرند. در سال ۱۹۸۱، پژوهشگران مدلی را به منظور طراحی بهینه گردآورنده بشقابی سهموی به منظور تأمین توان مورد نیاز برای آبیاری، ارائه کردند (Habib-Agahi and Jones, 1981). در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۳، مدلی برای پمپ آب با استفاده از گردآورنده بشقابی / موتور استرلینگ ارائه شد که جهت آبیاری و کاربردهای دیگر از آن استفاده می‌شد (Saini et al., 2013). همچنین از گردآورنده‌های بشقابی به عنوان منبع حرارتی سیستم آب شیرین‌کن، نیز استفاده می‌شود (Gorjian et al., 2014).

۱-۵ نانوسیال

نانوسیال، سیالی است که حاوی ذرات جامد معلق فلزی و غیر فلزی با قطر متوسط کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. اصطلاح نانوسیال برای اولین بار توسط چوی^۹، برای دسته جدیدی از سیالات حاوی ذرات معلق جامد بکار برده شد. سیال‌هایی که در سیستم‌های گرمایی بعنوان سیال عامل استفاده می‌شوند دارای ضریب رسانش گرمایی کمی هستند. همچنین فلزات یا اکسیدهای فلزی نسبت به سیالات دارای ضریب رسانش گرمایی بسیار بالاتری هستند. لذا مخلوط سیال پایه و این ذرات فلزی می‌تواند رسانش گرمایی موثری را بوجود آورد که از رسانش گرمایی سیال پایه بیشتر است. از طرفی با استفاده از ذرات در حد نانو نسبت به ذرات میکرو یا بزرگتر دارای سطح تماس بسیار بیشتری می‌باشند و همین فزونی سطح تماس موجب افزایش سطح موثر انتقال گرما می‌گردد. همچنین با کاربرد ذرات نانویی در سیالات امکان مسدود شدن کانال‌های کوچک از بین می‌رود و نسبت به ذرات میکروبی و بزرگتر دارای پایداری بیشتر بوده و سریع‌تر ته‌نشین نمی‌شوند. کاربرد نانوسیال در سیستم‌های تولید توان خورشیدی دارای مزایای زیر است (Loni et al., 2017):

- مشکلاتی از جمله مسدود شدن لوله‌های عبوری سیال عامل، پمپ و یا سایر اتصالات هیدرولیکی به دلیل اندازه بسیار کوچک ذرات نانویی بوجود نمی‌آید.
- دریافت‌کننده توزیع دمایی یکسانی را نشان خواهد داد.
- بازده حرارتی گردآورنده خورشیدی به دلیل انتقال حرارت همرفتی و رسانایی بالاتر نانوسیال در مقایسه با سیال مبنای، در اثر کاربرد نانوسیال افزایش خواهد یافت.
- با توجه به تغییر اندازه و شکل نانوذرات، میزان افزایش بازده حرارتی گردآورنده خورشیدی تغییر خواهد کرد.

۱-۶ بیان مسأله

امروزه با توجه به کاهش منابع سوخت فسیلی و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از کاربرد سوخت‌های فسیلی، ضرورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مشخص می‌شود. ایران به عنوان کشوری که در کمربند خورشیدی زمین قرار گرفته است، دارای پتانسیل انرژی خورشیدی بالایی است به گونه‌ای که دوماه تابش

^۱Cho

دریافتی آن معادل کل منابع سوخت‌های فسیلی آن است (Bahrami and Abbaszadeh, 2013). میانگین تابش

Title of Thesis: Modeling and Evaluation of Solar Parabolic Dish Collector Using Nanofluid (Al₂O₃/oil)	
Supervisors: Ezzatollah Askari Asli-Ardeh and Barat Ghobadian Advisors: Alibakhsh Kasaeian and Shiva Gorjian	
Graduate Degree: Ph. D	
Major: Mechanics of Biosystem Engineering	Specialty: Energy
University: Mohaghegh Ardabili	Faculty: Agriculture and Natural Resources
Graduation date: 2017.8.29	Number of pages: 137
<p>Abstract: In the current study, a dish concentrator with acubical cavity receiver was investigated as the heat source of an organic Rankine cycle (ORC). In the first stage, thermal and thermodynamic modeling and optimization was carried out. The main aim of this stage was the optimization of the cubical cavity receiver for achieving the highest performance of the investigated solar ORC. Thermal oil was used as the solar working fluid and R141b was selected as the ORC working fluid. The investigated parameters in this stage were including: cavity aperutre area, tube diameter, cavity height, working fluid inlet temperature and working fluid mass flow rate. In the second stage, the optimum cavity receiver was constructed and tested using thermal oil and Al₂O₃/thermal oil nanofluid as the solar working fluid. The main objective of the second stage is the comparison of the cubical cavity thermal performance using the thermal oil and the Al₂O₃/thermal oil nanofluid as the solar workind fluid. The simulation results reveal that a cubical cavity receiver with aperture area of 12.5×12.5 cm², cavity height of 12.5 cm, and tube diameter of 10 mm, has the highest thermal and thermodynamic performance. On the other hand, the thermal modeling results show that the lower inlet temperature and higher mass flow rate of the solar working fluid caused the highest thermal performance. Also, based on the experimental results in the stady state condition, $F_R\eta_{opt}$ and $\frac{F_R U_L}{C}$ were calculated 0.71 and 1.25 for the thermal oil and 0.74 and 1.05 for the Al₂O₃/thermal oil nanofluid as the solar working fluid increased the thermal performance of the solar system, respectively. Finally, the experimental results show the avrage thermal efficiency of the cubical receiver for the thermal oil and the Al₂O₃/thermal oil nanofluid were 65.14% and 71.59%, respectively.</p>	
Keywords: Simulation; Solar ORC system; Cubical cavity receiver; Dish concentrator; Al ₂ O ₃ /thermal oil nanofluid.	



University of
Mohaghegh Ardabili

Faculty of Agriculture and Natural Resources
Department of Mechanics of Biosystem Engineering

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the
degree of Ph. D in Mechanics of Biosystem Engineering**

Title:

**Modeling and Evaluation of Solar Parabolic Dish Collector Using
Nanofluid (Al_2O_3 /oil)**

Supervisors:

Ezzatollah Askari Asli-Ardeh
Barat Ghobadian

Advisors:

Alibakhsh. Kasaeian
Shiva Gorjian

By:

Reyhaneh Loni

August – 2017