بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم ثنا حسینی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان شبیه سازی عددی سیستم تلفیقی خنک کننده تبخیری مستقیم-برج خنک کننده-چرخ دسیکنت** در تاریخ ۱۳۹۲/٦/۲۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	**دکتر قاسم حیدری نژاد**	استاد	
استاد مشاور	**دکتر هادی پاسدارشهری**		
استاد ناظر	**دکتر مهدی معرفت**	دانشیار	
استاد ناظر	**دکتر محمد علی اخوان بهابادی**	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	**دکتر مهدی معرفت**	دانشیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب ..... دانشجوی رشته ..... ورودی سال تحصیلی ..... مقطع ..... دانشکده ..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: .....

تاریخ: .....

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی برق است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر [illegible] ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر [illegible] و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر [illegible] از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب [illegible] دانشجوی رشته مهندسی برق مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: [illegible]

تاریخ و امضا:

۹۲/۷/۱۶

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

شبیه‌سازی عددی و بررسی عملکرد سیستم سرمایش تلفیقی؛ خنک‌کننده تبخیری مستقیم، برج خنک‌کننده و رطوبت‌گیری دسیکنت

نگارش:

ثنا حسینی

استاد راهنما:

دکتر قاسم حیدری‌نژاد

استاد مشاور:

دکتر هادی پاسدارشهری

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به:

والدین عزیزم

تشکر و قدردانی

از آقای دکتر **قاسم حیدری‌نژاد** بخاطر راهنمایی، مشاوره، هدایت و زحمات صمیمانه ایشان در راستای انجام این پایان‌نامه سپاسگزارم.

همچنین از لطف، حمایت و مشاوره آقای دکتر **هادی پاسدارشهری** طی انجام این پایان‌نامه کمال تشکر را دارم.

چکیده

در تحقیق حاضر، سیستم‌های سرمایش ترکیبی ارائه شده، تلفیقی از رطوبت‌گیری دسیکنت، سرمایش تبخیری مستقیم و غیرمستقیم (برج خنک‌کننده و کویل سرمایشی) می‌باشند. در سیستم‌های سرمایشی بررسی شده، هوای گرم محیط بیرون (شرایط تابستانی) وارد سیکل شده و رطوبت‌گیری می‌شود، سپس هوای رطوبت‌گیری شده ضمن عبور از یک کویل سرمایشی در تبادل حرارتی با آب خنک خروجی از برج، خنک شده و وارد خنک‌کننده تبخیری مستقیم می‌شود. بنابراین هوای گرم رطوبت‌گیری شده با عبور از کویل آب سرد، مقداری از گرمای محسوس خود را از دست داده و وارد سیستم سرمایش تبخیری مستقیم می‌شود و مجددا طی یک فرآیند انتالپی ثابت خنک‌تر می‌گردد. در ابتدا هریک از اجزاء سیستم به طور جداگانه شبیه‌سازی شده و پس از تائید صحت کد عددی مربوط به هریک از اجزاء، برنامه کامپیوتری شبیه‌سازی سیستم‌های سرمایش ترکیبی با ارائه الگوریتم مناسب نوشته شد. به کمک مدل عددی ارائه شده، اثرات سرعت جریان هوای عبوری از خنک‌کننده تبخیری، دمای احیا دسیکنت، فشار اتمسفریک و شرایط محیطی بر عملکرد سسیتم‌های سرمایش ترکیبی شبیه‌سازی شده، بررسی شده‌اند. در ادامه اثرات پارامترهای حاکم بر کارایی سیکل‌ها، دمای خروجی از آن و میزان آبی که سیکل مصرف می‌کند و نیز تاثیر شرایط محیطی بر امکان دستیابی به آسایش حرارتی بررسی شده است. همچنین روی نمودار سایکرومتریک استاندارد، نواحی از دما و رطوبت مشخص شده است که هر یک از سیکل‌های ترکیبی و نیز خنک‌کننده تبخیری مستقیم در صورت استفاده در آن شرایط محیطی، آسایش حرارتی را فراهم می‌کنند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی نشان می‌دهند، که کارایی اشباع هریک از سیستم‌های سرمایش ترکیبی، به مراتب بیشتر از سرمایش تبخیری مستقیم می‌باشد و این سیستم‌ها از گستره کاربرد وسیعتری نیز نسبت به هریک از اجزاء سیستم برخوردارند. در نهایت برای چند شهر ایران که دارای شرایط آب و هوایی متفاوتی هستند، امکان استفاده از هریک از سیستم‌های سرمایش ترکیبی و همچنین سیستم سرمایش تبخیری مستقیم، بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد در بسیاری از مناطقی که امکان استفاده از سیستم تبخیری مستقیم و غیر مستقیم وجود ندارد، سیکل‌های سرمایش ترکیبی دسیکنت می‌توانند به خوبی آسایش حرارتی را تامین کنند.

کلمات کلیدی: سرمایش غیرفعال، سرمایش ترکیبی، سرمایش دسیکنت، خنک‌کننده تبخیری، کویل سرمایشی، برج خنک‌کننده، شبیه‌سازی عددی، آسایش حرارتی، کارایی اشباع

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱

۱- مقدمه ۲

۱-۱- اجزاء سیستم‌های سرمایش ترکیبی ۳

۱-۱-۱- خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۳

۱-۱-۲- کویل ۶

۱-۱-۲-۱- کویل سرمایشی ۶

۱-۱-۳- برج خنک‌کننده ۶

۱-۱-۴- دسیکنت ۸

۱-۱-۴-۱- نحوه عملکرد دسیکنت ۸

۱-۲- معرفی سیستم‌های سرمایش ترکیبی ۹

۱-۲-۱- سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۱۰

۱-۲-۲- سیستم سرمایش ترکیبی؛ چرخ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری ۱۰

۱-۳- ناحیه آسایش حرارتی در سرمایش تبخیری ۱۲

فصل دوم ۱۵

۲- مروری بر مطالعات پیشین ۱۶

۲-۱- خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۱۶

۲-۲- برج خنک‌کننده ۱۷

۲-۳- سیستم سرمایش دسیکنت ۱۸

۲-۴- سیستم‌های سرمایش ترکیبی ۲۰

فصل سوم ۲۲

۳- مدل‌سازی سیستم‌های سرمایش ترکیبی ۲۳

۳-۱- مدل‌سازی هر یک از اجزاء سیستم‌های سرمایش ترکیبی ۲۳

۳-۱-۱- مدل‌سازی سیستم سرمایش تبخیری مستقیم ۲۳

۳-۱-۱-۱- کارایی اشباع سیستم سرمایش تبخیری مستقیم ۲۵
۳-۱-۲- مدل‌سازی کویل سرمایشی ۲۵
۳-۱-۲-۱- ضریب انتقال حرارت سمت هوا ۲۷
۳-۱-۲-۲- ضریب انتقال حرارت سمت آب ۲۹
۳-۱-۲-۳- کارایی کویل سرمایشی ۲۹
۳-۱-۳- مدل‌سازی برج خنک‌کننده ۳۰
۳-۱-۴- مدل‌سازی سیستم رطوبت‌گیری دسیکنت ۳۳
۳-۲- معادلات حاکم بر سیستم‌های سرمایش ترکیبی ۳۴
۳-۲-۱- میزان انرژی مصرفی گرمکن ۳۸
۳-۲-۲- کارایی اشباع سیکل ۳۸
۳-۲-۳- محاسبه آب جبرانی ۳۹
۳-۲-۴- خطای نسبی بالانس انرژی ۳۹
۳-۳- الگوریتم مدلسازی سیستم سرمایش ترکیبی ۳۹
فصل چهارم ۴۱
۴- اعتبارسنجی ۴۲
۴-۱- اعتبارسنجی نتایج هر یک از اجزاء سیستم‌های سرمایش ترکیبی ۴۲
۴-۱-۱- سیستم سرمایش تبخیری مستقیم ۴۲
۴-۱-۲- سیستم کویل سرمایشی ۴۳
۴-۱-۳- سیستم برج خنک‌کننده مرطوب از نوع جریان مخالف ۴۴
۴-۱-۴- سیستم رطوبت‌گیری دسیکنت ۴۵
فصل پنجم ۴۸
۵- ارائه نتایج و بحث ۴۹
۵-۱- بررسی عملکرد سیستم‌های سرمایش ترکیبی، تاثیر پارامترها و عوامل موثر بر آن ۴۹
۵-۱-۱- تاثیر تغییرات فشار اتمسفریک بر عملکرد برج خنک‌کننده ۴۹
۵-۱-۱-۱- تعداد واحدهای سرمایشی برج خنک‌کننده ۴۹
۵-۱-۱-۲- کارایی برج خنک‌کننده ۵۰
۵-۱-۲- سیستم سرمایش ترکیبی برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۱

۵-۱-۲-۱- کارایی اشباع سیستم سرمایش ترکیبی ۵۱
۵-۱-۲-۲- مقایسه عملکرد سیستم سرمایش ترکیبی و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۲
۵-۱-۲-۳- بررسی پتانسیل سرمایش سیستم ترکیبی و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۳
۵-۱-۲-۴- تاثیر سرعت هوای عبوری از خنک‌کننده تبخیری بر عملکرد سیستم ترکیبی ۵۴
۵-۱-۲-۵- مقایسه آب جبرانی سیستم سرمایش ترکیبی و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۵
۵-۱-۳- سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۶
۵-۱-۳-۱- تاثیر دمای احیا بر عملکرد چرخ دسیکنت ۵۷
۵-۱-۳-۲- بررسی عملکرد سیستم سرمایش ترکیبی ۵۷
۵-۱-۳-۳- تاثیر دمای احیا بر عملکرد سیستم سرمایش ترکیبی ۵۹
۵-۱-۴- تاثیر استفاده از خنک‌کننده تبخیری مستقیم در مسیر احیا چرخ دسیکنت ۶۲
۵-۱-۵- بررسی تاثیر استفاده از دو مبدل حرارتی در مسیر رطوبت‌گیری و احیا ۶۴
۵-۱-۶- بررسی پتانسیل سرمایشی سیکل‌های سرمایش دسیکنت ۶۶
۵-۲- امکان استفاده از سیستم‌های سرمایش ترکیبی ارائه شده، در برخی از شهرهای ایران ۶۸
۵-۲-۱- سیستم سرمایش ترکیبی، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۷۰
۵-۲-۲- سیستم سرمایش ترکیبی دسیکنت ۷۲
فصل ششم ۷۴
جمع‌بندی نتایج ۷۵
پیشنهادات ۷۷
مراجع ۷۸

فهرست علائم

علائم اصلی

a	مساحت سطح تماس فیلم هوای اشباع (m^2)
A_f	مساحت پره (m^2)
A_{in}	مساحت سطح داخلی لوله (m^2)
A_{out}	مساحت سطح خارجی لوله (m^2)
A_p	مساحت سطح کل پره‌های کویل (m^2)
A_V	سطح قطرات آب در واحد حجم برج خنک‌کننده (m^2/m^3)
C_n	ضریب تصحیح تعداد لوله‌ها در کویل
c_p	گرمای ویژه سیال در فشار ثابت ($J/kg°C$)
d_{in}	قطر داخلی لوله (m)
d_{out}	قطر خارجی لوله (m)
F_1, F_2	توابع عملکرد دسیکنت
F_{cor}	فاکتور تاثیر توربولانس در کویل
G	نرخ جرمی جریان هوای برج خنک‌کن (kg/s)
h_c	ضریب انتقال حرارت جابجایی ($W/m^2°C$)
H	ارتفاع (m)
i	آنتالپی ویژه (J/kg)
i_{vs}	انتالپی ویژه بخار در دمای سطح مشترک آب و هوا (J/kg)
K	ضریب هدایت حرارتی ($W/m°C$)
K_D	ضریب انتقال جرم ($kg/m^2°C$)
K_G	ضریب انتقال حرارت بین هوا و فیلم هوای اشباع ($kg/m^2°C$)
K'	ضریب انتقال جرم بین هوا و فیلم هوای اشباع ($kg/m^2°C$)
l	ضخامت پد مرطوب (m)
L	نرخ جرمی آب برج خنک‌کن (kg/s)
l_e	طول مشخصه پد مرطوب (m)
Le	عدد لوئیز (بدون بعد)
$\dot{m}$	نرخ گذر جرمی (kg/s)
NTU	تعداد واحدهای انتقال حرارت

N_t تعداد لوله‌ها در داخل کویل

Nu عدد ناسلت (بدون بعد)

P فشار

Pr عدد پرانتل (بدون بعد)

Q دبی حجمی

$\dot{Q}$ نرخ انتقال حرارت (kW)

q_L نرخ انتقال حرارت نهان هوا و فیلم هوای اشباع (J/kg)

q_s نرخ انتقال حرارت محسوس هوا و فیلم هوای اشباع (J/kg)

q_w نرخ انتقال حرارت آب و فیلم هوای اشباع (J/kg)

r انتالپی ویژه تبخیر (J/kg)

R_{f} مقاومت حرارتی سمت پره‌دار کویل

Re عدد رینولدز (بدون بعد)

S_n گام عرضی لوله‌های کویل (m)

S_p گام طولی لوله‌های کویل (m)

T دما (°C)

T_t دمای سطح لوله کویل (°C)

U ضریب انتقال حرارت کل کویل ($\mathrm{W/m^2\,^\circ C}$)

ν سرعت (m/s)

V حجم برج خنک‌کننده ($\mathrm{m^3}$)

علائم یونانی

η بازده پره

μ لزجت ($\mathrm{N/m^2 s}$)

ε کارائی

ϕ رطوبت نسبی (بدون بعد)

ρ چگالی ($\mathrm{kg/m^3}$)

ω نسبت رطوبت (kg/kg)

ω'' نسبت رطوبت فیلم هوای اشباع (kg/kg)

ς_1, ς_2 پارامتر وابسته به کارایی چرخ دسیکنت

زیر نویس‌ها

a	هوا
CCU	واحد کویل سرمایشی
CT	برج خنک‌کننده
DA	هوای خشک
db	حباب خشک
DEC	خنک‌کننده تبخیری مستقیم
DW	چرخ دسیکنت
En	محیط
em	تجربی
f	فین
HA	هوای مرطوب
HW	چرخ مبدل حرارتی
in	ورودی
LMTD	اختلاف درجه حرارت لگاریتمی
max	ماکزیمم
min	مینیمم
out	خروجی
reg	بازگشتی
L	نهان
S	محسوس
sat	اشباع
Sw	آب سطح تماسی
tube	لوله
v	بخار
vs	بخار اشباع
w	آب
wb	حباب تر

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ ضرایب تصحیح برای تعداد ردیف‌های کمتر از ۲۰ ..... ۲۸
جدول ۳-۲ مشخصات مربوط به راندمان چرخ دسیکنت ۳۴
جدول ۴-۱ مشخصات طراحی کویل سرمایشی ۴۳
جدول ۴-۲ مقایسه نتایج عددی و تجربی تعداد واحدهای سرمایشی برج خنک‌کننده تر از نوع جریان مخالف ۴۵
جدول ۴-۳ پارامترهای طراحی سیکل سرمایش تهویه‌ای دسیکنت ۴۶
جدول ۴-۴ صحت‌سنجی نتایج مدل‌سازی عددی سیکل تهویه‌ای دسیکنت با نتایج آزمایشگاهی ۴۷
جدول ۵-۱ تاثیر دمای احیا بر عملکرد سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری، در محدوده شرایط آب و هوایی با دمای خشک، (°C) ۳۰-۵۰ و نسبت رطوبت، (kg/kg-dry air) ۰/۰۰۲-۰/۰۳ ..... ۶۲
جدول ۵-۲ مشخصات جغرافیایی و آب و هوایی شهرهای انتخابی با شرایط آب و هوایی مختلف در ایران ۶۹
جدول ۵-۳ پتانسیل‌سنجی سیستم سرمایش ترکیبی برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم در شهرهایی با شرایط آب و هوایی مختلف در ایران ۷۰
جدول ۵-۴ پتانسیل‌سنجی سیستم سرمایش ترکیبی برج خنک‌کننده، خنک‌کننده تبخیری مستقیم و رطوبت‌گیری دسیکنت و امکان دستیابی به آسایش حرارتی برای چند شهر کشور با شرایط آب و هوایی مرطوب ۷۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ فرآیند سرمایش تبخیری مستقیم روی نمودار سایکرومتریک ۴
شکل ۱-۲ منحنی رطوبت موجود در دسیکنت- فشار بخار دسیکنت ۹
شکل ۱-۳ (الف): شماتیک سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم (ب): نمودار سایکرومتریک ۱۰
شکل ۱-۴ (الف) شماتیک سیستم سرمایش ترکیبی؛ چرخ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم... ۱۱
شکل ۱-۴ (ب) نمودار سایکرومتریک سیستم سرمایش ترکیبی؛ چرخ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری ۱۱
شکل ۱-۵ ناحیه آسایش استاندارد وسرمایش تبخیری ASHRAE ۱۳
شکل ۳-۱ شماتیک سیستم سرمایش تبخیری مستقیم ۲۳
شکل ۳-۲ نمای شماتیک یک کویل سرمایشی ۲۶
شکل ۳-۳ انواع آرایش دسته لوله‌ها (الف) متناوب، (ب) در یک خط ۲۷
شکل ۳-۴ انتقال جرم و انرژی بین قطره آب پاششی و فیلم هوای اطراف آن در برج خنک‌کننده ۳۰
شکل ۳-۵ دیاگرام سرمایشی برج خنک‌کننده با جریان مخالف ۳۲
شکل ۳-۶ شماتیک سیستم سرمایش ترکیبی؛ چرخ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۳۶
شکل ۳-۷ شماتیک مبدل حرارتی جریان مخالف ۳۷
شکل ۳-۸ شماتیک گرمکن حرارتی جریان هوای احیا ۳۷
شکل ۳-۹ فلوچارت برنامه کامپیوتری ۴۰
شکل ۴-۱ منحنی اعتبار سنجی کارایی اشباع خنک‌کننده تبخیری مستقیم نسبت به عدد رینولدز ۴۳
شکل ۴-۲ منحنی صحت‌سنجی دمای آب خروجی نسبت به دمای آب ورودی به کویل سرمایشی ۴۴
شکل ۴-۳ شماتیک سیکل سرمایش تهویه‌ای دسیکنت ۴۵
شکل ۴-۴ بار محسوس و بار نهان بر روی نمودار سایکرومتریک ۴۶
شکل ۴-۵ مراحل فرآیند سرمایش سیکل تهویه‌ای دسیکنت ۴۷
شکل ۵-۱ منحنی تغییرات NTU (تعداد واحدهای سرمایشی برج خنک‌کننده) بر اساس تغییرات فشار اتمسفریک ۵۰
شکل ۵-۲ منحنی تغییرات کارایی برج خنک‌کننده بر اساس تغییرات فشار اتمسفریک ۵۰
شکل ۵-۳ کارایی اشباع سیستم سرمایش تلفیقی نسبت به دمای مرطوب محیط ۵۱
شکل ۵-۴ کارایی اشباع سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۲
شکل ۵-۵ محدوده برقراری آسایش حرارتی؛ (الف): خنک‌کننده تبخیری مستقیم و (ب): سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۳
شکل ۵-۶ کانتور دمای ورودی به ناحیه تهویه، (الف): سیستم سرمایش تبخیری مستقیم، (ب): سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۴
شکل ۵-۷ بررسی تاثیر سرعت هوای عبوری از خنک‌کننده تبخیری مستقیم، در برقراری آسایش حرارتی با سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری ۵۴

شکل ۵-۸ مقایسه آب جبرانی بی‌بعد (kg/kg-dry air)، (الف): سیستم سرمایش تبخیری مستقیم و (ب): سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۵
شکل ۵-۹ خطای نسبی بالانس انرژی در مدل‌سازی سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۶
شکل ۵-۱۰ اثر دمای احیا بر عملکرد چرخ دسیکنت ۵۷
شکل ۵-۱۱ کارایی اشباع سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۵۸
شکل ۵-۱۲ میزان انرژی مصرفی (kJ/kg-dry air) سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری ۵۸
شکل ۵-۱۳ تاثیر دمای احیا در برقراری آسایش حرارتی با سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کن و خنک کننده تبخیری ۵۹
شکل ۵-۱۴ تاثیر دمای احیا بر کارایی اشباع سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۶۰
شکل ۵-۱۵ تاثیر دمای احیا بر میزان انرژی مصرفی (kJ/kg-dry air) سیستم سرمایش ترکیبی؛ برج خنک‌کننده و خنک کننده تبخیری مستقیم ۶۱
شکل ۵-۱۶ شماتیک سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم همراه با یک مرحله سرمایش تبخیری مستقیم در مسیر بازیابی ۶۲
شکل ۵-۱۷ تاثیر استفاده از خنک‌کننده تبخیری مستقیم در مسیر احیا، در امکان برقراری آسایش حرارتی با سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۶۳
شکل ۵-۱۸ تاثیر استفاده از خنک‌کننده تبخیری مستقیم در مسیر احیا بر (الف): کارایی اشباع و (ب): میزان انرژی مصرفی (kJ/kg-dry air) سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۶۴
شکل ۵-۱۹ شماتیک سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم همراه با دو مبدل حرارتی در مسیر رطوبت‌گیری و احیا ۶۵
شکل ۵-۲۰ تاثیر استفاده از دو مبدل حرارتی در مسیر رطوبت‌گیری و احیا، در امکان برقراری آسایش حرارتی با سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۶۵
شکل ۵-۲۱ تاثیر استفاده از دو مبدل حرارتی در مسیر رطوبت‌گیری و احیا بر(الف): کارایی اشباع و (ب): میزان انرژی مصرفی (kg/kg-dry air) سیستم سرمایش ترکیبی؛ دسیکنت، برج خنک‌کننده و خنک‌کننده تبخیری مستقیم ۶۶
شکل ۵-۲۲ مقایسه پتانسیل سرمایشی سیکل ترکیبی دسیکنت به ازای مقادیر مختلف دمای احیا ۶۷
شکل ۵-۲۳ بررسی پتانسیل سرمایشی سیکل ترکیبی دسیکنت، (الف): با افزودن خنک‌کننده تبخیری مستقیم در مسیر احیا و (ب): استفاده از دو مبدل حرارتی در مسیر رطوبت‌گیری و احیا ۶۸
شکل ۵-۲۴ منحنی سایکرومتریک فرآیند سرمایش ترکیبی برج خنک‌کننده و سرمایش تبخیری مستقیم در شهرهایی با شرایط آب و هوایی مختلف در ایران ۷۱
شکل ۵-۲۵ مقایسه کارایی اشباع سیستم سرمایش تبخیری مستقیم و سیستم سرمایش ترکیبی ۷۲
شکل ۵-۲۶ منحنی سایکرومتریک؛ (الف): سیستم سرمایش ترکیبی دسیکنت و (ب): سیستم سرمایش ترکیبی دسیکنت همراه با خنک‌کننده تبخیری مستقیم در مسیر احیا ۷۳

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

امروزه به دلیل مصرف بالای انرژی در ساختمان‌ها، تغییرات آب و هوایی با توجه به مساله گرم شدن کره زمین، تقلیل منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش آلودگی‌ها، انگیزه جایگزینی منابع انرژی موجود با منابع تولید انرژی تجدیدپذیر نیز افزایش یافته است [۱]. آمار منتشر شده نشان می‌دهند، مصرف انرژی در بخش ساختمان حدود ۳۵-۴۰ درصد کل انرژی مصرفی کشور می‌باشد و ساختمان‌های مسکونی و دولتی نیز ۷۰ درصد این انرژی را با بهره پایینی به خود اختصاص داده‌اند [۱]. از طرفی تجهیزات سرمایشی علاوه بر افزایش میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها، اثرات عمده دیگری از جمله؛ افزایش پیک بار برق مصرفی، مشکلات زیست محیطی به علت تخریب لایه ازون و گرم شدن کره زمین را نیز به دنبال دارند. منابع متداول انرژی شامل سوخت‌های فسیلی می‌باشد، که انرژی‌های پاک جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی‌اند و در قرن اخیر نیز میزان تولید و مصرف این نوع انرژی‌ها یک پارامتر مهم در توسعه اقتصادی، صنعتی، اجتماعی و تکنولوژی کشورها محسوب می‌شود. دسترسی کشورهای در حال توسعه به انواع منابع جدید انرژی و انجام فعالیت‌های اقتصادی در جهت نیل به این هدف، در توسعه اقتصادی آن‌ها تاثیر به سزایی دارد؛ بطوری‌که پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند، بین سطح توسعه و میزان مصرف انرژی کشورها رابطه مستقیم وجود دارد [۲]. از اینرو در این پایان‌نامه به بررسی عملکرد و امکان‌سنجی استفاده از چندین سیستم سرمایش ترکیبی برای ایجاد آسایش حرارتی در ساختمان پرداخته شده است.

سیستم‌های سرمایش غیرفعال[1]، یک راه‌حل برای ایجاد سرمایش در سیستم‌های تهویه مطبوع می‌باشد. سرمایش تبخیری[2] از جمله روش‌های سرمایش غیرفعال می‌باشد که به‌تنهایی و یا بصورت ترکیبی با سیستم‌های دیگر، قادر به ایجاد آسایش حرارتی در برخی شرایط آب و هوایی می‌باشد. دامنه پژوهش این پایان‌نامه بکارگیری سیستم سرمایش تبخیری غیرمستقیم، متشکل از برج خنک‌کننده و کویل سرمایشی و همچنین رطوبت‌گیری دسیکنت، در جهت افزایش گستره کاربرد سیستم‌های سرمایش تبخیری می‌باشد. اهداف کلی که در این پایان‌نامه دنبال شده است به طور خلاصه شامل:

۱- شبیه‌سازی عددی هریک از سیستم‌های سرمایش تبخیری مستقیم، کویل سرمایشی، برج خنک‌کننده تر از نوع جریان مخالف و سیستم رطوبت‌گیری دسیکنت

[1] Passive cooling
[2] Evaporative cooling

۲- شبیه‌سازی سیستم سرمایش تبخیری مستقیم- غیرمستقیم (کویل سرمایشی و برج خنک‌کننده)

۳- شبیه‌سازی سیستم سرمایش تبخیری مستقیم- غیرمستقیم، همراه با رطوبت‌گیری دسیکنت

۴- بررسی پارامترها و عوامل موثر بر عملکرد سیستم‌های سرمایش ترکیبی ارائه شده

۵- بررسی عملکرد سیستم‌های سرمایش ترکیبی ارائه شده در شرایط آب و هوایی مختلف کشور ایران

در ادامه فصل اول سیستم‌های سرمایش ترکیبی بررسی شده در این پایان‌نامه معرفی می‌شوند. فصل دوم مروری بر مطالعات پیشین بوده و معادلات حاکم در مدل‌سازی هریک از اجزاء تشکیل‌دهنده سیستم‌های سرمایش ترکیبی نیز در فصل سوم ارائه می‌شوند. برنامه کامپیوتری شبیه‌سازی عددی مدل ریاضی هریک از اجزاء سیستم، به زبان برنامه‌نویسی فرترن نوشته شده و توابع مورد نیاز برای محاسبه خواص ترمودینامیکی هوای مرطوب نیز در آن بکار گرفته شده است؛ که این توابع در پیوست-(الف) ارائه شده‌اند. سپس در فصل چهارم، برای بررسی صحت نتایج محاسباتی، هریک از اجزاء سیستم‌های سرمایش ترکیبی بصورت جداگانه اعتبارسنجی می‌شوند. در فصل پنجم نیز بحث کلی پیرامون نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تاثیر پارامترهای مختلف در عملکرد هریک از اجزاء سیستم انجام می‌شود. در آخر نیز عملکرد هر یک از سیستم‌های سرمایش ترکیبی در شرایط آب و هوایی مختلف کشور ایران مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱- اجزاء سیستم‌های سرمایش ترکیبی

۱-۱-۱- خنک‌کننده تبخیری مستقیم[1]

در صورتیکه تبخیر آب در تماس مستقیم با هوا صورت گیرد، به آن سرمایش تبخیری مستقیم گویند که قدیمی‌ترین و رایج‌ترین شکل سرمایش است. عبارت "تماس مستقیم" دلالت بر تماس مستقیم سیال خنک‌کننده با جریان هوا دارد که این انتقال حرارت توام با انتقال جرم است. فرآیند سرمایش تبخیری مستقیم، در شرایط ایده‌آل یک فرایند تبادل حرارت بی‌دررو[2] است؛ که در واقع با تبخیر آب و انتقال جرم و انرژی بین آب و هوا، درجه حرارت خشک هوا کاهش یافته و سرمایش محسوس انجام می‌شود. از سرمایش تبخیری مستقیم برای خنک‌کردن آب و هوا استفاده می‌شود؛ تجهیزاتی که در این روش برای خنک کردن آب بکار گرفته می‌شوند، عمدتا شامل برج‌های خنک‌کننده می‌باشند. تجهیزاتی نظیر

[1] Direct Evaporative Cooling
[2] Adiabatic