دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

بررسی سیستم ذخیره‌سازی انرژی حرارتی با استفاده از مواد تغییر فازدهنده

نگارش:

ابوذر سعیدی سرملی

استاد راهنما:

دکتر رضا مهریار

استاد مشاور:

دکتر امیر امیدوار

اسفند ماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

بررسی سیستم ذخیره‌سازی انرژی حرارتی با استفاده از مواد تغییر فازدهنده

نگارش:

ابوذر سعیدی سرملی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: خیلی خوب

دکتر رضا مهریار، استادیار مهندسی مکانیک (استاد راهنما).....

دکتر امیر امیدوار، استادیار مهندسی مکانیک (استاد مشاور).....

دکتر مسعود خراتی کوپایی، استادیار مهندسی مکانیک (استاد داور).....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه: دکتر اکبر رهیده .....

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب ابوذر سعیدی سرملی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک به شماره دانشجویی ۹۰۱۴۴۰۲۰ تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه/رساله، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

ابوذر سعیدی سرملی

تاریخ و امضاء:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

استاد راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

و

تمامی عزیزانی

که موفقیت‌های زندگی‌ام بدون حمایت، تشویق و عشق بی‌پایان‌شان ممکن نبود.

تشکر و قدردانی:

اکنون که به فضل الهی این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می‌دانم که از زحمات بزرگوارانه و راهنمایی‌های جناب آقای دکتر رضا مهریار و جناب آقای دکتر امیر امیدوار تشکر نمایم که در همه حال بار راهنمایی‌هایشان حامی من بودند.

چکیده

بررسی سیستم ذخیره‌سازی انرژی حرارتی با استفاده از مواد تغییر فازدهنده

نگارش:
ابوذر سعیدی سرملی

در این تحقیق رفتار حرارتی یک سیستم ذخیره سازی انرژی حرارتی که با کپسول‌های کروی حاوی مواد تغییر فازدهنده پر شده، مورد تحلیل حرارتی قرار گرفته است. اندازه و جنس عناصر مواد ذخیره سازی و پیکر بندی ظرف ذخیره سازی، مشخصات جریان مانند دبی و سرعت ورودی، درجه حرارت سیال ورودی، تخلخل بستر، ضریب انتقال حرارت از جمله عواملی هستند که میزان اثر گذاری آن‌ها بر رفتار حرارتی سیستم ذخیره‌سازی انرژی حاوی کپسول‌های پر شده با مواد تغییر فازدهنده مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور، معادلات حاکم با استفاده از مدل اصلاح شده شومانز و مدل آنتالپی به روش اختلاف محدود به صورت صریح تحت شرایط مرزی مختلف حل گردیده است. نتایج این تحقیق میزان اثر گذاری عوامل بیان شده بر روی رفتار حرارت سیستم ذخیره سازی انرژی حرارتی را مشخص می‌نماید. علاوه براین تاثیر برخی از عوامل از قبیل اندازه و جنس پوسته کپسول‌ها، دمای ورودی سیال کاری، دبی و سرعت ورودی، میزان تخلخل بستر، ضریب انتقال حرات بین جداره کپسول‌ها و سیال انتقال حرارت، عدد استفان و رینولدز بر روی میزان انرژی ذخیره شده در مخزن و مدت زمان شارژ کامل و تخلیه سیستم بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: بستر بسته بندی، ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، شبیه‌سازی عددی، مواد تغییر فازدهنده

فهرست مطالب

۱. فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- انواع انرژی‌های نو ۲

۱-۲-۱- انرژی باد و امواج ۲

۱-۲-۲- انرژی زمین گرمایی ۳

۱-۲-۳- انرژی زیست توده ۴

۱-۲-۴- انرژی خورشیدی ۴

۱-۳- موقعیت جغرافیایی ایران برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی ۵

۱-۴- روش‌های ذخیره سازی انرژی ۷

۱-۴-۱- انرژی مکانیکی ۸

۱-۴-۲- ذخیره‌سازی انرژی مغناطیسی ۹

۱-۴-۳- ذخیره‌سازی انرژی حرارتی ۹

۱-۵- هدف تحقیق و اهمیت آن ۱۰

۲. فصل دوم: ذخیره‌سازی انرژی حرارتی **۱۱**

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- معیارهای ارزیابی سیستم‌های ذخیره‌سازی حرارتی ۱۲

۲-۲-۱- معیارهای فنی ۱۲

۲-۲-۲- معیارهای زیست محیطی ۱۳

۲-۲-۳- معیارهای اقتصادی ۱۳

۲-۳- ذخیره‌سازی انرژی حرارتی ۱۴

۲-۳-۱- شیمیایی ۱۵

۲-۳-۲- حرارتی ۱۶

۲-۴- خواص مواد تغییرفازدهنده ۱۹

۲-۴-۱- خواص حرارتی ۱۹

۲-۴-۲- خواص فیزیکی ۱۹

۲-۴-۳- خواص شیمیایی ۲۰

۲-۴-۴- اقتصادی ۲۰

۲-۵- طبقه بندی مواد تغییرفازدهنده ۲۰

۲-۵-۲- مواد تغییر فازدهنده معدنی ۲۲

۲-۵-۳- مواد تغییر فاز دهنده آلی ۲۶

۲-۶- روش‌های بهبود عملکرد سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از مواد تغییر فازدهنده ۲۸

۲-۶-۱- بهبود عملکرد حرارتی سیستم ذخیره‌سازی PCM با استفاده از سطوح انتقال حرارت گسترده ۲۸
۲-۶-۲- بهبود عملکرد حرارتی سیستم ذخیره‌سازی PCM با استفاده از واسط انتقال گرمای متوسط ۳۰
۲-۶-۳- بهبود عملکرد حراتی سیستم ذخیره‌سازی PCM با استفاده از لوله های حرارتی ۳۱

۳. فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته ۳۲
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- مروری بر مطالعات قبلی روی سیستم‌های بستر بسته بندی شده ۳۳
۳-۲-۱- مروری بر مطالعات قبلی روی سیستم‌های ذخیره سازی حرارتی محسوس ۳۳
۳-۲-۲- مروری برمطالعات قبلی روی سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی نهان ۳۶
۳-۳- مروری بر مطالعات قبلی روی پارامترهای مربوط به بسترهای بسته بندی ۳۷
۳-۳-۱- عوامل مربوط به ساختار بستر ۳۷
۳-۳-۲- پارامترهای مرتبط با مشخصات جریان ۴۷
۳-۳-۳- عوامل موثر بر پاسخ گذرای بستر ۴۹
۳-۴- مروری بر مطالعات قبلی بر روی روش آنتالپی و روش‌های دیگر ۵۲
۳-۵- جمع بندی ۵۴

۴. فصل چهارم: تعریف مسأله و معادلات حاکم ۵۶
۴-۱- بیان مساله ۵۷
۴-۲- معادلات حاکم ۵۷
۴-۳- روش‌های عددی برای حل مسائل تغییر فاز ۶۵
۴-۳-۱- روش شبکه ثابت ۶۵
۴-۳-۲- روش شبکه متغیر ۶۶
۴-۳-۳- روش آنتالپی ۶۷
۴-۴- روش حل مسأله ۶۸

۵. فصل پنجم: اعتبارسنجی کد محاسباتی و نتایج ۷۰
۵-۱- مقدمه ۷۱
۵-۲- اعتبارسنجی کد محاسباتی ۷۱
۵-۳- رفتار حرارتی سیستم ذخیره‌سازی انرژی هنگام شارژ ۸۰
۵-۳-۱- توزیع دمای سیال انتقال حرارت و مواد تغییر فازدهنده درون بستر ۸۱
۵-۳-۲- اثر دمای سیال ورودی ۸۳
۵-۳-۳- بررسی زمان شارژ سیستم ذخیره‌سازی انرژی ۸۴
۵-۳-۴- اثر ضخامت و جنس کپسول‌های کروی ۸۵

۵-۳-۵- اثر عدد رینولدز ۸۸
۵-۳-۶- اثر تخلخل ۸۹
۵-۳-۷- اثر عدد استفان ۹۴
۵-۳-۸- اثر دمای سیال گرم ورودی ۹۵
۵-۳-۹- اثر دمای اولیه بستر ۹۷
۵-۴- بررسی رفتار مخزن در هنگام تخلیه ۹۹

۶. فصل ششم: جمع بندی و پیشنهادات **۱۰۷**
۶-۱- جمع بندی ۱۰۸
۶-۲- پیشنهادات ۱۱۰

مراجع ۱۱۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ نمایی از مزرعه توربین‌های بادی ۳
شکل ۱-۲ نیروگاه خورشیدی شیراز[۱] ۵
شکل ۱-۳ میزان روزانه تابش خورشید در نقاط مختلف ایران بر حسب وات ساعت[۱] ۶
شکل ۲-۱ طبقه بندی روش‌های ذخیره سازی انرژی حرارتی[۳] ۱۵
شکل ۲-۲ طبقه بندی مواد تغییر فاز دهنده[۳] ۲۱
شکل ۲-۳ نمونه‌ای از کپسول‌ها، با پوسته‌های پلاستیکی و فلزی[۷] ۲۹
شکل ۲-۴ نمونه‌ای از لوله‌های پره دار برای افزایش انتقال حرارت[۷] ۲۹
شکل ۲-۵ نمودار طرح کلی از مفهوم ذخیره‌سازی انتقال حرارت رفلاکس[۷] ۳۰
شکل ۲-۶ بهبود عملکرد حرارتی با استفاده از لوله‌های حرارتی[۷] ۳۱
شکل ۳-۱ میدان جرایان (الف) آرایش تصادفی (ب) آرایش منظم[۲۳] ۳۸
شکل ۳-۲ شکل هندسی انواع مواد ذخیره کننده انرژی در تحقیق سینگ و همکارانش[۲۴] ۳۹
شکل ۳-۳ اثر شکل هندسی مواد ذخیره کننده انرژی بر روی عدد ناسلت در تحقیق سینگ و همکارانش[۲۴] ۴۰
شکل ۳-۴ هندسه بستر بسته بندی نمک مذاب ترموکلین TES [۲۵] ۴۰
شکل ۳-۵ تغییرات دمای خروجی نمک مذاب برحسب زمان تخلیه در قطرهای مختلف[۲۵] ۴۱
شکل ۳-۶ تغییرات دمای خروجی نمک مذاب برحسب زمان تخلیه برای مواد مختلف [۲۵] ۴۲
شکل ۳-۷ موقعیت جبهه مذاب در کپسول کروی الف با فرض عدم وجود نیروی گرانش ب با فرض وجود نیروی گرانشی[۲۶] ۴۶
شکل ۳-۸ هندسه کپسول با فضای خالی[۲۶] ۴۶
شکل ۳-۹ موقعیت سطح مشترک مایع وجامد و توزیع دما در کپسول بعد از گذشت زمان‌های ۳/۳، ۱۶/۷، ۳۳/۲، ۶۱/۱ و ۹۰ دقیقه در فرآیند ذوب را نشان می دهد[۲۶] ۴۷
شکل ۳-۱۰ شمایی از سیستم ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی با کپسول‌های کروی[۲۲] ۴۸
شکل ۳-۱۱ بازده نهان با گذشت زمان برای دبی‌های مختلف[۲۲] ۴۸
شکل ۳-۱۲ نرخ حرارت آزاد شده با گذشت زمان برای دبی های مختلف[۲۲] ۴۹
شکل ۳-۱۳ تغییرات دما بر حسب ارتفاع مخزن برای مدل‌های مختلف ضریب انتقال حرارت[۲۷] ۵۱
شکل ۳-۱۴ تغییرات دما بر حسب ارتفاع مخزن برای مدل‌های مختلف ضریب هدایت حرارت موثر[۲۷] ۵۱
شکل ۳-۱۵ تغییرات موقعیت جبهه مذاب درون کپسول با گذشت زمان[۲۸] ۵۲

شکل ۳-۱۶ تغییرات درصد حجم مذاب با گذشت زمان[۲۰] ۵۳
شکل ۳-۱۷ تغییرات دمای مرکز کپسول کروی با گذشت زمان[۱۵] ۵۴
شکل ۴-۱ لایه بندی سیستم ذخیره سازی انرژی ۵۸
شکل ۴-۲ شمایی از انتقال حرارت درون بستر بسته بندی شده ۶۲
شکل ۴-۳ نمایی از شبکه بندی روش شبکه ثابت[۳۱] ۶۶
شکل ۴-۴ رابطه آنتالپی با دما ۶۷
شکل ۵-۱ توزیع دما در مطالعه عددی فلیکس و همکاران[۱۸] ۷۱
شکل ۵-۲ دمای بستر بر حسب ارتفاع در دو زمان مختلف برای دو حالت دمای ماده تغییر فازدهنده متغیر و ثابت[۱۸] ۷۲
شکل ۵-۳ بررسی استقلال از شبکه محاسباتی ۷۳
شکل ۵-۴ مقایسه تغییر دمای سیال انتقال حرارت در بستر با داده‌های تجربی و عددی ۷۴
شکل ۵-۵ سیستم ذخیره‌سازی انرژی در تحقیق نالووسامی و همکارانش[۳۵] ۷۵
شکل ۵-۶ تغییرات دمای سیال درون مخزن بر حسب زمان در ارتفاع‌های مختلف تحقیق ناووسامی و همکارانش[۳۵] ۷۶
شکل ۵-۷ مقایسه تغییرات دمای سیال در فاصله $\frac{1}{4}$ ارتفاع از بالای مخزن با داده‌های تجربی۷۷
شکل ۵-۸ مقایسه تغییرات دمای سیال در پایین مخزن با داده های تجربی ۷۷
شکل ۵-۹ مقایسه دمای کپسول با دادهای تجربی ۷۸
شکل ۵-۱۰ مقایسه زمان شارژ مخزن با داده‌های تجربی ۷۹
شکل ۵-۱۱ تغییرات دما سیال در نقاط مختلف با گذشت زمان ۸۲
شکل ۵-۱۲ تغییرات دمای کپسول‌های حاوی ماده تغییر فازدهنده درون بستر ۸۳
شکل ۵-۱۳ تغییرات دمای سیال و کپسول‌های حاوی مواد تغییر فازدهنده بر حسب زمان برای دماهای ورودی متفاوت ۸۴
شکل ۵-۱۴ مدت زمان شارژ سیستم بر حسب نرخ جریان جرمی در دماهای ورودی مختلف۸۵
شکل ۵-۱۵ بررسی جنس و ضخامت کپسول‌ها بر عملکرد حرارتی سیستم ذخیره سازی انرژی حرارتی ۸۶
شکل ۵-۱۶ بررسی جنس و ضخامت کپسول‌ها بر عملکرد حرارتی سیستم ذخیره‌سازی انرژی ۸۷
شکل ۵-۱۷ زمان شارژ سیستم بر حسب نسبت ضخامت به قطر کپسول ۸۸
شکل ۵-۱۸ زمان شارژ سیستم بر حسب عدد رینولدز ۸۸
شکل ۵-۱۹ انرژی ذخیره شده در سیستم بر حسب زمان در رینولدزهای مختلف ۸۹
شکل ۵-۲۰ زمان شارژ سیستم ذخیره‌سازی انرژی بر حسب تغییرات تخلخل درون بستر ۹۰
شکل ۵-۲۱ میزان انرژی کل سیستم بر حسب زمان با تخلخل‌های متفاوت ۹۱

شکل ۵-۲۲ نسبت میزان انرژی ذخیره شده در سیال درون بستر به انرژی کل بستر..... ۹۲
شکل ۵-۲۳ نسبت میزان انرژی ذخیره شده در کپسول های درون بستر به انرژی کل بستر. ۹۳
شکل ۵-۲۴ نسبت انرژی ذخیره شده به انرژی ورودی به سیستم بر حسب زمان با ضریب تخلخل‌های متفاوت ۹۴
شکل ۵-۲۵ زمان شارژ سیستم بر حسب عدد بی بعد استفان ۹۵
شکل ۵-۲۶ انرژی ذخیره شده در سیستم بر حسب زمان با دمای ورودی مختلف ۹۶
شکل ۵-۲۷ نسبت انرژی ذخیره شده در سیستم به انرژی ورودی بر حسب زمان با دماهای ورودی متفاوت ۹۶
شکل ۵-۲۸ انرژی ذخیره شده در سیستم بر حسب زمان با دماهای اولیه متفاوت ۹۷
شکل ۵-۲۹ نسبت میزان انرژی ذخیره شده در کپسول‌های درون بستر به انرژی کل بستر برحسب زمان با دماهای اولیه متفاوت ۹۸
شکل ۵-۳۰ نسبت انرژی ورودی به انرژی ذخیره شده بر حسب زمان با دماهای ورودی متفاوت ۹۹
شکل ۵-۳۱ مقایسه تغییرات دمای کپسول‌های حاوی مواد تغییر فازدهنده با داده‌های تجربی ۱۰۰
شکل ۵-۳۲ تغییرات دمای ماده تغییر فازدهنده در محل خروجی در دو حالت شارژ و تخلیه دمای می‌نیمم $30\ ^{\circ}c$و دمای ماکزیمم $70\ ^{\circ}c$ و دمای تغییر فاز $60\ ^{\circ}c$..... ۱۰۱
شکل ۵-۳۳ تغییرات دمای سیال انتقال حرارت در دو حالت شارژ و تخلیه دمای می‌نیمم $30\ ^{\circ}c$و دمای ماکزیمم $70\ ^{\circ}c$ و دمای تغییر فاز $60\ ^{\circ}c$..... ۱۰۲
شکل ۵-۳۴ تغییرات دمای کپسول‌های حاوی مواد تغییر فازدهنده در انتهای مخزن هنگام شارژ و تخلیه، دمای تغییر فاز متوسط دمای می‌نیمم و ماکزیمم می‌باشد..... ۱۰۲
شکل ۵-۳۵ تغییرات دمای سیال در انتهای مخزن برای دو حالت شارژ و تخلیه دمای تغییر فاز برابر با متوسط دمای ماکزیمم و می‌نیمم می‌باشد ۱۰۳
شکل ۵-۳۶ تغییرات دمای سیال خروجی به ازای دماهای ورودی مختلف ۱۰۴
شکل ۵-۳۷ تغییرات دمای سیال خروجی با گذشت زمان به ازای دبی‌های ورودی مختلف ۱۰۵
شکل ۵-۳۸ تغییرات دمای خروجی با گذشت زمان به ازای تخلخل‌های مختلف.....۱۰۶
شکل ۵-۳۹ تغییرات دمای خروجی با گذشت زمان به ازای ضرایب انتقال حرارت متفاوت..۱۰۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ مواد ذخیره‌سازی گرمای محسوس[۴] ۱۷
جدول ۲-۲ نمک‌های هیدرات مورد استفاده در ذخیره‌سازی گرمای نهان استفاده می‌شوند[۳] ۲۴
جدول ۲-۳ مواد تغییر فاز دهنده تجاری[۴] ۲۵
جدول ۲-۴ خواص فیزیکی برخی از پارافین ها[۳] ۲۶
جدول ۲-۵ نقطه ذوب وگرمای نهان برخی از غیرپارافین‌های تجاری[۳] ۲۷
جدول ۳-۱ نتایج زمان اجرای مدل های ریاضی ارائه شده برای بستر بسته بندی شده[۹] ۳۵
جدول ۳-۲ خواص فیزیکی مواد ذخیره‌سازی انرژی[۲۵] ۴۱
جدول ۳-۳ زمان تخلیه موثر و عملکرد تخلیه برای مواد مختلف در قطرهای متفاوت[۲۵] ۴۳
جدول ۳-۴ کل مدت زمان لازم برای فرآیند شارژ با سیال کاری هوا [۲۶] ۴۴
جدول ۳-۵ کل مدت زمان لازم برای فرآیند شارژ با سیال کاری ترمینول-VP1مایع [۲۶] ۴۴
جدول ۳-۶ کل مدت زمان لازم برای مواد مختلف در فرآیند تخلیه سیستم با سیال کاری هوا[۲۶] ۴۵
جدول ۳-۷ کل مدت زمان لازم برای مواد مختلف در فرآیند تخلیه سیستم با سیال کاری ترمینول-VP1مایع ۴۵
جدول ۳-۸ مدل‌های مختلف ضریب انتقال حرارت بین سیال و جامد[۲۷] ۵۰
جدول ۳-۹ مدل‌های مختلف ضریب هدایت حرارتی موثر سیال و ذرات بستر[۲۷] ۵۰
جدول ۵-۱ مقایسه بین انرژی ذخیره شده در سیستم با نتایج تجربی تحقیق[۳۵] ۸۰
جدول ۵-۲ پارامترهای موثر بر عملکرد مخزن ذخیره سازی انرژی حرارتی ۸۱
جدول ۵-۳ پارامترهای بررسی شده بر روی رفتار مخزن در هنگام تخلیه ۹۹

فهرست نشانه‌های اختصاری

زمان (s)	t
ضخامت المان (m)	Δx
انرژی (j)	E
حجم (m^3)	V
تخلخل	ε
چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)	ρ
ظرفیت گرمای ویژه ($\frac{j}{kgk}$)	C_p
دما ($°c$)	T
ضریب هدایت حرارتی ($\frac{W}{mk}$)	K
گرما (j)	q
دبی ($\frac{l}{\min}$)	$\dot{m}$
ضریب انتقال حرارت حجمی ($\frac{W}{m^3k}$)	U_v
ضریب انتقال حرارت کلی ($\frac{W}{mk}$)	U_O
قطر مخزن (m)	D
قطر کپسول (m)	D_c
سرعت سیال ($\frac{m}{s}$)	u
زمان شارژ کامل (s)	t_c
سطح مقطع عرضی مخزن (m)	A
ارتفاع مخزن (m)	H
ضریب انتقال حرارت جابجایی ($\frac{W}{m^2k}$)	h
مقاومت حرارتی بین کپسول و سیال انتقال حرارت	R_{ext}
مقاومت حرارتی پوسته کپسول	R_{cap}

عدد ناسلت	Nu
عدد پرانتل	Pr
عدد رینولدز	Re
عدد استفان	Ste
گرمای نهان ذوب ($\frac{j}{kg}$)	L

زیرنویس‌ها

سیال	f
کپسول	cap
مایع	l
جامد	s
مذاب	m
شارژ	c

فهرست کلمات اختصاری

ES	Energy Storage
TES	Thermal Energy Storage
PCM	Phase Change Material
HTF	Heat Transfer Fluid
Cap	Capsule
C	Charge

فصل اول:

مقدمه

۱-۱-مقدمه

امروزه مسائل و مشکلات زیست محیطی مورد توجه بسیاری از صنایع قرار گرفته است، به طوری که حفظ سلامت اتمسفر از مهمترین پیش شرط‌ها جهت توسعه اقتصاد جهانی می‌باشد. از این رو است که دهه‌های آینده به عنوان سال‌های تلاش مشترک جامعه انسانی برای کنترل محیط زیستی سالم و در واقع تلاش برای تداوم زندگی انسان بر روی کره زمین خواهد بود. از این جهت استفاده از انرژی های نو مثل انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی زمین گرمایی و زیست توده به جای منابع فسیلی که علل اصلی تولید آلودگی هستند امری الزامی است. از طرف دیگر با توجه به بالا رفتن کیفیت زندگی امروزه نیاز بشر به منابع انرژی برای رفاه و آسایش نسبت به گذشته چندین برابر شده است. در حال حاضر سوخت‌های فسیلی هرچند باعث ایجاد آلایندهای زیست محیطی و غیره می‌شوند اما بیشترین سهم را در تامین منابع انرژی جهان دارند. این منابع دیر یا زود پایان می یابند این یک زنگ خطر بزرگ برای کشورهای در حال توسعه از جمله ایران می باشد. در ایران علاوه بر اینکه سوخت‌های فسیلی تقریبا صدرصد تامین کننده منابع انرژی هستند، پایه اساسی اقتصاد را نیز تشکیل می‌دهند و اگر این روند ادامه داشته باشد و فکر اساسی برای آن نشود بدون شک دهه‌های آینده سال‌های پر درد سری در تقابل محیط زیست و اقتصاد خواهد بود. لذا بایستی به صورت جدی به دنبال توسعه منابع انرژی تجدید پذیر رفت تا اینکه هم این وابستگی کمتر شود و هم اینکه از استفاده بی رویه منابع زیر زمینی جلوگیری به عمل آید.

۱-۲-انواع انرژی‌های نو

انرژی‌های تجدید پذیر نظیر انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی زمین گرمایی و انرژی زیست توده جزء انرژی‌های نو به حساب می آیند که در ادامه به بررسی آنها پرداخته خواهد شد.

۱-۲-۱- انرژی باد و امواج

بشر همواره برای رفع نیازهای خود از تمام منابع انرژی در حد دانش و فن آوری که در اختیار داشته استفاده نموده است. که استفاده از انرژی بادی به هزاران سال پیش بر می‌گردد از جمله می‌توان به