دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش تبدیل انرژی

عنوان

بررسی سیستم های ذخیره انرژی گرمایی با کمک مواد تغییر فاز و ارائه یک روش بهینه سازی

اساتید راهنما

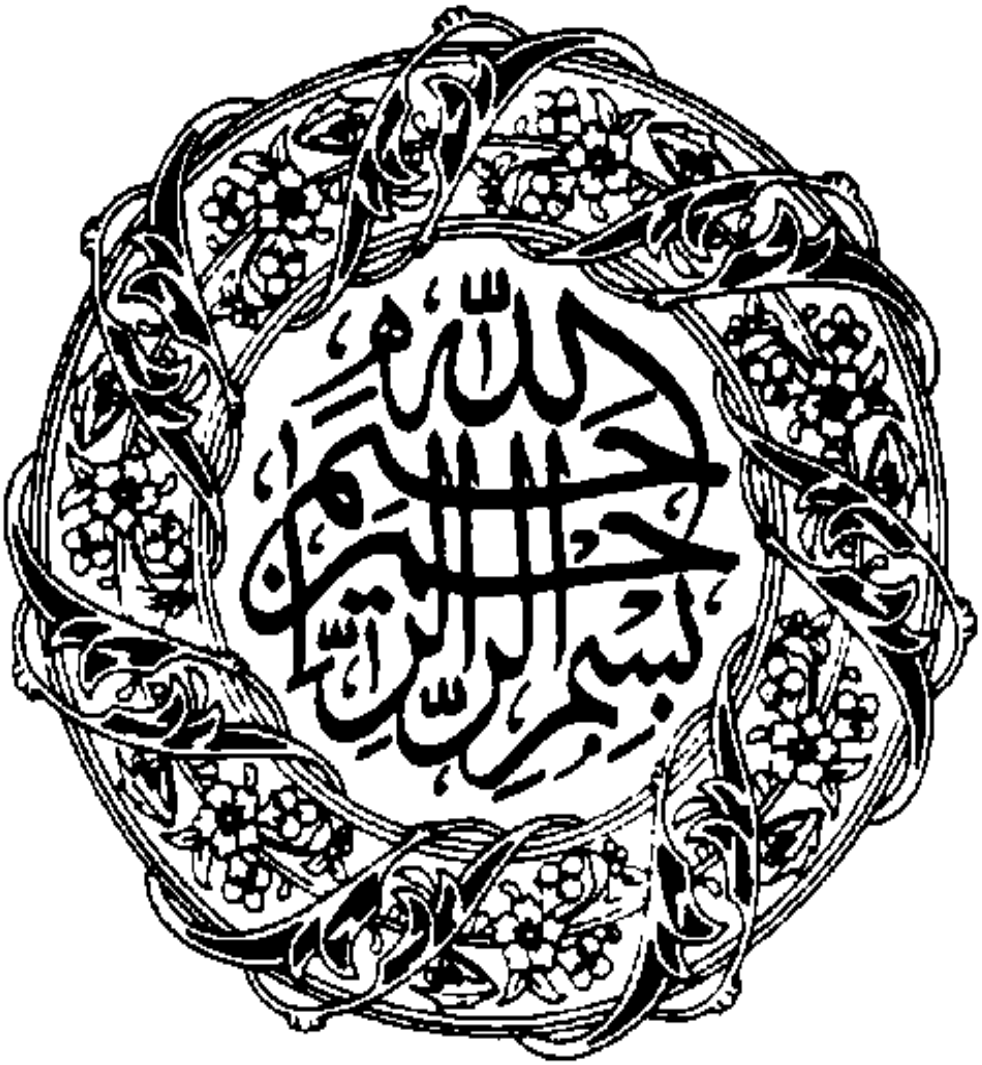
دکتر علی اشرفی زاده

دکتر مجید بازارگان

نگارش

محمد صابر خسروی

آذر1390


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به

خانواده بسیار خوبم

که همواره مشوق و حامی من هستند.

تاسیس 1307 دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**تأییدیه هیأت داوران**	**شماره:** **تاریخ:**

هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان :

بررسی سیستم های ذخیره انرژی گرمایی با کمک مواد تغییر فاز و ارائه یک روش بهینه سازی

توسط آقای **محمد صابر خسروی** ، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **تبدیل انرژی** در تاریخ / / 13 مورد تأیید قرار می‌دهند.

1- استاد راهنمای اول	**جناب آقای دکتر علی اشرفی زاده**	امضاء
2- استاد راهنمای دوم	**جناب آقای دکتر مجید بازارگان**	امضاء
3- استاد مشاور	جناب آقای / سرکار خانم دکتر	امضاء
4- ممتحن داخلی	**جناب آقای دکتر سیروس آقانجفی**	امضاء
5- ممتحن داخلی	**جناب آقای دکتر علی کشاورز ولیان**	امضاء
6- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	**جناب آقای دکتر سیروس آقانجفی**	امضاء

تاسیس 1307 دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**اظهارنامه دانشجو**	**شماره:** **تاریخ:**

اینجانب ..... **محمد صابرخسروی** ..... **دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته** ..... **مهندسی مکانیک** ..... **گرایش** ..... **تبدیل انرژی** ..... **دانشکده** ..... **مهندسی مکانیک** ..... دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان

بررسی سیستم های ذخیره انرژی گرمایی با کمک مواد تغییر فاز و ارائه یک روش بهینه سازی

با راهنمایی اساتید محترم **جناب آقای دکتر علی اشرفی زاده و جناب آقای دکتر مجید بازارگان**.....، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد. ضمنا متن این صفحه باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع ، مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر

اکنون که با یاری خداوند توفیق یافتم که پایان نامه کارشناسی ارشد خود را به پایان برسانم ، بر خود لازم می‌دانم از اساتید عزیز و بزرگوارم جناب آقای دکتر علی اشرفی زاده و جناب آقای دکتر بازارگان کمال سپاس را داشته باشم . بدون شک انجام این پژوهش فرصت مناسبی برای آشنایی هرچه بیشتر و استفاده هر چه بهتر از آموزه های علمی و اخلاقی این اساتید بود.

از تمامی دوستان عزیزم، بویژه آقای مهندس سید حسین مسروری که در تمامی مراحل این پروژه یاری گر من بوده اند قدردانی نموده و برای ایشان از پروردگار متعال آرزوی موفقیت در تمامی مراحل زندگی دارم.

چکیده

افزایش فاصله بین تولید و مصرف انرژی یک تهدید جدی برای مهندسان، جهت تامین انرژی مورد نیاز جامعه بشری، ایجاد کرده‌است. به طوری که تعداد بسیار زیادی از گروههای مدیریت انرژی به منظور اهمیت دادن و تاکید کردن در ذخیره انرژی، تشکیل شده‌اند. امروزه یکی از تکنیک های موثر، ذخیره انرژی گرمایی با به کار بردن مواد تغییر فاز می‌باشد. ذخیره انرژی حرارتی توسط مواد تغییرفاز دهنده به دلیل استفاده از گرمای نهان تغییر فاز، سبب افزایش میزان ذخیره سازی انرژی حرارتی با تغییرات دمایی کمتری می‌شوند، که این مزیت سبب افزایش بهره‌وری سیستم ذخیره ساز انرژی می‌شود.

مواد تغییر فاز حالت خاصی از جامد-مایع نامیده می‌شوند و محلول هایی می باشند، که برای کنترل حرارت به کار رفته و به دو دسته کلی با ترکیبات آلی و با ترکیبات غیر آلی تقسیم می‌شوند. در این پژوهش ضمن دسته بندی مواد تغییر فاز، به بیان ویژگی ها و خصوصیات هر یک پرداخته و نحوه‌ی انتخاب ماده تغییر فاز با توجه به کاربرد و محدوده‌ی دمایی مورد نظر، بررسی می‌گردد. همچنین کاربردهای سیستم های ذخیره انرژی گرمایی در بخش های گوناگون بویژه در ساختمان، آورده شده‌است. در ادامه ضمن بیان مدل های عددی و ریاضی گوناگون برای حل مساله تغییر فاز به بررسی مقالات و کارهای گذشته مرتبط با اینگونه سیستم ها پرداخته، که در انها اشاره به پایین بودن ضریب هدایت گرمایی اینگونه مواد می شود، که این موضوع تلاش محققان در پی یافتن راه حل هایی جهت غلبه بر این نقیصه و بهبود انتقال حرارت، در پی داشته‌است. پس از مروری بر روش های گوناگون به کار گرفته شده در گذشته جهت بهبود انتقال حرارت، به ارائه یک روش بهینه سازی هندسی در بهبود انتقال حرارت با اصلاح در مشخصات هندسی پوسته (با اعمال زاویه به پوسته)، در مبدل های لوله و پوسته عمودی پرداخته و با استفاده از تحلیل های عددی با کمک نرم افزار فلوئنت، نقش زاویه پوسته در بهبود مدل پایه (با زاویه پوسته صفر) در مقایسه با حالت بهینه سازی شده، بیان می‌شود. همچنین با بیان اعداد بی بعد قابل تامل در این سیستم ها، نقش هر یک در عملکرد سیستم، ارائه می‌گردد. در پایان با توجه به طولانی بودن مدت محاسبات توسط کامپیوتر برای حل مسائل تغییر فاز، یک نرم افزار مقدماتی جهت محاسبه سریع و تقریبی عملکرد اینگونه مبدل ها، آورده می‌شود.

کلمات کلیدی

مواد تغییر فاز، کاربرد، روش عددی آنتالپی-تخلخل، بهینه سازی هندسی، جابجایی طبیعی، نرم افزار مقدماتی

فهرست

فصل اول: مقدمه ای بر مواد تغییر فاز(PCM) و کاربرد آن ها 1

1-1: مقدمه 2

1-2: مواد تغییر فاز 5

1-2-1: مواد ارگانیک 10

1-2-1-1: پارافین ها 10

1-2-1-2: اسید های چرب 11

1-2-2: مواد غیر ارگانیک 12

1-2-2-1: هیدرات نمک 12

1-2-2-2: فلزات 14

1-2-3: مواد زودگداز 15

1-2-4: مقایسه بین انواع مواد 16

1-3: کاربردها 18

1-3-1: سیستم های ذخیره انرژی گرمایی دما بالا برای تولید قدرت 19

1-3-2: سیستم های فضایی 20

1-3-3: بازیافت گرمای اتلافی صنایع 21

1-3-4: ذخیره یخ 21

1-3-5: حفظ و انتقال مواد حساس به دما 21

1-3-6: خنک کاری وسایل الکتریکی 21

1-3-7: کاربرد در وسایل نقلیه 22

1-3-8: کاربرد ساختمانی 22

1-3-8-1: روش های به کارگیری PCM در اجزاء و مصالح ساختمان 26

1-3-8-2: جنبه های گوناگون کاربرد در ساختمان 29

1-3-9: کاربرد گلخانه ای 36

1-3-10: کاربرد خوراک پز خورشیدی 38

1-3-11: تانک های PCM و تانک های آب 38

1-3-12: کاربرد در منسوجات 39

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده در ارتباط با PCM 40

2-1: فرایند ذوب 41

2-2: روش های حل عددی 43

2-3: پارامتر های مورد تحقیق در سیستم هایLHTES 46

2-4: روش های بهبود انتقال حرارت 54

2-4-1: به کار بردن سطوح اضافه 54
2-4-2: استفاده از روش چندین PCM 61
2-4-3: توسعه هدایت گرمایی 62

فصل سوم: مقدمه‌ای در ارتباط با حل عددی با کمک نرم افزار تجاری فلوئنت 65
3-1: مقدمه 66
3-2: روش آنتالپی 67

فصل چهارم: کاهش در زمان شارژ مبدل لوله و پوسته با اعمال تغییرات هندسی 70
4-1: بیان مسئله و معادلات حاکم 71
4-2: اعتبارسنجی 75
4-3: آنالیز پروسه ذوب 77
4-4: تعیین زاویه بهینه‌ی پوسته 83
4-5: مقایسه مبدل در دو وضعیت پوسته زاویه دار و بدون اعمال تغییر در زاویه 87
4-5-1: مقایسه بر مبنای عدد استفان 88
4-5-2: مقایسه بر مبنای عدد رینولدز 90
4-5-3: مقایسه بر مبنای مشخصه‌ی طول بی بعد 91
4-5-4: مقایسه بر مبنای مشخصه‌ی قطر خارجی پوسته‌ی بی بعد 93
4-5-5: مقایسه بر مبنای عدد گراشف 95
4-5-6: نتیجه گیری 96

فصل پنجم: نرم افزار مقدماتی آنالیز و طراحی مبدل های PCM لوله و پوسته 98

پیشنهادات برای کارهای آینده 106
مراجع 108

فهرست اشکال و جداول

اشکال

شکل 1-1: شمای کلی از تکنیک های ذخیره انرژی گرمایی 3
شکل 1-2: دسته بندی مواد تغییر فاز 6
شکل 1-3: طبقه بندی مواد با توجه به دمای ذوب و آنتالپی ذوب 8
شکل 1-4: اثر سرمایش مادون اشباع یک هیدرات نمک 9
شکل 1-5: نقطه انجماد ترکیب هگزادکان و تترادکان 15
شکل 1-6: شماتیکی از صفحات قدرت DSGبا HTLHTES 20
شکل 1-7: شماتیکی از اتصال سیستم ذخیره گرمایی(HS) به سیستم خنک کاری موتور 22
شکل 1-8: نمونه ای از صندلی با بکار بردن موادPCM جهت خنک نگاه داشتن راننده و سرنشینان 23
شکل 1-9: حالت ها و اثرات پوشش های ساختمانی PCMدار 24
شکل 1-10: کپسول های تجاریPCM 28
شکل 1-11: شماتیکی از سیستم گرمایش الکتریکی کف با صفحات PCM شکل پایا 30
شکل 1-12: نمایی از سیستم بورد سقفی 31
شکل 1-13: ساختار مدل دیوار ترومب تست شده 34
شکل 1-14: دید شماتیکی از دیوار سبک وزن 34
شکل 1-15: سایبان PCM 35
شکل 1-16: شماتیکی از سیستمNVP 35
شکل 1-17: ارایش و نحوه ی قرارگیری سیستم ذخیره گرما و گرمایش گلخانه ای 37
شکل 2-1: غلبه جابجایی طبیعی در طول پروسه ذوب PCM در هندسه های مختلف 43
شکل 2-2: نمایش محفظه های رایج در سیستم LHTES 47
شکل 2-3: شماتیکی از مدل آزمایشگاهی 51
شکل 2-4: هندسه مارپیچی عمودی 52
شکل 2-5: شماتیکی از سیستمpacked bed 53
شکل 2-6: متد های توسعه انتقال حرارت به کار گرفته شده در تحقیقات 55
شکل 2-7: حرکت سیال در طی فرایند ذوبa:سیستم عریضb :سیستم باریک 57
شکل 2-8: فین حلقوی به کار رفته درمدلLacroix 58
شکل 2-9: سیستم چندینPCM در سیستم لوله و صفحه 61
شکل 4-1: هندسه مسئله 72
شکل 4-2: مقایسه دماT22 در کار آزمایشگاهی و کار حاضر 76
شکل 4-3: دمای آنی در طول ذوب در نقاط مختلف 77
شکل 4-4: توزیع دمای محوری درr=28mm 78

شکل 4-5: نمایش تغییرات وابسته به زمان درصد حجمی ذوب 78
شکل 4-6: شار حرارتی متوسط از دیوار برای استفان های مختلف 79
شکل 4-7: نحوه ی تغییرات زمان کامل ذوب با استفان 79
شکل 4-8: مقایسه مدل در سه زاویه مختلف صفحه 80
شکل 4-9: کانتور دماو کانتور خط جریان در سه زمان گوناگون 82
شکل 4-10: نمودار مقایسه بیشینه تابع جریان بر حسب زمان در دو زاویه مختلف صفحه 83
شکل 4-11: مدل پایه مورد استفاده 83
شکل 4-12: شمای عمومی مبدل لوله و صفحه با اعمال زاویه در پوسته 84
شکل 4-13: نمودار تغییر در زمان کامل ذوب در زوایای مختلف پوسته 85
شکل 4-14: مقایسه بردارهای سرعت و تشکیل گردابه ها در دو حالت پایه و زاویه ماکزیمم 86
شکل 4-15: مقایسه ناسلت در دو حالت پایه و زاویه ماکزیمم 87
شکل 4-16: کانتور دما و خط ذوب در دو زمان 87
شکل 4-17: مقایسه زمان کامل ذوب در استفان های مختلف و در دو حالت مدل پایه و زاویه ماکزیمم 88
شکل 4-18: مقایسه ناسلت در استفان های مختلف.a)در مدل پایه.b)در مدل زاویه ماکزیمم 89
شکل 4-19: مقایسه زمان کامل ذوب در رینولدزهای مختلف و در دو حالت مدل پایه و زاویه ماکزیمم 90
شکل 4-20: مقایسه ناسلت میانگین در رینولدزهای متفاوت در دو مدل پایه و زاویه ماکزیمم 91
شکل 4-21: اثر نسبت طول بی بعد در دو حالت مدل پایه و زاویه ماکزیمم 92
شکل 4-22: مقایسه ناسلت میانگین در طول بی بعد های متفاوت در دو مدل پایه و زاویه ماکزیمم 93
شکل 4-23: اثر نسبت قطر پوسته بی بعد در دو حالت مدل پایه و زاویه ماکزیمم 94
شکل 4-24: مقایسه ناسلت میانگین در قطر پوسته متفاوت در دو مدل پایه و زاویه ماکزیمم 95
شکل 4-25: مقایسه زمان ذوب کامل در دو حالت مدل پایه و زاویه ماکزیمم در گراشف های مختلف 96
شکل 5-1: نمودار درصد ذوب در مدل های مختلف در حالت پایه 100
شکل 5-2: نمودار درصد ذوب در مدل های مختلف در حالت بهینه 102
شکل 5-3: نمای نرم افزار ایجاد شده 103
شکل 5-4: شکل هندسی نمایش داده شده در حالت بهینه 104

جداول

جدول 1-1: فهرستی از شرکت های تولید کننده مواد تغییر فاز 6
جدول 1-2: مواد ذخیره گرمای نهان و رنج دمایی آنها 7
جدول 1-3: ویژگی های مورد نظر در انتخاب مواد تغییر فاز 7
جدول 1-4: مواد مورد استفاده در رنج دمایی و کاربرد های مختلف 10
جدول 1-5: لیست تعدادی از اسید های چرب 12
جدول 1-6: لیست تعدادی از مواد ترکیبی زودگداز 16
جدول 1-7: مقایسه بین مواد ارگانیک و غیرارگانیک 17
جدول 1-8: مقایسه واسطه های ذخیره ای گرمایی گوناگون 18
جدول 1-9: کاربردهای سیستم های ذخیره انرژی گرمای نهان 19
جدول 1-10: مواد تغییر فاز(PCM) مورد تحقیق در مقالات برای کاربرد های ساختمانی 25
جدول 1-11: قابلیت های اجرایی ذخیره گرمایی با مواد تغییر فاز 26
جدول 1-12: مطالعات آنالیز گرمایی کاربرد PCM در ساختمان 31
جدول 1-13: نمونه هایی از تحقیقات انجام شده در کاربرد گلخانه ای 38
جدول 2-1: مطالعات واحد های LHTS فین دار 60
جدول 4-1: موقعیت قرارگیری ترموکوپل ها 71
جدول 4-2: مشخصات ترمودینامیکی ماده پارافین واکس و آب 75
جدول 4-3: اعداد بی بعد به کار رفته در مدل پایه 84
جدول 4-4: مدل های به کار رفته 85
جدول 4-5: زمان ذوب کامل در زوایای مختلف پوسته 85
جدول 4-6: مقایسه مدت زمان کاهش در فرایند و درصد بهبود در زمان ذوب کامل در استفان های مختلف 89
جدول 4-7: مقایسه ناسلت متوسط در استفان های مختلف در مدل پایه و مدل زاویه ماکزیمم 90
جدول 4-8: مقایسه مدت زمان کاهش در فرایند و درصد بهبود در زمان ذوب کامل در رینولدز های مختلف 91
جدول4-9: مقایسه زمان ذوب کامل و درصد بهبود در زمان ذوب کامل در اعداد بی بعد طول متفاوت 91
جدول 4-10: مقایسه زمان ذوب کامل و درصد بهبود در زمان ذوب کامل در اعداد بی بعد قطر پوسته متفاوت 93
جدول 4-11: نمایش داده های 12 مدل بررسی شده 96
جدول 5-1: نمایش داده های 9 مدل در نظر گرفته شده برای تولید نرم افزار 99

علائم

C_P	حرارت مخصوص فشار ثابت(J/KgK)
C	ثابت تخلخل (kg/m^3s)
L	گرمای نهان(J/Kg)
Pr	عدد پرانتل، به صورت $\frac{\nu}{\alpha}$
Gr	عدد گراشف، $\frac{\rho^2 g\beta(T_i - T_m)l^3}{\mu^2}$
Ste	عدد استفان، $\frac{C_p(T_i - T_m)}{L}$
t	زمان(s)
T	دمای ماده (K)
I	شدت توربولانس
K	انرژی جنبشی توربولانس
Nu	عدد ناسلت
$q^{"}$	شارحرارتی(W/m^2)
u	سرعت (m/s)
x	مختصه طول
p	فشار
h	آنتالپی (J/Kg)
m	جرم ماده(kg)
a_r	درصد واکنش

علائم یونانی

ε	ضریب تخلخل-نرخ پراکندگی توربولانس
φ	درصد ذوب
μ	ویسکوزیته (kg/ms)
ρ	چگالی(kg/m^3)
α	نفوذ گرمایی (m^2/s)

β	ضریب انبساط گرمایی(K^{-1})
λ	هدایت گرمایی (W/mK)
v	لزجت سینماتیکی(m^2/s)

زیرنویس

t	توربولانس
i	اولیه
m	ذوب
S	جامد
l	مایع
f	سیال

فصل اول

مقدمه‌ای بر مواد تغییر فاز(PCM) و کاربردهای آن

1-1 مقدمه

افزایش مداوم در انتشار گازهای گلخانه‌ای و بالا رفتن قیمت سوخت، افزایش تلاش در جهت استفاده موثرتر از انرژی‌های تجدید پذیر را به همراه داشته‌است. در مناطق مختلف جهان استفاده از انرژی خورشید، به عنوان یکی از منابع انرژی مورد توجه ویژه قرار گرفته‌است و دانشمندان سرتاسر جهان در حال تحقیق و بررسی بر روی انرژی های نو و تجدید پذیر می‌باشند. یکی از موضوعات مورد تحقیق توسعه وسایل و ابزارهای ذخیره انرژی می‌باشد، که اهمیتی به مشابه توسعه انرژی های جدید پیدا کرده‌است. ذخیره انرژی در فرم‌های مناسب که بتواند به سهولت به انرژی مورد نیاز تبدیل شود، یکی از مباحث روز در تکنولوژی می‌باشد. افزایش فاصله بین تولید و مصرف انرژی یک تهدید جدی برای مهندسان، جهت تامین انرژی مورد نیاز جامعه بشری است، به طوری که تعداد بسیار زیادی از گروههای مدیریت انرژی توجه خود را به ذخیره انرژی در بخش های خانگی و صنعتی، در شکل‌های مختلف، متمرکز کرده‌اند. استفاده از منابعی، نظیر انرژی گرمایی خورشید و سیالات داغ اتلافی موجود در صنایع، به عنوان راه حل‌هایی جهت ذخیره و بازیافت انرژی مورد توجه این کمیته های انرژی قرار گرفته‌است.

ذخیره انرژی نه تنها عدم تناسب بین منبع (تامین کننده) و تقاضا را کاهش می‌دهد، بلکه باعث بهبود بخشیدن به عملکرد و اطمینان سیستم های انرژی شده و نقش به سزایی در حفظ انرژی ایفا می‌کند و باعث کاهش در اتلاف انرژی شده و حفظ سرمایه مادی را به همراه خواهد داشت. یکی از تکنیک های موثر ذخیره انرژی گرمایی با به کار بردن مواد تغییر فاز (phase change material) که به اختصار PCM گفته می‌شود، می‌باشد.

ذخیره انرژی معمولا به یکی از روش های زیر صورت می‌پذیرد[1]:

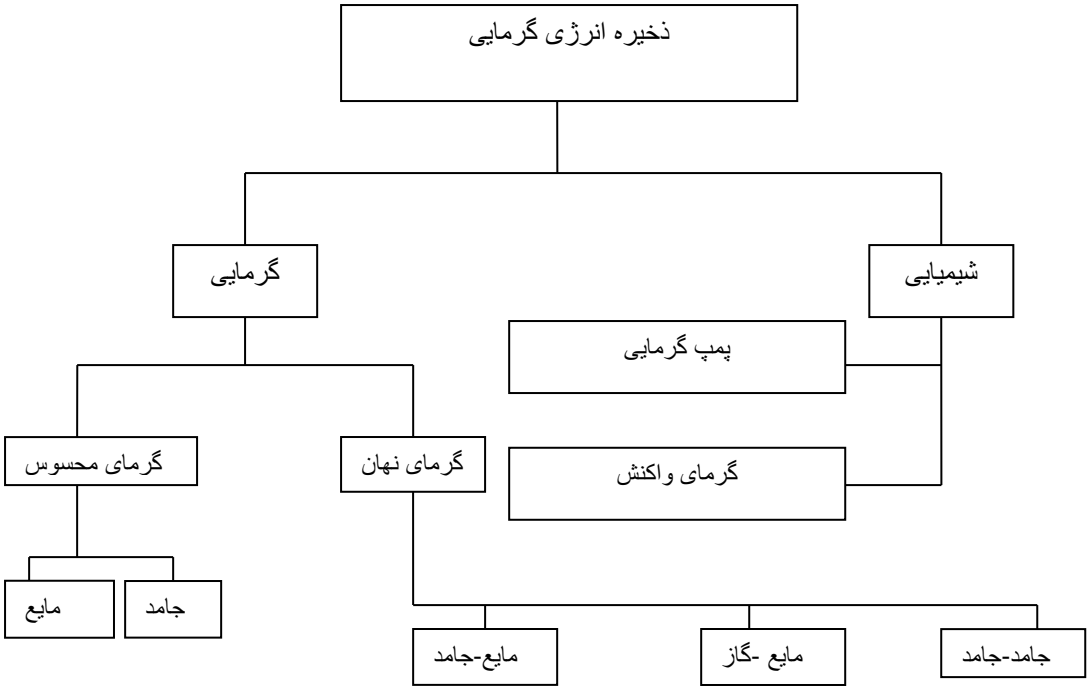
1- مکانیکی: منابع آبی پمپاژ شده جهت ذخیره[1]، ذخیره انرژی در هوای متراکم شده[2] و یا چرخ لنگر

2- الکتریکی: از طریق باطری ها

3- گرمایی:

ذخیره انرژی گرمایی می‌تواند به صورت تغییر انرژی گرمایی یک ماده به صورت گرمای محسوس، گرمای نهان، ترموشیمیایی و یا ترکیبی از این ها باشد. خلاصه ای از تکنیک های مختلف ذخیره انرژی خورشیدی در شکل 1-1 آمده است.

[1] pumped hydropower storage (PHPS)
[2] compressed air energy storage (CAES)



شکل 1-1: شمای کلی از تکنیک های ذخیره انرژی گرمایی[1]

ذخیره گرمای محسوس: در ذخیره گرمای محسوس[3](SHS) انرژی گرمایی در یک جامد یا مایع با دمای بالا ذخیره می‌شود. این سیستم ها از ظرفیت گرمایی و تغییر در دمای مواد در طول پروسه شارژ و دشارژ استفاده می‌کنند و به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mC_P dT = mC_{ap}(T_f - T_i) \qquad (1\text{-}1)$$

مطابق رابطه فوق، مقدار گرمای ذخیره شده بستگی به ظرفیت گرمایی متوسط(C_{ap}) و تغییر دمای بین ابتدا و انتهای فرایند ($T_f - T_i$) و مقدار مواد ذخیره کننده(m) دارد. نمونه رایج دراین مورد آب است.

ذخیره گرمای نهان: ذخیره گرمای نهان[4] (LHS) برپایه جذب حرارت، زمانی که یک ماده ذخیره کننده از جامد به مایع و یا مایع به گاز تغییر فاز می‌دهد، می‌باشد. دمای ماده در طول فرایند تغییر فاز ثابت باقی می‌ماند.

ظرفیت ذخیره سیستم هایی که مبتنی بر ذخیره هر دو نوع گرمای محسوس و نهان هستند، با رابطه زیر بدست می آید.

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} mC_P dT + m\varphi\Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} mC_p dT = m[C_{sp}(T_m - T_i) + \varphi\Delta h_m + C_{lp}(T_f - T_m)] \qquad (2\text{-}1)$$

[3] Sensible heat storage
[4] Latent heat storage

در رابطه فوق m جرم ماده، C_{sp} و C_{lp} به ترتیب ظرفیت گرمایی فاز جامد و مایع، φ کسر جرمی تغییر فاز یافته، Δh_m گرمای نهان ماده و T_i ، T_m ، T_f به ترتیب دمای اولیه، دمای تغییر فاز و دمای نهایی ماده می-باشند.

مطالعات نشان می‌دهند که سیستم های ذخیره گرمای نهان در مقایسه با گرمای آشکار، نیاز به حجم ذخیره کمتری دارند. به طوری که تحقیقات Morrison وAbdel-Khalik و همچنین Ghoniem نشان می‌دهند برای ذخیره مقدار انرژی یکسان از یک سطح کلکتور واحد، مقدار گرمای محسوس مورد نیاز بیش از 7 برابر جرم ذخیره Paraffin 116Wax و 5 برابر جرم ذخیره medicinal paraffin و 8 برابر جرم ذخیره $Na_2SO_4.10H_2O$ می‌باشد.[2]

4-ذخیره انرژی ترموشیمیایی[5]

این نوع شامل جذب انرژی و آزاد کردن آن به صورت شکستن و اصلاح کردن قیود مولکولی در یک واکنش شیمیایی کاملا برگشت پذیر می‌باشد. در این مورد گرمای ذخیره شده به مقدار مواد ذخیره ساز(m)، گرمای گرفته شده در واکنش(Δh_r) و اندازه تبدیل(a_r) بستگی دارد:

$$Q = a_r m \Delta h_r \qquad (3\text{-}1)$$

در میان تکنیک های بالا، تکنیک ذخیره انرژی گرمای نهان به علت توانایی در ایجاد ذخیره انرژی بالاتر و ذخیره گرما در دمای ثابت متناظر با دمای تغییر فاز مواد PCM, بیشتر مورد علاقه می‌باشد. تغییر فاز می-تواند در فرم های جامد-جامد, جامد-مایع, جامد-گاز و یا مایع-گاز باشد.

در انتقال جامد-جامد گرمای ذخیره شده در مواد به صورت انتقال شکل از یک حالت متبلور به حالت دیگر می‌باشد. این انتقال به طور کلی گرمای نهان کم و تغییر حجم کوچکی نسبت به انتقال جامد- مایع دارد. انتقال گاز-مایع و جامد-گاز، با وجود دارا بودن ظرفیت گرمای نهان بالای تغییر فاز، اما تغییر حجم زیادی دارند. انتقال جامد- مایع گرمای نهان کمتری نسبت به گاز-مایع دارد، اما تغییر حجم کمتری نیز دارد (درحدود 10 درصد یا کمتر) و این انتقال مزایای اقتصادی بهتری دارد.[1]

اگرچه سیستم های ذخیره گرمای محسوس ساده و از لحاظ تکنولوژی توسعه یافته‌است، اما این نوع از انرژی دارای کمترین بازده برای ذخیره انرژی به دلیل ظرفیت ذخیره گرمای پایین به ازای حجم واحد از واسطه ذخیره است. سیستم های LHS که ماده PCM به عنوان واسطه ذخیره است مزایایی مثل ظرفیت ذخیره گرمایی بالا، اندازه کوچک واحد و رفتار همدما در طول پروسه شارژ و دشارژ را دارا می‌باشند، اما این نوع از سیستم ها به دلیل نرخ انتقال حرارت ضعیف در طول فرایند شارژ و دشارژ، به اندازه ذخیره گرمای محسوس تجاری نیستند. لذا ترکیب SHS و LHS به دلیل محدود کردن مشکلات دو سیستم و دارابودن مزایای هردو پیشنهاد می‌شود.[3]

[5] Thermochemical energy storage

در هر سیستم ذخیره انرژی گرمایی نهان سه نکته باید لحاظ گردد:[1]

1-انتخاب یک PCM مناسب با در نظر گرفتن نقطه ذوب در محدوده دمایی طراحی شده.

2-یک سطح مبدل حرارتی مناسب

3-یک محفظه مناسب و سازگار با PCM

در بررسی حاضر، هدف ارائه یک روش بهینه یابی جهت بهبود عملکرد گرمایی سیستم ذخیره گرمای نهان بر مبنای اصلاح هندسه می‌باشد. هندسه پیشنهادی ارائه شده در این مطالعه، یک فضای حلقوی بین لوله حامل جریان سیال انتقال حرارت و پوسته می‌باشد (یک سیستم مبدل حرارتی لوله و پوسته) و بهبود عملکرد بوسیله زاویه دار کردن پوسته سیستم، بررسی می‌گردد. در ادامه با معرفی اعداد بی بعد مرتبط با مسئله به آنالیز اثر شرایط عملکرد و پارامترهای هندسی پرداخته می‌شود.

2-1 مواد تغییر فاز

مواد تغییر فاز، مواد ذخیره انرژی گرمای نهان می‌باشند که امروزه کاربرد فراوانی در صنایع مختلف دارند. در گذشته از این گونه مواد جهت کاربردهای کاملا تخصصی و در زمینه های خاص مانند گرم نگه داشتن بعضی از واکنش ها در دمای بالا و یا جهت ذخیره گرما در نیروگاه ها استفاده می‌شدند. هم اکنون با گسترش صنایع شیمیایی و تهیه مواد مرکب جدید PCM، این مواد استفاده زیادی در کاربرد تجاری و صنعتی پیدا کرده‌اند.[4]

مواد تغییر فاز حالت خاصی از مایع-جامد نامیده می‌شوند و محلول هایی می‌باشند، که برای کنترل حرارت به کار می روند و به سه گروه با ترکیبات آلی و با ترکیبات غیر آلی و مواد ترکیبی زودگداز تقسیم می‌شوند. ترکیبات غیر آلی که متداولتر نیز هستند، موادی‌اند که دارای ترکیبات کربن (علی الخصوص هیدرات نمک) در ترکیب خود نیستند و در خنک کاری های شدید و در پدیده هایی که تغییرات دمایی منطقی دارند، استفاده می‌شوند و از آنجمله می توان به $CaCl_2.6H_2o$ و $Na_2So_410H_2o$ اشاره نمود. تلکز(Telks) بعد از جنگ جهانی دوم برای ساختن نخستین ذخیره کننده خورشیدی از $Na_2So_410H_2o$ استفاده کرد و در سال 1970، $CaCl_2.6H_2o$ در پمپ های حرارتی و گرمایش اجباری به کار گرفته شد. همچنین این مواد در سیستم های ذخیره کننده انرژی نیز به کار می‌رفته‌اند. مواد آلی نیز به دو دسته پارافینی و غیر پارافینی تقسیم می‌شوند.[5] مواد با ترکیبات الی در مقالات به عنوان مواد ارگانیگ و مواد با ترکیبات غیر الی به نام مواد غیرارگانیک (شامل هیدرات های نمک، نمک ها، فلزات و آلیاژهای فلزات مرکب اند.) مشهور می-باشند[6]، گروه سوم مواد تغییر فاز، مواد ترکیبی اجزاء ارگانیک و یا غیر ارگانیک می‌باشند، که به مواد