بنام حضرت دوست

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی 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 هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

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

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی: سلیم مصلحی

امضاء

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، مبین‌بخشی 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 دررشته**مهندسی مکانیک** است که در سال**۱۳۹۰**در دانشکده**فنی و مهندسی**دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب‌آقای**دکتر مهدی معرفت** 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 رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

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

ماده ۶: اینجانب **سلیم مصلحی** دانشجوی رشته**مهندسی مکانیک** مقطع**کارشناسی ارشد**تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **سلیم مصلحی**

تاریخ و امضا:

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

تحلیل سیستم‌های هیدرونیک گرمایش- سرمایش تشعشعی سقفی از نظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در شرایط آب و هوایی مختلف ایران

سلیم مصلحی

استاد راهنما

دکتر مهدی معرفت

استاد مشاور

دکتر عزیز عظیمی

شهریور ۱۳۹۰

تقدیم با عشق به

مادر، پدر، دو خواهر و همسر عزیزم

تقدیر و تشکر:

با سپاس و تقدیر فراوان از زحمات اساتید محترم جناب آقای دکتر مهدی معرفت و جناب آقای دکتر عزیز عظیمی که با رهنمودهای ارزشمندشان همواره مرا مورد لطف خود قرار داده‌اند.

همچنین از تمامی تلاش‌ها و همفکری‌های آقای دکتر ذوالفقاری و همچنین دوستان خوبم آقایان داودی، جابری و حسینی کمال تشکر را دارم.

سرانجام از شرکت بهینه سازی مصرف سوخت که با حمایت مالی خود راه را بر انجام این تحقیق هموار ساختند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

سیستم‌های تابشی به دلیل فراهم اوردن شرایط مطلوب آسایش حرارتی در ضمن مصرف کم انرژی، که به منزله بازده بالای این سیستم‌ها تلقی می‌شود، توانسته‌اند جای خود را در میان سیستم‌های تهویه مطبوع باز کنند. در میان انواع سیستم‌های تابشی موجود، پنل‌های گرمایش- سرمایش سقفی بسیار رایج بوده و در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته‌اند. از آنجایی که به منظور دستیابی به شرایط آسایش حرارتی مطلوب و بازده مناسب هر سیستم، تطابق آن با شرایط اقلیمی باید مد نظر قرار گیرد، در این بررسی عملکرد پنل‌های هیدرونیک تابشی سقفی در حالت‌های گرمایش و سرمایش در شرایط آب و هوایی مختلف ایران و با رویکردهای مصرف انرژی و آسایش حرارتی شبیه‌سازی شده است. برای نیل به این هدف، نرم‌افزار EnergyPlus که یکی از معتبرترین برنامه‌های شبیه‌سازی انرژی در ساختمان و مورد تأیید دپارتمان انرژی آمریکا نیز می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته است. مصرف انرژی سیستم‌های تابشی و آسایش حرارتی به صورت ساعتی و سالانه محاسبه شده و در اقلیم‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. به منظور برآورد شرایط آسایش حرارتی، معیار آسایش فنگر در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. در سیستم‌های سرمایش تابشی مسئله چگالش رطوبت هوا بر سطح پنل، عاملی محدود کننده محسوب می‌شود که به طور عمده متأثر از رطوبت هوا و بار حرارتی فضا می‌باشد و زمانی روی می‌دهد که دمای سطح پنل کمتر از دمای نقطه شبنم محیط باشد. همچنین در حالت گرمایش، تابش نامتقارن ناشی از سقف گرم موجب ایجاد نارضایتی برای ساکنین می‌گردد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد در فضای نمونه تحت بررسی و در اقلیم‌های مرطوب، ریسک چگالش کاربرد سیستم‌های سرمایش تابشی را محدود می‌کند. در اغلب شرایط آب و هوایی به ویژه در مناطق سردتر، تابش نامتقارن ناشی از پنل تابشی در حالت گرمایش در ساعاتی از سال نارضایتی حرارتی بیش از حد مجاز ایجاد می‌کند. به منظور مقایسه سیستم‌های تابشی با سیستم‌های متداول، فضای تحت بررسی به همراه سیستم فن‌کویل نیز شبیه‌سازی شده و نتایج این مقایسه نشان می‌دهد به طور متوسط سیستم‌های تابشی ۱۱٪ در گرمایش و ۸/۶٪ در سرمایش مصرف انرژی سالیانه را کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: گرمایش- سرمایش تابشی، پنل تابشی، آسایش حرارتی، معیار آسایش فنگر، چگالش، تابش نامتقارن، اقلیم‌های آب و هوایی ایران.

فهرست

چکیده ۷

فهرست شکل ها ..... أ

فهرست جدول ها ..... ج

فهرست علائم و نشانه ها ۱

مقدمه: ۲

فصل ۱ مروری بر سیستمهای تابشی ۵

۱-۱-معرفی سیستمهای تابشی ۵

۱-۲-مزایای سیستمهای تابشی ۹

۱-۳-معایب سیستمهای تابشی ۱۱

۱-۴-مروری بر تحقیقات انجام شده ۱۲

۱-۴-۱- مصرف انرژی ۱۳

۱-۴-۲- آسایش حرارتی ۱۳

1-4-3- چگالش ۱۴

۱-۴-۴-ظرفیت سیستمهای تابشی ۱۵

۱-۵-اهداف تحقیق حاضر ۱۶

فصل ۲ مدلسازی سیستمهای هیدرونیک گرمایش- سرمایش تابشی پنلی سقفی ۱۸

۲-۱- مقدمه ۱۸

۲-۲-معرفی نرم افزارEnergyplus[۲۷] ۱۹

۲-۳-معادلات بالانس انرژی ۲۱

۲-۳-۱- الگوریتم Predictor/Corrector ۲۴

۲-۴-معادلات بالانس انرژی برای سطوح خارجی ۲۵

۲-۴-۱- انتقال حرارت تابشی در طول موجهای کوتاه ۲۵

۲-۴-۲- انتقال حرارت تابشی در طول موجهای بلند ۲۶

2-4-3- انتقال حرارت جابجایی ۲۷

۲-۵-معادلات بالانس انرژی برای سطوح داخلی ۳۰

۲-۵-۱- انتقال حرارت تابشی در طول موجهای بلند ۳۱

۲-۵-۲- انتقال حرارت جابجایی ۳۲

۲-۶- سیستمهای گرمایش- سرمایش تابشی پنلی ۳۴

۲-۶-۱- کنترل ۳۵

۲-۶-۲- شبیه سازی سیستمهای هیدرونیک ۳۶
۲-۷-آسایش حرارتی ۳۶
۲-۷-۱- مدلهای ریاضی پیشبینی آسایش حرارتی ۳۷
۲-۷-۲- دمای متوسط تابشی (MRT) ۳۹
۲-۷-۳- تابش نامتقارن ۴۰
۲-۷-۴- چگالش در سیستمهای سرمایش تابشی ۴۲
۲-۸-اعتبارسنجی شبیه سازی ۴۳

فصل ۳ بررسی عملکرد سیستمهای هیدرونیک گرمایش- سرمایش تابشی پنلی سقفی از نظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی ۴۶
۳-۱-فضای نمونه ۴۶
۳-۲-نتایج ۵۲
۳-۲-۱- مصرف انرژی ۵۲
۳-۲-۲- آسایش حرارتی ۶۲
۳-۳- مقایسه مصرف انرژی سیستم گرمایش-سرمایش تابشی با فن کویل ۷۱

فصل ۴ نتیجه گیری و جمعبندی ۷۴
۴-۱-موضوعات قابل پژوهش در آینده ۸۰
فهرست مراجع ۸۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ سهم هر یک از شیوه های انتقال گرما در تعادل حرارتی بدن [۶]. ۷
شکل ۱-۲ درصد سهم انتقال حرارت تابشی و همرفتی در پدیده های مختلف [۶]. ۸
شکل ۱-۳ مقایسهٔ توزیع عمودی دمای اتاق در سیستمهای گرمایش مختلف با حالت ایده آل [۹]. ۹
شکل ۱-۴ توزیع دما بر حسب ارتفاع در سیستمهای همرفتی (a) و تابشی (b) [۶]. ۱۰
شکل ۱-۵ توزیع عمودی دما در سیستمهای تابشی و همرفتی در نزدیک پنجره (d و b) و در وسط اتـاق (c و a) [۶]. ۱۰
شکل ۲-۱ نمای شماتیک از الگوریتم حل یکپارچه ۲۰
شکل ۲-۲ مکانیزمهای انتقال حرارت بر روی سطوح خارجی ۲۵
شکل ۲-۳ مکانیزمهای انتقال حرارت بر روی سطوح داخلی ۳۱
شکل ۲-۴ مدار سیستم سرمایش-گرمایش تابشی ۳۴
شکل ۲-۵ کنترل دبی آب ورودی به پنل بر حسب دمای کنترلی و دمای تنظیم ۳۵
شکل ۲-۶ ارتباط میان شاخص PMV و درصد نارضایتی افراد (PPD)[۳۴] ۳۹
شکل ۲-۷ المان افقی مسطح در ارتباط با سقف و کف ۴۱
شکل ۲-۸ المان افقی مسطح در ارتباط با دوارههای جانبی ۴۱
شکل ۲-۹ درصد نارضایتی افراد ناشی از تابش نامتقارن [۳۵] ۴۲
شکل ۲-۱۰ فضای نمونه مدل 600 ۴۳
شکل ۲-۱۱ نمودار ساعتی دما در فضای نمونه مدل 600FF ۴۵
شکل ۳-۱ فضای نمونه ۴۶
شکل ۳-۲ تغییرات PMV در یک روز معتدل شهر تهران (۸ آبان) ۴۹
شکل ۳-۳ مصرف انرژی سرمایشی روزانه در شهر تهران در ۱۵ مرداد ۵۰
شکل ۳-۴ مصرف انرژی گرمایشی روزانه در شهر تهران در ۱۵ بهمن ۵۰
شکل ۳-۵ مقطع عرضی پنل گرمایش-سرمایش ۵۱
شکل ۳-۶ مصرف ماهیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی در شرایط اقلیمی نیمه بیابانی (اصفهان) ۵۳
شکل ۳-۷ مقایسه مصرف انرژی سالیانه سیستم ایدهآل و سیستم تابشی در شرایط آب و هوایی اصفهان ۵۳
شکل ۳-۸ دبی آب سرد عبوری از پنل در سرمایش در روز ۲۵ خرداد (اعمال محدودیت بر دبی جهت جلوگیری از بروز چگالش) ۵۵
شکل ۳-۹ رطوبت نسبی در روز ۱۵ژوئن (۲۵ خرداد) ۵۵
شکل ۳-۱۰ مصرف ماهیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب (بندرعباس) ۵۶
شکل ۳-۱۱ مقایسه مصرف انرژی سالیانه سیستم ایدهآل و سیستم تابشی در شرایط آب و هوایی بندرعباس ۵۶
شکل ۳-۱۲ مصرف ماهیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی در شرایط اقلیمی کوهستانی سرد (تبریز) ۵۷

شکل ۳-۱۳ مقایسه مصرف انرژی سالیانه سیستم ایدهآل و سیستم تابشی در شرایط آب و هوایی تبریز ۵۸
شکل ۳-۱۴ مصرف ماهیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی در شرایط اقلیمی تهران ۵۸
شکل ۳-۱۵ مقایسه مصرف انرژی سالیانه سیستم ایدهآل و سیستم تابشی در شرایط آب و هوایی تهران ۵۹
شکل ۳-۱۶ مصرف ماهیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی در شرایط اقلیمی معتدل خزری (رشت) ۶۰
شکل ۳-۱۷ مقایسه مصرف انرژی سالیانه سیستم ایدهآل و سیستم تابشی در شرایط آب و هوایی رشت ۶۰
شکل ۳-۱۸ مصرف ماهیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی در شرایط اقلیمی بیابانی گرم و خشک (یزد) ۶۱
شکل ۳-۱۹ مقایسه مصرف انرژی سالیانه سیستم ایدهآل و سیستم تابشی در شرایط آب و هوایی یزد ۶۱
شکل ۳-۲۰ مقایسه مصرف انرژی سالیانه سیستم گرمایش- سرمایش تابشی در شرایط اقلیمی ایران ۶۲
شکل ۳-۲۱ درصد ساعات کارکرد سیستم گرمایش- سرمایش در طول سال ۶۲
شکل ۳-۲۲ تغییرات روزانه دمای سطح پنل در روز دوم سپتامبر (۱۰ مهر) ۶۳
شکل ۳-۲۳ مصرف انرژی سرمایشی در روز دوم سپتامبر (۱۰ مهر) ۶۴
شکل ۳-۲۴ تغییرات روزانه دمای سطح پنل در گرمترین روز سال (۱۵ مرداد) در شهر بندرعباس ۶۴
شکل ۳-۲۵ تغییرات روزانه دمای سطح پنل در روز ۲۸ ژوئن (۷ تیر) ۶۵
شکل ۳-۲۶ تغییرات روزانه دمای سطح پنل در گرمترین روز سال (۱۵ مرداد) در شهر رشت ۶۶
شکل ۳-۲۷ تغییرات روزانه تابش نامتقارن در سردترین روز سال در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب (بندرعباس) ۶۸
شکل ۳-۲۸ تغییرات روزانه نارضایتی حرارتی در سردترین روز سال در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب (بندرعباس) ۶۸
شکل ۳-۲۹ ماکزیمم تابش نامتقارن در شرایط آب و هوایی گوناگون ۶۹
شکل ۳-۳۰ درصد نارضایتی سالیانه (PD_{annual}) در شرایط آب و هوایی مختلف ۷۰
شکل ۳-۳۱ توزیع ماکزیمم تابش نامتقارن در شرایط آب و هوایی سرد کوهستانی (شهر تبریز) ۷۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ ضرائب محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی بر سطوح خارجی توسط الگوریتم Simple.....۲۸
جدول ۲-۲ ضرائب زبری سطوح در الگوریتم Detailed.....۲۸
جدول ۲-۳ ضرائب رابطه انتقال حرارت جابجایی در الگوریتم MoWiTT.....۳۰
جدول ۲-۴ مدل هفت نقطهای احساس حرارتی.....۳۷
جدول ۲-۵ مدل نه نقطهای احساس حرارتی.....۳۸
جدول ۲-۶ مشخصات ترموفیزیکی جدارهها طبق مدل 600.....۴۴
جدول ۲-۷ خلاصه شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی شهر دنور (Case 600).....۴۴
جدول ۳-۱ مشخصات ترموفیزیکی و ضخامت مواد تشکیل دهنده جدارهها، پنجره و در.....۴۷
جدول ۳-۲ ماکزیمم تابش نامتقارن و نارضایتی ناشی از آن در اقلیمهای مختلف.....۶۹
جدول ۳-۳ مقایسه مصرف انرژی در سیستمهای تابشی و فنکویل در شرایط اقلیمی مختلف ایران.....۷۲
جدول ۳-۴ درصد کاهش مصرف انرژی سیستمهای تابشی نسبت به فنکویل در شرایط اقلیمی مختلف ایران.....۷۲

فهرست علائم و نشانه‌ها

A : مساحت (m^2)

ACH: تعداد تعویض هوا در هر ساعت (-)

A_{DU} : مساحت بدن (m^2)

C, C_p : ظرفیت گرمای ویژه ($J/kg.K$)

C_{res} : تلفات حرارتی محسوس (sensible) تنفسی (W/m^2)

C_t : ثابت انتقال حرارت طبیعی توربولنت (-)

d: ضخامت لایه‌های تشکیل دهنده جداره‌ها (m)

E_{dif} : تلفات حرارتی ناشی از تبخیر رطوبت پوست (W/m^2)

E_{res} : تلفات حرارتی نهان (latent) تنفسی (W/m^2)

$E_{rsw,req}$: تلفات حرارتی ناشی از تعرق (W/m^2)

E_{sk} : تلفات حرارتی تبخیری کلی (W/m^2)

f_{cl} : سطح پوشیده شده توسط لباس (-)

f_{eff} : درصد انتقال حرارت تابشی از بدن (-)

$F_{i,j}$: ضریب دید سطح i نسبت به سطح j (-)

H : تولید حرارت در بدن (W/m^2)

h : ضریب انتقال حرارت جابجایی (W/m^2K)

L : تلفات حرارتی بدن (کلیه مکانیزم‌های انتقال حرارت) (W/m^2)

$\dot{m}$: دبی جرمی هوا (kg/s)

N_{sl} : تعداد چشمه‌های حرارتی داخل فضا (-)

$N_{surfaces}$: تعداد سطوح داخلی (-)

N_{zones} : تعداد zone (-)

P_v : فشار بخار آب (kPa)

PMV : متوسط رأی افراد

PD : درصد نارضایتی (تابش نامتقارن)

PPD : درصد نارضایتی افراد

P_{sk} : فشار بخار آب در حالت اشباع (kPa)

$\dot{Q}$: توان حرارتی (بار حرارتی) (W)

Q_c : تلفات حرارتی جابجایی از سطح بدن (W/m^2)

Q_{dry} : تلفات حرارتی محسوس (sensible) از سطح بدن (W/m^2)

Q_r : تلفات تابشی از سطح بدن (W/m^2)

Q_{res} : تلفات حرارتی تنفسی (W/m^2)

RH: رطوبت نسبی (%)

T: دما ($°C$)

T_{cl}: دما لباس ($°C$)

T_{cla}: دما مطلق لباس (K)

T_{dp}: دمای نقطه شبنم ($°C$)

T_{ra}: دمای متوسط تابشی ($°C$)

T_{r-avg}: متوسط دمای تابشی ($°C$)

T_{skr}: دمای مطلوب پوست جهت رسیدن به شرایط آسایش ($°C$)

t: زمان (s)

v_z : سرعت باد محلی (m/s)

W: تلفات حرارتی در اثر انجام کار (W/m^2)

نمادهای یونانی

α: ضریب جذب

ε: ضریب صدور

σ: ثابت استفان- بولتزمن

ρ: چگالی (kg/m^3)، ضریب بازتابش

τ: ضریب عبور

زیرنویس‌ها:

c, ext: مربوط به انتقال حرارت جابجایی با هوای محیط

f: مربوط به انتقال حرارت جابجایی اجباری

inf: نفوذ

gnd: مربوط به زمین

n: مربوط به انتقال حرارت جابجایی طبیعی

s: سطح

sys: مربوط به سیستم

z: zone

∞: مربوط به هوای محیط

مقدمه:

ایجاد محیطی سالم و مطبوع برای زندگی در فصول مختلف سال از دیرباز مورد توجه بشر بوده است. یکی از دستاوردهای مهم علوم و تکنولوژی جدید، استفاده از سیستم های تهویه مطبوع جهت تامین شرایط آسایش حرارتی است. البته تهویه مطبوع دارای سابقه تاریخی طولانی می‌باشد؛ به عنوان مثال در روم باستان با عبور دادن آب قنات‌ها از میان کانال‌هایی که در جداره برخی ساختمان‌ها تعبیه شده بود، اقدام به خنک کردن ساختمان می‌کردند. در قرون وسطی در ایران با استفاده از مخازن آب و بادگیرها نیاز برودتی فضا در طول فصول گرم سال را تأمین می‌کردند. نیاز به سیستم‌های تهویه مطبوع پیشرفته با پیشرفت علم شیمی در قرن نوزدهم میلادی شدت گرفت و نخستین سیستم تهویه مطبوع الکتریکی در ابعاد بزرگ در سال ۱۹۰۲ توسط Willis Haviland Carrier ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه افراد بیش از نود درصد وقت خود را در محیط‌های بسته مانند کارخانجات، مجتمع‌های مسکونی و وسایل نقلیه می‌گذرانند، روز به روز ضرورت دستیابی به سیستم‌های حرارتی و برودتی به منظور ایجاد شرایط سالم و مطبوع در ساختمان‌ها محسوس‌تر می‌گردد.

از طرف دیگر ساختمان‌ها یکی از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در جهان می‌باشند. حدود ۴۰٪ از کل انرژی در این بخش مصرف می‌شود و از این میان حدود ۴۵٪ انرژی مصرفی، صرف سرمایش و گرمایش فضا می‌گردد. البته این رقم از جامعه‌ای به جامعه دیگر با توجه به فرهنگ افراد و سبک زندگی آن‌ها اندکی متفاوت است، اما به طور کلی بین ۳۰ تا ۴۰ درصد تقاضای انرژی مربوط به بخش ساختمان است. از سوی دیگر آگاهی از محدودیت منابع انرژی در دنیا باعث شده‌است که امروزه به موضوع استفاده بهینه از منابع انرژی توجه بیشتری شود. در این راستا وضع قوانین سختگیرانه در مصرف انرژی و الزامات اجرایی ساخت و ساز، مانند عایقکاری، مصرف انرژی در بخش ساختمان را تا حدی تعدیل نموده است. همچنین استفاده از موادی با کیفیت بهتر و مقاومت حرارتی بالاتر و استفاده از پنجره های چند لایه، بار حرارتی و برودتی وارد بر ساختمان ها را کاهش داده است.

با شروع بحث صرفه‌جویی در مصرف انرژی در سال ۱۹۷۰ ، پیشرفت‌های چشمگیری در این خصوص حاصل شد؛ اما مشکلاتی هم پدیدار شد که از آن جمله می‌توان به زوال کیفیت هوای داخل اشاره نمود. در حقیقت صرفه‌جویی در مصرف انرژی با ساختمان‌هایی با هوای مریض معنی شد. بحث آسایش حرارتی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی دو موضوع مهمی هستند که اغلب در تضاد با یکدیگر عمل می کنند. به عبارت دیگر بهبود کیفیت هوای داخل، معمولا مصرف انرژی بیشتر را به دنبال دارد.

یکی دیگر از مسائلی که در جهت بهبود شرایط آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی باید مد نظر قرار گیرد، سازگاری سیستم تهویه مطبوع با شرایط آب و هوایی و همچنین شیوه زندگی و فرهنگ

افراد است. اساس عملکرد برخی از سیستم های تهویه مطبوع بـا شـرایط آب و هـوایی بعضـی منـاطق سازگاری ندارد؛ بنابراین انتخاب نادرست یک سیستم تهویه مطبوع، ضمن تحمیل هزینه اضافی، آسایش حرارتی را نیز مختل می کند. همچنین سبک زندگی افراد جامعه ای ممکن است با یک سیستم حرارتی یا برودتی سازگاری لازم را نداشته باشد و آسایش حرارتی افراد تامین نشود، در حالی که استفاده از همان سیستم برای افرادی با شیوه زندگی و عادات متفاوت مطبوع باشد.

در یک تقسیم‌بندی کلی، سیستم‌های تهویه مطبوع ساختمان را می‌توان به سیستم‌های تابشـی و سیستم‌های جابجایی تقسیم نمود. به طور کلی سیستمی که مکانیزم تشعشع بـیش از ۵۰٪ در انتقـال حرارت نقش داشته باشد، یک سیستم تابشی محسوب می‌شود. سیستم‌های تهویه مطبوع جابجایی اعم از طبیعی و اجباری، انرژی حرارتی را عمدتاً از طریق مکانیزم جابجایی به محیط تحت تهویه تحویل مـی-دهند (گرمایش) و یا از آن دریافت می‌کنند (سرمایش). رادیاتورها، فن‌کویل‌ها و هواسازها در زیر مجموعه سیستم‌های جابجایی قرار می‌گیرند. سیستم‌های تابشی به دو گروه سیستم‌های تابشی دمـا بـالا و دمـا پایین تقسیم می‌شوند. در سیستم‌های تابشی دما بالا که فقط به منظور گرمایش مورد استفاده قرار می-گیرند، از یک تابشگر با دمای زیاد جهت تأمین نیاز حرارتی فضا بهره‌گیری می‌شود؛ این سیسـتم‌هـا در تهویه فضاهای مسکونی کاربردی ندارند و اغلب در مورد سالن های ورزشی و کارگاه ها بکار می روند. در مورد سیستم‌های تابشی دما پایین استفاده از یک سطح نسبتاً وسیع جهت تبادل حرارت با محیط، باعث شده است تا اختلاف به نسبت اندکی میان سطح تبادل کننده و هوای داخل فضا بوجود آید.

ایجاد شرایط آسایش حرارتی مطلوب و مصرف انرژی کم باعث شده است که استفاده از سیستمهای سرمایش و گرمایش تابشی روز به روز بیشتر مورد توجه قرار گیرند. این امر وقتی قوت می‌گیرد که به این نکته توجه داشته باشیم که ایجاد شرایط آسایش حرارتی و صـرفه جـویی در مصـرف انـرژی معمـولاً دو پارامتری هستند که با یکدیگر در تضادند و غالباً رسیدن به یکی باعث فاصله گرفتن از دیگری می شود. اما سیستمهای تابشی هم آسایش حرارتی و هم صرفه جویی در مصرف انرژی را بصورت توأمان و تا حد قابل قبولی تأمین می نمایند ولی تا حدی کیفیت هوا در این سیستمها پایین تر خواهد بـود. تحقیقـات انجـام گرفته در زمینه سیستم‌های سرمایش تابشی در ایالات متحده، به طـور متوسـط کـاهش ۳۰ درصـدی مصرف انرژی نسبت به سیستم‌های جابجایی را نشان می‌دهد؛ البته درصد این کاهش بسته به شرایط آب و هوایی متغیر و از ۱۷٪ در مناطق معتدل و مرطوب به ۴۲٪ در مناطق گرم و خشک متغیر است.

این کاهش در مصرف انرژی به واسطهٔ افزایش دمای مورد پذیرش جهت آسایش افراد در این سیستم هاست. زیرا انتقال حرارت میان سقف سرد و سر افراد مستقیماً توسط مکانیزم تابش صـورت مـی گیـرد.

همچنین قسمتی از این کاهش مصرف مربوط به افزایش کارآیی چیلر برای تأمین آب ورودی پنل به دلیل افزایش دمای آب ورودی است [۱]. احساس آسایش حرارتی ناشی از سرمایش سقفی مطلوب‌تر از سایر سیستم‌های سرمایشی معمول گزارش شده است[۲]. همچنین ثابت شده است که پدیدهٔ تابش نامتقارن در سرمایش سقفی معمولاً شرایط آسایش حرارتی را بر هم نمی زند و نارضایتی شدید ایجاد نمی کند. گرادیان عمودی دما نیز در سرمایش سقفی عامل مشکل سازی در ایجاد عدم آسایش حرارتی نیست[۳].

سیستم‌های تابشی دما پایین به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته نخست سیستم‌هایی هستند که المان‌های تولید و یا جذب حرارت در داخل جداره‌های فضا که می‌تواند کف، سقف و یا دیواره‌ها باشد تعبیه (دفن) می‌گردد. المان‌های ذکر شده می‌توانند کانال‌های حامل هوای سرد یا گرم، مقاومت‌های الکتریکی جهت گرمایش و یا لوله‌های حاوی آب گرم یا سرد باشند. دسته دوم سیستم‌های گرمایش و سرمایش پنلی هستند که در آن‌ها از آب به عنوان سیال عامل استفاده می‌شود. این پنل‌ها قابلیت نصب بر روی سقف و دیواره‌ها را دارا می‌باشند. پنل‌های تابشی سقفی عمدتاً به منظور سرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی در گرمایش نیز کاربرد دارند[۳].

پنلهای سرمایش تابشی سقفی اولین بار بطور جدی در کشورهای اروپایی مورد توجه، تحقیق و بررسی قرار گرفت و به مرور به یکی از جایگزین‌های محبوب برای سیستمهای سنتی سرمایش مخصوصاً در شمال غرب اروپا (که آب و هوای نسبتاً خشک و معتدلی دارند) تبدیل شد؛ هر چند هنوز هم این سیستم-ها نتوانسته‌اند به بازار ایالات متحده نفوذ کنند. این امر ناشی از تصورات سنتی منفی نسبت به این سیستم‌ها به دلیل مشکل میعان، نشت آب و هزینهٔ بالا می باشد. در دههٔ نود میلادی پیشنهاد استفاده از یک سیستم جابجایی هوای مستقل در کنار سیستم‌های تابشی جهت جلوگیری از پدیدهٔ میعان موجب شد تا توجه به سیستم پانلهای سرمایشی رو به گسترش گذارد. [۴]

در هرصورت باید توجه داشت که این سیستم‌ها نیز همانند سایر سیستم‌های تهویه مطبوع دارای معایبی هستند و باید با توجه به پارامترها و عوامل مختلف در مورد استفاده یا عدم استفاده از این سیستم-ها تصمیم گرفت.

فصل ۱ مروری بر سیستم‌های تابشی

۱ ـ۱ -معرفی سیستم‌های تابشی

با توجه به اینکه افراد بیش از نود درصد وقت خود را در محیط‌های بسته مانند کارخانجات، فضاهای مسکونی و وسایل نقلیه می‌گذرانند، روز به روز ضرورت دستیابی به سیستم های حرارتی و برودتی به منظور ایجاد شرایط سالم و مطبوع در ساختمان‌ها محسوس‌تر می‌گردد. این امر باعث شده‌است تا تجهیزات و نیز دانش تهویه مطبوع، گسترش چشمگیری یابد. مهندسین و طراحان سیستم‌های تهویه مطبوع، تلاش کرده‌اند که با ایده‌های جدید، باعث بهینه‌سازی این سیستم‌ها شوند. بدیهی است که عملاً سیستمی بهینه خواهد بود که تعادل قابل قبولی میان پارامترهای مصرف انرژی (هزینه های اقتصادی) و ایجاد شرایط آسایش برقرار کرده باشد. با توجه به این موضوع که مصرف انرژی و آسایش حرارتی اغلب در تضاد با یکدیگر عمل می‌کنند، ایجاد تعادل مورد نظر معمولاً با دشواری‌هایی همراه بوده و نیازمند تحقیق و آزمایش می‌باشد.

امروزه طرح‌ها و ایده‌های بسیار متنوعی، در زمینهٔ تهویه مطبوع ساختمان‌ها موجود است. که البته هر یک، مزایا و معایب خاص خود را دارد. مهندسین تهویه مطبوع، می‌بایستی با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی و با در نظر گرفتن تمامی جوانب، بهترین سیستم را برای تهویه مطبوع ساختمان برگزینند. سیستم‌های گرمایش و سرمایش تابشی نیز نمونه‌ای از سیستم‌های تهویه مطبوع هستند که اخیراً بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

برای پی بردن به دلیل استفاده روزافزون از سیستم‌های گرمایش و سرمایش تابشی، تفاوت‌های موجود میان این سیستم‌ها و سیستم‌های متداول تهویه باید مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی، سیستم-های تهویه مطبوع ساختمان را می‌توان به سیستم‌های تابشی و سیستم‌های جابجایی تقسیم نمود. بنا به تعریف سیستمی که مکانیزم تشعشع بیش از ۵۰٪ در انتقال حرارت میان سیستم و فضای تحت تهویه نقش داشته باشد، یک سیستم تابشی محسوب می‌شود. سیستم‌های تهویه مطبوع جابجایی اعم از طبیعی و اجباری، انرژی حرارتی را عمدتاً از طریق مکانیزم همرفت به محیط تحت تهویه تحویل می‌دهند