

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

بررسی عددی اثر نانوسیالات بر راندمان حرارتی کلکتورهای لوله خلاء خورشیدی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

امین رازقی یدکی

استاد راهنما

دکتر غلامرضا اعتماد

دکتر مسعود حق شناس



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی - فرایندهای جداسازی آقای امین رازقی یدکی

تحت عنوان

بررسی عددی اثر نانوسیالات بر راندمان حرارتی کلکتورهای لوله خلاء خورشیدی

در تاریخ ۹۲/۱۲/۱۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر سید غلامرضا اعتماد

۲- استاد راهنمای پایان نامه دکتر مسعود حق شناس

۳- استاد داور دکتر نسرین اعتصامی

۴- استاد داور دکتر علی اکبر عالم رجبی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر مرتضی صادقی

تشکر و قدردانی:

از اساتید گرامیم جناب آقای دکتر اعتماد و جناب آقای دکتر حق شناس به دلیل همکاری بی دریغشان جهت پیشبرد این پایان نامه تشکر نموده و برایشان توفیق روز افزون آرزو مندم.

از جناب آقای دکتر عالم رجبی و خانم دکتر اعتصامی به جهت قبول زحمت داوری این پایان نامه تشکر می نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتّب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق
موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیز و مهربانم،

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
هشت	فهرست مطالب.....
۱	چکیده.....
	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- انرژی خورشیدی.....
۴	۲-۱- ستاره خورشید.....
۵	۳-۱- نانو سیال.....
۶	۴-۱- ساختار پایان نامه.....
	فصل دوم: کلکتورهای خورشیدی
۷	۱-۲- مقدمه.....
۷	۲-۲- کلکتورهای خورشیدی.....
۷	۱-۲-۲ کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی.....
۹	۳-۲- کلکتورهای متمرکز کننده.....
۱۱	۴-۲- کلکتورهای خورشیدی لوله خلاء.....
۱۲	۵-۲- لوله گرمایی.....
۱۳	۶-۲- جریان داخل جاذب.....
۱۳	۷=۲- لوله تمام شیشه.....
۱۴	۸-۲- کلکتورهای لوله خلاء با لوله ی U-شکل.....
۱۵	۹-۲- سیستم های فعال و غیر فعال.....
۱۵	۱-۹-۲- سیستم های غیر فعال.....
۱۶	۲-۹-۲- سیستم های فعال.....
۱۷	۱۰-۲- راندمان کلکتورهای خورشیدی.....
	فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته
۲۲	۱-۳- مروری بر آبگرمکن های خورشیدی.....
۲۴	۲-۳- تحقیقات گذشته ی کلکتورهای لوله خلاء خورشیدی.....
۲۴	۳-۳- کلکتور لوله خلاء سیال در شیشه.....
۲۸	۴-۳- کلکتورهای لوله خلاء با لوله گرمایی.....
۳۲	۵-۳- کلکتورهای لوله خلاء با لوله ی U-شکل.....
۳۳	۶-۳- استفاده از نانو سیالات در کلکتورهای خورشیدی.....
	فصل چهارم: توصیف مساله و معادلات حاکم
۴۶	۱-۴- مقدمه.....

۴۶	.....۲-۴- دینامیک سیالات محاسباتی
۴۷	.....۳-۴- روش حجم محدود
۴۸	.....۴-۴- روش حل
۴۹	.....۱-۴-۴- الگوریتم حل مجزا
۴۹	.....۲-۴-۴- الگوریتم حل همزمان
۵۰	.....۵-۴- مدل‌های فیزیکی
۵۰	.....۱-۵-۴- معادلات حاکم
۵۰	.....۲-۵-۴- معادله پیوستگی
۵۰	.....۳-۵-۴- معادلات بقای اندازه حرکت
۵۱	.....۴-۵-۴- معادله انرژی
۵۱	.....۶-۴- مدل‌های تابشی
۵۲	.....۱-۶-۴- مدل تابشی انتقال گسسته
۵۳	.....۲-۶-۴- مدل P-1
۵۳	.....۳-۶-۴- مدل روزلند
۵۳	.....۴-۶-۴- مدل سطح به سطح
۵۳	.....۵-۶-۴- مدل DO
۵۴	.....۷-۴- سنجش هندسه مساله
۵۹	.....۸-۴- شرایط مرزی
۵۹	.....۱-۸-۴- شرط مرزی ورودی
۵۹	.....۲-۸-۴- شرط مرزی خروجی
۵۹	.....۳-۸-۴- شرط مرزی سطح خارجی کلکتور
۶۰	.....۹-۴- خواص فیزیکی
	فصل پنجم: نتایج و بحث
۶۴	.....۱-۵- مقدمه
۶۴	.....۲-۵- اعتبار سنجی
۶۶	.....۳-۵- کانتورهای دما و سرعت
۷۲	.....۴-۵- اثر دبی سیال
۷۳	.....۵-۵- اثر شدت تابش
۷۴	.....۶-۵- اثر طول کلکتور
۷۵	.....۷-۵- اثر قطر کلکتور
۷۶	.....۸-۵- اثر هدایت حرارتی ماده پرکننده کلکتور
۷۷	.....۹-۵- اثر زاویه‌ی قرارگیری لوله‌ی U-شکل

۷۸	.....۱۰-۵- نانوسیال
۷۹	..... اثر نانوسیال. ۱-۱۰-۵-CuO کلکتور بر راندمان
۸۱	..... اثر نانوسیال. ۲-۱۰-۵-Al ₂ O ₃ کلکتور بر راندمان
۸۲	..... اثر نانوسیال. ۳-۱۰-۵-TiO ₂ کلکتور بر راندمان
۸۳	..... ۴-۱۰-۵- مقایسه بین سه نانوسیال
	فصل ششم: نتیجه گیری
۸۵	..... منابع

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴	شکل ۱-۱- میزان تابش کل ایران [۹]
۸	شکل ۱-۲- نمایی از کلکتور صفحه تخت [۱۰]
۱۰	شکل ۲-۲- سیستم گیرنده مرکزی [۱۵]
۱۱	شکل ۳-۲- ککلتورهای ظروف سهموی [۱۷]
۱۲	شکل ۴-۲- کلکتور لوله خلاء با لوله گرمایی [۱۸]
۱۳	شکل ۵-۲- پیکربندی لوله U-شکل و لوله‌های هم‌مرکز [۱۸]
۱۴	شکل ۶-۲- نمایی از کلکتور لوله خلاء تمام شیشه [۲۰]
۱۵	شکل ۷-۲- نمایی از کلکتور لوله خلاء با لوله U-شکل [۱۸]
۱۶	شکل ۸-۲- نمایی از یک سیستم فعال
۱۷	شکل ۹-۲- نمایی از یک سیستم غیرفعال
۱۹	شکل ۱۰-۲- سطوح جاذب، روزنه و کل در کلکتور صفحه تخت [۲۱]
۱۹	شکل ۱۱-۲- سطوح جاذب، روزنه و کل در کلکتور لوله خلاء با بازتابنده [۲۱]
۲۰	شکل ۱۲-۲- سطوح جاذب، روزنه و کل در کلکتور لوله خلاء بدون بازتابنده [۲۱]
۲۱	شکل ۱۳-۲- رابطه راندمان بر حسب دمای کاهش یافته [۱۰]
۲۴	شکل ۱-۳- کلکتور ارائه شده کمپ [۲۲]
۲۵	شکل ۲-۳- فضای حل در تحقیق موریسون و همکاران [۲۴]
۲۶	شکل ۳-۳- نمودار نرخ گردش طبیعی سیال [۲۴]
۲۷	شکل ۴-۳- نمودار نرخ گردش طبیعی سیال [۲۳]
۲۸	شکل ۵-۳- کلکتور لوله خلاء خورشیدی بررسی شده توسط شاه و فوربو [۲۵]
۲۹	شکل ۶-۳- کلکتور پیشنهاد شده توسط مهجوری [۲۸]
۳۱	شکل ۷-۳- مدار حرارتی کلکتور لوله خلاء با لوله گرمایی [۳۲]
۳۲	شکل ۸-۳- منحنی‌های راندمان استاندارد [۳۲]
۳۳	شکل ۹-۳- سطح مقطع کلکتورهای لوله خلاء ارائه شده توسط کیم و سئو [۳۴]
۳۴	شکل ۱۰-۳- تغییرات فاکتور راندمان کلکتور با هدایت موثر [۳۶]
۳۵	شکل ۱۱-۳- تصویر کلکتور استفاده شده توسط لیانگ و همکاران [۳۸]
۳۶	شکل ۱۲-۳- کلکتور لوله خلاء پر شده [۳۷]
۳۷	شکل ۱۳-۳- مدار حرارتی کلکتور لوله خلاء پر شده [۳۷]
۳۸	شکل ۱۴-۳- مقایسه بین راندمان تئوری و عملی کلکتور [۳۷]
۳۸	شکل ۱۵-۳- مقایسه بین راندمان کلکتورها [۳۸]

- شکل ۳-۱۶- تغییرات راندمان آگرژی کلکتورها با میزان تابش خورشیدی [۳۸]
- شکل ۳-۱۷- پیکربندی کلکتورهای ارائه شده توسط لیانگ و همکاران [۳۹]
- شکل ۳-۱۸- کلکتور DUFET [۳۹]
- شکل ۳-۱۹- افزایش دمای سیال کاری برای کلکتور DUFET [۳۹]
- شکل ۳-۲۰- نمودار راندمان کلکتور DUFET برای هدایت‌های حرارتی مختلف ماده پرکننده [۳۹]
- شکل ۳-۲۱- مقایسه بین داده‌های تئوری و تجربی در کلکتور DUFET [۳۹]
- شکل ۳-۲۲- کلکتور استفاده شده توسط یوسفی و همکاران [۴۰]
- شکل ۳-۲۳- راندمان کلکتور صفحه تخت برای نانوسیال آبی Al_2O_3 بدون حاضر ماده فعال سطحی [۴۲]
- شکل ۳-۲۴- راندمان کلکتور صفحه تخت با نانوسیال آبی MWCNT در pHهای مختلف [۴۲]
- شکل ۴-۱- نمایی از الگوریتم CFD استفاده شده در این پایان‌نامه
- شکل ۴-۲- نمایی از مدول کلکتور لوله خلاء خورشیدی
- شکل ۴-۳- الف) نمایی از سطح مقطع کلکتور ب) نمای برش خورده کلکتور
- شکل ۴-۴- انواع المان‌های موجود در برنامه گمبیت
- شکل ۴-۵- تصویر شبکه‌بندی شده کلکتور
- شکل ۴-۶- بررسی استقلال از مش در شبکه سه شبکه تولید شده
- شکل ۴-۷- توزیع زاویه‌ای تابش حول کلکتور
- شکل ۵-۱- مقایسه راندمان کلکتور بین نتایج تجربی و شبیه‌سازی
- شکل ۵-۲- اختلاف دمای ورودی و خروجی بر حسب دبی سیال
- شکل ۵-۳- کانتور سرعت در کلکتور الف) ناحیه ابتدایی ب) ناحیه انتهایی
- شکل ۵-۴- توزیع سرعت محور لوله‌ی U-شکل در مسیر رفت و برگشت
- شکل ۵-۵- کانتور دمای در راستای طولی کلکتور
- شکل ۵-۶- کانتور دمای در مقاطع عرضی
- شکل ۵-۷- کانتور دما در ناحیه‌های ابتدایی الف) و انتهایی کلکتور ب)
- شکل ۵-۸- دمای محور لوله‌ی U-شکل در راستای طول کلکتور
- شکل ۵-۹- اختلاف دمای سیال خروجی و ورودی بر حسب دبی سیال
- شکل ۵-۱۰- اثر دبی بر روی راندمان کلکتور
- شکل ۵-۱۱- اثر شدت تابش بر روی توان مفید خروجی
- شکل ۵-۱۲- اثر طول کلکتور بر روی راندمان
- شکل ۵-۱۳- اثر قطر کلکتور بر روی راندمان
- شکل ۵-۱۴- اثر هدایت حرارتی ماده پرکننده بر روی راندمان
- شکل ۵-۱۵- پنج چیدمان مختلف لوله‌ی U-شکل

۷۸	شکل ۵-۱۶- اثر پنج چیدمان ارائه شده بر روی راندمان کلکتور
۷۹	شکل ۵-۱۷- راندمان حرارتی کلکتور حاوی نانوسیال CuO
۸۰	شکل ۵-۱۸- ضریب انتقال حرارت نانوسیال CuO در کلکتور
۸۰	شکل ۵-۱۹- ظرفیت حرارتی سه نانوسیال در غلظت‌های مختلف
۸۱	شکل ۵-۲۰- راندمان حرارتی کلکتور حاوی نانوسیال Al ₂ O ₃
۸۱	شکل ۵-۲۱- ضریب انتقال حرارت نانوسیال Al ₂ O ₃ در کلکتور
۸۲	شکل ۵-۲۲- راندمان حرارتی کلکتور حاوی نانو سیال TiO ₂
۸۳	شکل ۵-۲۳- ضریب انتقال حرارت نانوسیال TiO ₂ در کلکتور
۸۴	شکل ۵-۲۴- مقایسه راندمان بین سه نانوسیال

فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۰	جدول ۳-۱- مشخصات عمومی کلکتورهای BSERI و Thermomax [۱۶]
۴۳	جدول ۳-۲- مشخصات کلکتور صفحه تخت استفاده شده توسط یوسفی و همکاران [۴۰]
۶۲	جدول ۴-۱- ثوابت روابط مربوط به آب [۴۹]
۶۲	جدول ۴-۲- خواص حرارتی نانو ذره [۴۸]
۶۳	جدول ۴-۳- خواص حرارتی سایر مواد به کار رفته در شبیه‌سازی

چکیده

امروزه انرژی نقش مهمی در رشد اقتصادی جوامع بشری بازی می‌کند. در میان انواع انرژی‌های مصرفی توسط بشر، انرژی خورشید را می‌توان فراوان‌ترین دانست. طبیعت و بشر راه‌های مختلفی برای به کارگیری انرژی خورشیدی ابداع کرده‌اند. در این میان ساده‌ترین استفاده ممکن، تبدیل تابش خورشیدی به حرارت است. از اینرو طی سال‌های گذشته انواع سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی ساخته و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. قلب آبگرمکن‌های خورشیدی کلکتورهای خورشیدی هستند. فراوان‌ترین انواع کلکتورهای خورشیدی کلکتورهای صفحه تخت و کلکتورهای لوله خلاء هستند. به دلیل اتلاف حرارتی زیاد، کلکتورهای صفحه تخت دارای راندمان مناسبی نسبت به کلکتورهای لوله خلاء نیستند. کلکتورهای لوله خلاء خود انواع مختلفی دارند که در این پژوهش از کلکتور لوله خلاء با لوله‌ی U-شکل جهت شبیه‌سازی استفاده شده است. در پایان‌نامه به مدل‌سازی تک فاز یک کلکتور لوله خلاء به صورت سه بعدی در شرایط پایا پرداخته شده است. جهت مدل‌سازی CFD و تولید شبکه به ترتیب از نرم‌افزارهای Fluent و Gambit استفاده شده است. جهت مدل‌سازی جریان سیال آرام و تراکم‌ناپذیر در نظر گرفته شده است. از مدل DO برای شبیه‌سازی تابش در کلکتور استفاده شده است. در این پژوهش اثر مشخصه‌های هندسی کلکتور شامل طول، قطر، چیدمان لوله‌ی U-شکل در کلکتور، هدایت حرارتی ماده پرکننده داخل کلکتور و نانوسیال‌های $\text{CuO-H}_2\text{O}$ ، $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ و $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ بر انتقال حرارت و راندمان کلکتور مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش طول، قطر و هدایت حرارتی ماده پرکننده منجر به افزایش راندمان کلکتور می‌گردد. در بین چیدمان‌های مورد بررسی قرار گرفته، چیدمانی بیشترین راندمان را داراست که لوله‌ی U-شکل عمودی باشد و همچنین چیدمانی کمترین راندمان را دارد که لوله‌ی U-شکل به صورت افقی قرار گرفته باشد. استفاده از نانوسیالات به عنوان محیط انتقال حرارت در کلکتور منجر به افزایش راندمان حرارتی کلکتور می‌گردد. بیشترین میزان افزایش راندمان حرارتی کلکتور مربوط به نانوسیال آب-اکسیدمس با $13/8$ درصد افزایش نسبت به آب می‌باشد. نانوسیال آب-اکسیدمس به ترتیب حدود $1/3$ و $1/5$ درصد افزایش راندمان بیشتری نسبت به نانوسیالات آب-اکسید تیتانیوم و آب=اکسید آلومینیوم را نشان می‌دهد. با توجه به شدت کاهش ظرفیت حرارتی نانوسیال‌های مورد استفاده قرار گرفته، می‌توان ظرفیت حرارتی را عاملی مهم در افزایش راندمان کلکتورهای لوله خلاء خورشیدی دانست.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، کلکتورهای لوله خلاء خورشیدی، راندمان حرارتی، نانوسیال

فصل اول

مقدمه

۱-۱- انرژی خورشیدی

انرژی را می‌توان مهمترین عامل در تولید ثروت و فاکتور مهمی در رشد اقتصادی در نظر گرفت. در میان انواع منابع تجدیدپذیر انرژی، انرژی خورشیدی فراوان‌ترین آنهاست. خورشید با نرخ $3/8 \times 10^{23}$ کیلووات انرژی منتشر می‌کند که از این میزان تقریباً $1/8 \times 10^{14}$ کیلووات به سطح خارجی زمین می‌رسد [۱, ۲]. حدود ۶۰ درصد از این مقدار به سطح زمین می‌رسد و مابقی این انرژی به فضا بازتابیده می‌شود یا توسط اتمسفر جذب می‌گردد. تبدیل تنها ۰/۱ درصد از این انرژی با راندمان ۱۰ درصد چهار برابر نیاز جهانی به الکتریسیته به مقدار ۳۰۰۰ گیگاوات را تأمین می‌کند [۳]. قابل ذکر است که میزان انرژی خورشیدی سالانه نازل شده به زمین ۷۵۰۰ برابر مصرف اولیه انرژی سالانه جهانی^۱ به میزان ۴۵۰ اگزا^۲ ژول است [۳, ۴]. انرژی خورشیدی تابشی سالانه رسیده به زمین تقریباً $3/400/000$ اگزا ژول است که به اندازه

^۱ World annual primary energy consumption

^۲ Exa Joule

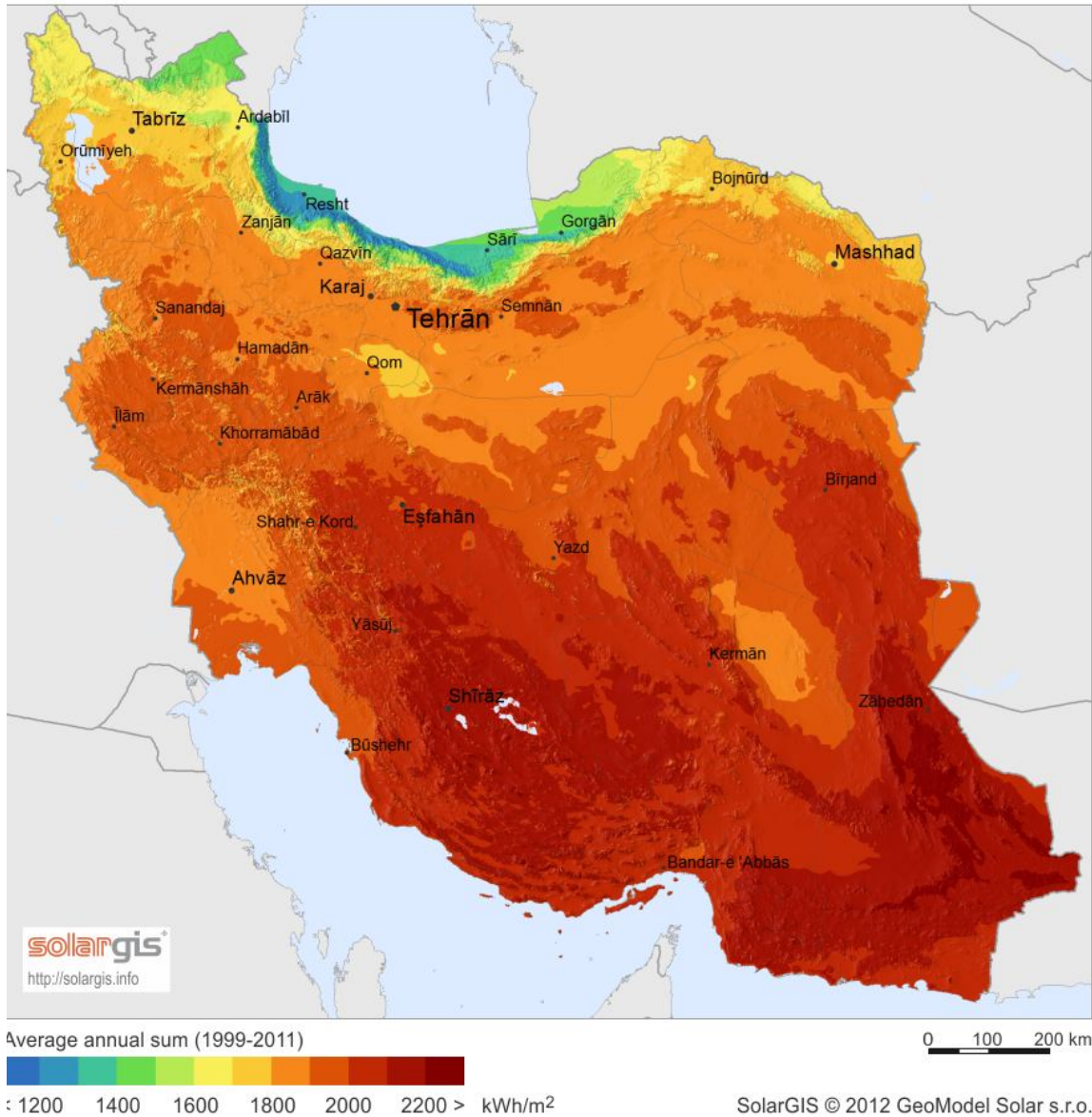
یک مرتبه بزرگی^۳ بیشتر از تمام منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر تخمین زده شده شامل سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای است. این در حالی است که حدود ۸۰ درصد از انرژی مصرفی جهانی حاضر را ذغال سنگ، نفت و گاز طبیعی تشکیل می‌دهد [۳، ۴]. با نرخ افزایش ۲/۵ درصدی تقاضای انرژی [۵] در دو دهه‌ی آینده تقاضای جهانی انرژی از میزان تولید فراتر خواهد رفت [۳]. با بررسی روند قیمت سوخت‌های فسیلی شاهد افزایش قیمت این سوخت‌ها با کاهش هرچه بیشتر این منابع هستیم. علاوه بر این با کاهش منابع نفت و گاز احتمال به وجود آمدن بحران‌های سیاسی و اقتصادی بین‌المللی نیز وجود دارد [۳]. دیگر مسأله‌ای که در دو دهه‌ی اخیر توجه‌ها را به خود جلب کرده، خطر تخریب محیط زیست است. محتمل‌ترین دلیل مشکلات زیست محیطی را می‌توان ترکیبی از چندین فاکتور ناشی از افزایش فعالیت‌های بشر دانست. این فاکتورها افزایش جمعیت، مصرف انرژی و فعالیت‌های اقتصادی می‌باشد. دینچر^۴ توضیح مفصلی از آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های بشری و تأثیر آن بر محیط زیست و حیات انسان ارائه کرده است [۶]. دستیابی به راه حلی برای مسائل زیست محیطی که امروزه بشر با آن روبرو است نیازمند فعالیت‌های گسترده است. یک راه حل مؤثر انرژی‌های تجدیدپذیر است.

در سال‌های اخیر انرژی خورشید به منبعی مطمئن جهت تولید انرژی پایدار تبدیل گشته است. یکی از ساده‌ترین استفاده‌های ممکن از این انرژی تبدیل مستقیم تابش خورشیدی به حرارت است. از تابش خورشیدی می‌توان در گرمایش آب در سیستم‌های گرمایش آب، استخرهای شنا و به عنوان منبع انرژی پشتیبان در سیستم حرارتی مرکزی ساختمان‌ها استفاده کرد. استفاده از انرژی خورشید برای گرمایش آب ایده‌ای نو نیست. طی صد سال گذشته از تانک‌های آب به رنگ سیاه به عنوان گرمکن آب در تعدادی از کشورها استفاده می‌گردیده است. در طی صد سال اخیر تکنولوژی آب گرمکن‌های خورشیدی به صورت شگرفی بهبود یافته است. به طوری که امروزه بیشتر از ۳۰ میلیون متر مربع از کلکتورهای خورشیدی در سرتاسر جهان نصب شده است [۷].

میزان تابش خورشیدی در نقاط مختلف زمین متغیر بوده، بروی کمربند خورشیدی بیشترین مقدار را داراست. ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خورشیدی زمین یکی از کشورهای مستعد در زمینه انرژی خورشیدی است. ایران کشوری با بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در سال است. متوسط تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ الی ۲۲۰۰ kWh/m² در سال تخمین زده می‌شود، که از متوسط جهانی بالاتر است [۸]. شکل ۱-۱ میزان تابش کل ایران را نشان می‌دهد [۹]. با توجه به وسعت، شرایط جغرافیایی و پراکندگی روستاها که عمدتاً در نقاط دور از دسترس قرار دارند، می‌توان انرژی خورشید را به عنوان منبعی مطمئن و مداوم جهت تأمین انرژی کشور دانست.

³ Order of magnitude

⁴ Dincer



شکل ۱-۱: میزان تابش کل در ایران [۹]

۲-۱- ستاره خورشید

خورشید کره‌ای متشکل از گاز داغ با شعاع 1.39×10^9 متر با فاصله میانگین تا زمین 1.5×10^{11} متر است [۱۰]. ۸۰ درصد از این گاز هیدروژن و ۱۹ درصد هلیوم می‌باشد [۱۱]. آن چنان که از زمین دیده می‌شود، خورشید هر ۴ هفته یکبار حول محور خود می‌چرخد.

خورشید را می‌توان یک جسم سیاه با دمای ۵۷۷۷ کلوین در نظر گرفت. دمای نواحی داخلی خورشید حدود ۸×۱۰^۶ تا ۴۰×۱۰^۶ کلوین تخمین زده می‌شود. انرژی خورشید بعد از ۸ دقیقه و ۲۰ ثانیه پس از طی مسافتی معادل با $۱/۵ \times ۱۰^{۱۱}$ متر به سطح زمین می‌رسد. دانسیته خورشید تقریباً ۱۰۰ برابر دانسیته آب است. خورشید در واقع یک راکتور همجوشی پیوسته است که گازهای تشکیل دهنده آن توسط نیروی گرانشی متمرکز شده است. چندین واکنش همجوشی برای بیان توضیحی از نحوه تولید انرژی توسط خورشید ارائه شده است. در یکی از مهمترین این فرایندها اتم‌های هیدروژن (۴ پروتون) ترکیب شده و هسته هلیوم را تشکیل می‌دهند. جرم هسته هلیوم تشکیل شده از چهار پروتون کمتر است. این جرم از دست رفته در واکنش به انرژی تبدیل می‌گردد [۱۰].

انرژی تولید شده در هسته چند میلیون درجه‌ای خورشید به سطح این کره‌ی گازی منتقل می‌شود. سپس این انرژی به فضا تابش می‌کند. این انرژی از سطح خورشید در همه جهات انتشار می‌یابد. خورشید از لایه‌های مختلفی ساخته شده است. هر چه به لایه‌های درونی نزدیک‌تر شویم دما نیز افزایش می‌کند. لایه‌های درونی بخش اشعه X و گامای طیف را تشکیل می‌دهند. خارجی‌ترین لایه خورشید که فوتوسفر نام دارد، منبع بیشترین قسمت‌های طیف تابشی خورشید است [۱۰].

۱-۳- نانوسیال

انتقال حرارت جابه‌جایی را می‌توان با استفاده از تغییر هندسه، شرایط مرزی و یا بهبود هدایت حرارتی سیال افزایش داد. روش‌های متنوعی برای افزایش کارایی انتقال حرارتی سیال پیشنهاد شده است [۱۲, ۱۳]. یکی از این روش‌ها، اضافه کردن ذرات جامد معلق در اندازه‌ی میکرومتر و یا کوچکتر به سیال پایه است. عموماً هدایت حرارتی جامدات از سیالات بالاتر است، به همین دلیل هدایت حرارتی سیالات حاوی ذرات جامد افزایش می‌یابد. پس از تحقیق تئوری ماکسول در سال ۱۸۸۱، مطالعات زیادی بر روی سوسپانسیون‌های حاوی ذرات جامد انجام شده است. به علت اندازه بزرگ و دانسیته‌ی بالای ذرات، هیچ راه مناسبی برای جلوگیری از ته‌نشینی ذرات جامد وجود ندارد. عدم پایداری این سوسپانسیون‌ها افزایش توان پمپاژ و سایدگی در لوله‌ها و سایر تجهیزات را به دنبال دارد. از اینرو هرگز این سوسپانسیون‌ها به صورت تجاری در نیامده‌اند.

فن‌آوری نانوتکنولوژی این امکان را فراهم کرده تا بتوان ذراتی در اندازه نانومتر تولید کرد. با ظهور این فن‌آوری فکر استفاده از نانوذرات در داخل سیال‌ها ایجاد گردید. چوی از آزمایشگاه ملی آرگون در آمریکا در سال ۱۹۹۵ اولین بار نانوسیال را به عنوان محیطی جدید برای افزایش انتقال حرارت ارائه کرد. نانوسیالات ویژگی‌های ممتازی نسبت به سیالات خالص دارند. کاهش اندازه ذرات جامد باعث افزایش سطح مخصوص و پایداری سیال می‌گردد. پایداری

نانوسیالات سرعت ته‌نشینی ذرات را کاهش می‌دهد. بنابراین نانوسیالات مشکل انسداد و گرفتگی را به حداقل می‌رساند. همچنین نانوسیالات نسبت به سیالات حاوی ذرات میکرومتری مشکل ساییدگی کمتری دارند. از دیگر مزایای استفاده از نانوسیالات می‌توان کاهش اندازه سیستم‌های انتقال حرارت، کاهش توان لازم برای پمپاژ و افزایش بازده تجهیزات انتقال حرارتی را نام برد [۱۲-۱۴].

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه از ۶ فصل تشکیل شده است که فصل اول را مقدمه تشکیل می‌دهد.

در فصل دوم انواع کلکتورهای خورشیدی و روابط اساسی تعیین‌کننده عملکرد کلکتورهای خورشیدی ارائه شده است.

فصل سوم به کارهای تجربی و عددی انجام شده به کلکتورهای خورشیدی با موضوعیت کلکتورهای لوله خلاء اختصاص یافته است.

در فصل چهارم دینامیک سیالات محاسباتی، معادلات حاکم، مدل‌های به کار رفته شده، هندسه مسأله، شرایط مرزی و خواص ترموفیزیکی مواد به کار رفته ارائه گردیده است.

در فصل پنجم به ارائه نتایج به دست آمده و تحلیل آنها پرداخته شده است.

در نهایت در فصل ششم به نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده پرداخته شده است.

فصل دوم

کلکتورهای خورشیدی

۲-۱- مقدمه

کلکتورهای خورشیدی نوع خاصی از مبدل‌های حرارتی هستند که انرژی تابش خورشیدی را به حرارت تبدیل می‌کنند. کلکتورهای خورشیدی در مقایسه با مبدل‌های حرارتی متعارف از چندین جهت دارای تفاوت‌هایی هستند. معمولاً در مبدل‌های حرارتی یک سیال در تماس با سیالی دیگر تبادل حرارت می‌دهد. در راستای این تبادل حرارت مبدل‌های حرارتی را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که تا نرخ انتقال حرارت به حداکثر ممکن برسد. همچنین معمولاً در مبدل‌های حرارتی تابش حرارتی پارامتری بی‌تاثیر است. در کلکتورهای خورشیدی انرژی از یک منبع تابش حرارتی در فاصله دور (خورشید) به سیال کاری منتقل می‌شود [۱۰].

۲-۲- کلکتورهای خورشید

۲-۲-۱- کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی