بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مجید مشهودی فلاح پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان تحلیل تجربی سیستم سرمایش تابشی سقفی از نظر پارامترهای آسایش حرارتی با منابع مختلف تامین آب سرد در تاریخ ١٣٩٠/٧/٢٦ 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 مهدی معرفت	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر قاسم حیدری نژاد	استاد	
استاد ناظر	دکتر علی جعفریان	استادیار	
استاد ناظر	دکتر فرشاد کوثری	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر قاسم حیدری نژاد	استاد	

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 تاریخ۱۳۸۴/۴/۲۵ 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: مجید مشهودی فلاح

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 دررشته‌مهندسی مکانیک است که در سال۱۳۹۰ در دانشکده‌فنی و مهندسی‌دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب‌آقای‌دکترمهدی 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.

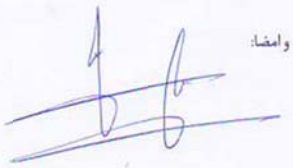
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

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 مجید مشهودی فلاح دانشجوی رشته‌مهندسی مکانیک مقطع‌کارشناسی ارشدتعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:مجید مشهودی فلاح

تاریخ و امضا:



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

تحلیل تجربی سیستم سرمایش تابشی سقفی از نظر پارامترهای آسایش حرارتی با منابع مختلف تأمین آب سرد

مجید مشهودی فلاح

استاد راهنما

دکتر مهدی معرفت

مهر ۱۳۹۰

تقدیم با عشق به

مادر و پدر عزیزتر از جانم

و خواهران و برادران عزیزم

تقدیر و تشکر:

با سپاس و تقدیر فراوان از زحمات استاد محترم جناب آقای دکتر مهدی معرفت که با رهنمودهای ارزشمند خود همواره مرا مورد لطف خود قرار داده‌اند.

از اعضای خانواده‌ام،که یاد آنها در دلم همواره سبب آرامش روحم بوده، صمیمانه تشکر کرده و دست یکایک آنها را می‌بوسم.

همچنین از تمامی تلاش‌ها و همفکری‌های آقایان دکتر ذوالفقاری، ایمانی و همچنین از دوستان خوبم آقایان پیرهادی، فرهادی‌پور، حسینی، داوری، نیموری، فلاح، علیپور و تمامی آنان که حتی اندکی به من آموختند کمال تشکر را دارم.

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

چکیده

سیستم سرمایش تابشی سقفی به دلیل فراهم آوردن آسایش حرارتی مطلوب با مصرف انرژی کم، امروزه مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. پدیده میعان بخارها آب موجود در هوا بر روی پانل‌های سرمایش سقفی یکی از عمده‌ترین اشکالاتی است که این سیستم‌ها با آن مواجه هستند. در این تحقیق به بررسی تجربی سیستم سرمایش تابشی سقفی از نظر پارامترهای آسایش حرارتی با منابع مختلف تأمین آب سرد در شرایط آب و هوایی شهر تهران پرداخته شده است. از ۳ منبع چیلر تراکمی، برج خنک‌کن و کولر آبی به صورت جداگانه برای تأمین آب مورد نیاز پانل‌های سقفی استفاده می‌شود. برای برآورد آسایش حرارتی داخل اتاق از معیار آسایش فنگر استفاده و پارامتر PMV به کمک داده‌های تجربی محاسبه می‌شود. پارامترهایی همچون دبی آب، دمای آب خروجی و ورودی پانل، دمای سطح پانل، رطوبت و دمای هوای داخل و خارج و دمای متوسط تابشی در فواصل زمانی ۵ دقیقه به صورت تجربی اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند. داده های تجربی نشان می‌دهد گرادیان عمودی دمای هوا در سیستم سرمایش سقفی با هریک از منابع کمتر از $۱\frac{^{o}\mathrm{C}}{m}$ می‌باشد. بیشترین اختلاف دما هوای اتاق و دمای متوسط تابشی ۰/۹°C به دست آمده است. مشاهده می‌شود که با کاهش رطوبت هوای داخل اتاق و کنترل دمای سطح پانل می‌توان احتمال پدیده میعان بر روی پانل سرد را به حداقل رساند. برای بررسی مصرف انرژی منابع مختلف تأمین آب سرد با توجه به توان برودتی منتقل شده از پانل‌های سقفی پارامتری به نام ضریب کارایی تعریف شده است. کولر آبی وسیله سرمایشی ارزان قیمت و متداول در اکثر مناطق شهر تهران می‌باشد. در این تحقیق به امکان سنجی استفاده از آب جمع‌شده در کف کولر آبی برای سیستم سرمایش سقفی پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از هریک از منابع تأمین آب سرد برای سیستم سرمایش سقفی مزیت‌ها و معایبی از نظر ایجاد شرایط آسایش حرارتی و ضریب کارایی منبع تأمین آب سرد دارند.

کلمات کلیدی: سرمایش سقفی تابشی، تجربی، آسایش حرارتی، منابع تأمین آب سرد، اقلیم تهران

فهرست

چکیده ..... **أ**

فهرست علائم ..... **ج**

فهرست شکل ها ..... **د**

فهرست جدول ها ..... **ز**

فصل ۱ – مروری بر سیستم‌های سرمایش تابشی **۱**

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- سرمایش سقفی تابشی ۲

۱-۳- مزایای سیستم‌های سرمایش تابشی سقفی ۶

۱-۴- معایب سیستم سرمایش تابشی سقفی ۷

۱-۵- مروری بر تحقیقات پیشین ۹

۱-۶- اهداف تحقیق ۱۲

فصل ۲ – تحلیل آسایش حرارتی و معادلات حاکم **۱۴**

۲-۱- مدل‌سازی آسایش حرارتی ۱۴

۲-۱-۱- مدل فنگر ۱۵

۲-۲- مصرف انرژی منابع ۲۱

۲-۳- عدم قطعیت ۲۳

۲-۳-۱- برآورد عدم قطعیت ۲۳

فصل ۳ – شرح راه اندازی سیستم سرمایش تابشی سقفی **۲۷**

۳-۱- اتاق آزمایش ۲۷

۳-۱-۱- معرفی اتاق تست ۲۷

۳-۱-۲- پانل‌های سرمایش سقفی ۳۰

۳-۱-۳- منابع آب سرد و نحوه‌ی کنترل آن‌ها ۳۱

۳-۲- وسایل اندازه گیری ۳۶

فصل ۴ – تحلیل نتایج و بررسی عملکرد سیستم سرمایش تابشی سقفی **۳۸**

فصل ۵ – نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات **۶۶**

۵-۱- خلاصه نتایج و جمع‌بندی ۶۷

۵-۲- ارائه پیشنهادات کاربردی ۷۱

۵-۳- موضوعات قابل پژوهش در آینده ۷۲

منابع **۷۳**

فهرست علائم

M	نرخ متابولیک یا تولید حرارت در بدن (W/m^2)	PMV	شاخص آسایش حرارتی
W	نرخ کار مکانیکی (W/m^2)	PPD	درصد نارضایتی افراد
q_{res}	نرخ انتقال حرارت به دلیل تنفس (W/m^2)	P_v	فشار بخار (Pa)
C_{res}	انتقال حرارت جابجایی به دلیل تنفس (W/m^2)	t_{dp}	دمای نقطه شبنم (°c)
E_{res}	انتقال حرارت تبخیر در تنفس (W/m^2)	RH	رطوبت نسبی
q_{sk}	نرخ انتقال حرارت از پوست (W/m^2)	$Q_{electrical}$	توان الکتریکی مصرفی منابع (W)
K_{sk}	انتقال حرارت توسط هدایت از پوست (W/m^2)	V	ولتاژ مصرفی (V)
C_{sk}	انتقال حرارت توسط جابجایی از پوست (W/m^2)	I	جریان مصرفی (A)
R_{sk}	انتقال حرارت توسط تابش از پوست (W/m^2)	$Q_{ceiling}$	توان برودتی انتقالی از پانل‌ها (W)
E_{sk}	انتقال حرارت توسط تبخیر از پوست (W/m^2)	m_w	دبی جریان آب (lit/min)
S	ترم ذخیره انرژی در بدن (W/m^2)	Cp	ظرفیت گرمای ویژه(j/kg.k)
I_{cl}	میزان عایق بندی لباس (Clo)	ΔT_w	اختلاف دمای خروجی و ورودی پانل
t_a	دمای هوا (°c)	P_f	ضریب کارایی
T_{mrt}	دمای متوسط تابشی (°c)	$\frac{Q_{tot}}{A}$	شار حرارتی کلی (W/m^2)
p_a	فشار هوا (Pa)	$\frac{Q_r}{A}$	شار حرارتی تشعشعی (W/m^2)
V	سرعت جریان هوا (m/s)	$\frac{Q_c}{A}$	شار حرارتی جابجایی (W/m^2)
t_{cl}	دمای سطح لباس (°c)	h_{tot}	ضریب انتقال حرارت کلی
f_{cl}	فاکتور لباس	h_r	ضریب انتقال حرارت تشعشعی
T_N	دمای سطوح (K)	h_c	ضریب انتقال حرارت جابجایی
F_{P-i}	ضرایب دید	T_{op}	دمای کارکرد (°c)

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱- سیستم سرمایش سقفی: (الف) نمونه آزمایشگاهی[4]، (ب) نمونه کاربردی[5]..... ۳

شکل ۱-۲- انواع پانل‌های سقفی: (الف) نمونه تخت و مارپیچ، (ب) نمونه پره دار[5]..... ۴

شکل ۳-۱- نمای سه بعدی اتاق تست ۲۸

شکل ۳-۲- نمای بالا و جانبی اتاق تست..... ۲۸

شکل ۳-۳- نحوی اتصال پانل‌ها به سقف و عایق‌کاری آن‌ها ۳۰

شکل ۳-۴- طرز قرارگیری پانل‌ها درون فضای اتاق..... ۳۱

شکل ۳-۵- لوله کشی منابع آب سرد و نحوه‌ی اتصال آن‌ها به پمپ خطی، کلکتور و سپس پانل‌های سرمایشی ۳۲

شکل ۳-۶- منبع تأمین آب سرد: چیلر تراکمی ۳۳

شکل ۳-۷- منبع تأمین آب سرد: برج خنک‌کن و کولر آبی..... ۳۴

شکل ۳-۸- کلکتور رفت و برگشت به پانل‌های سقفی..... ۳۵

شکل ۳-۹- وسایل اندازه گیری مورد استفاده..... ۳۶

شکل ۴-۱: تغییرات دمای هوای داخل اتاق و هوای بیرون در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف : (الف) کولر آبی در خردادماه ، (ب) کولر آبی در تیر ماه ، (ج) برج خنک کن ، (د) چیلر در دمای ۱۵°c ، (ه) چیلر در دمای ۱۰° c ، (و) چیلر در دمای ۵° c..... ۴۱

شکل ۴-۲- تغییرات رطوبت هوای داخل اتاق و هوای بیرون در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف : (الف) کولر آبی در خردادماه، (ب) کولر آبی در تیر ماه ، (ج) برج خنک کن، (د) چیلر در دمای ۱۵°c، (ه) چیلر در دمای ۱۰° c، (و) چیلر در دمای ۵° c..... ۴۲

شکل ۴-۳- تغییرات دمای سطح پانل و دمای آب ورودی و خروجی از پانل در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف: (الف) کولر آبی در خردادماه، (ب) کولر آبی در تیرماه، (ج) برج خنک کن، (د) چیلر در دمای ۱۵°c ، (ه) چیلر در دمای ۱۰° c، (و) چیلر در دمای ۵° c ۴۴
شکل ۴-۴- تغییرات دمای آب ورودی به سیستم و دمای تر هوای بیرون در طول شبانه روز توسط : (الف) کولرآبی درخرداد ماه، (ب) کولر آبی در تیر ماه ، (ج) برج خنک کن ۴۶
شکل ۴-۵- تغییرات دمای هوا و دمای متوسط تابشی درون فضای اتاق در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف: (الف) کولر آبی در خردادماه، (ب) کولر آبی د تیر ماه ، (ج) برج خنک کن، (د) چیلر در دمای ۱۵°c، (ه) چیلر در دمای ۱۰°c، (و) چیلر در دمای ۵°c ۴۸
شکل ۴-۶- تغییرات دمای سطح پانل و نقطه شبنم درون فضای اتاق در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف : (الف) کولر آبی در خردادماه، (ب) کولر آبی در تیر ماه، (ج) برج خنک کن ، (د) چیلر در دمای ۱۵°c ، (ه) چیلر در دمای ۱۰°c ، (و) چیلر در دمای ۵°c ۴۹
شکل ۴-۷- تغییرات PMV داخل اتاق در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف : (الف) کولر آبی در خردادماه ، (ب) کولر آبی در تیر ماه ، (ج) برج خنک کن ، (د) چیلر در دمای ۱۵°c ، (ه) چیلر در دمای ۱۰°c ، (و) چیلر در دمای ۵°c ۵۱
شکل ۴-۸- تغییرات PPD داخل اتاق در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف : (الف) کولر آبی در خردادماه ، (ب) کولر آبی در تیر ماه ، (ج) برج خنک کن ، (د) چیلر در دمای ۱۵°c ، (ه) چیلر در دمای ۱۰°c ، (و) چیلر در دمای ۵°c ۵۲
شکل ۴-۹- اثر (الف) تغییرات سرعت ، (ب) میزان پوشش لباس افراد ، (ج) نرخ فعالیت بدنی افراد بر روی PMV در طول شبانه روز توسط چیلر در دمای ۱۰° c ۵۶
شکل ۴-۱۰- تغییرات توان برودتی منتقل شده از پانل ها و متوسط مصرف انرژی الکتریکی در طول شبانه روز با منابع مختلف آب سرد : (الف) کولرآبی در خرداد ماه ، (ب) کولر آبی در تیر ماه ، (ج) برج خنک کن ، (د) چیلر در دمای ۱۵°c، (ه) چیلر در دمای ۱۰° c ، (و) چیلر در دمای۵° c ۵۸

شکل ۴-۱۱- تغییرات توان برودتی منتقل شده از پانل ها و مصرف انرژی الکتریکی لحظه ای در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف : (الف) چیلر در دمای $15^{\circ}c$ ، (ب) چیلر در دمای $10^{\circ}c$ ، (ج) چیلر در دمای $5^{\circ}c$ ۵۹

شکل ۴-۱۲- تغییرات ضریب کارایی منابع تأمین آب سرد در طول شبانه روز : (الف) کولر آبی در خردادماه، (ب) کولر آبی در تیر ماه ، (ج) برج خنک کن ، (د) چیلر در دمای $15^{\circ}c$ ، (ه) چیلر در دمای $10^{\circ}c$ ، (و) چیلر در دمای $5^{\circ}c$ ۶۱

شکل ۴-۱۳- تغییرات شار حرارتی منتقل شده از پانل ها در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف : (الف) کولر آبی در خردادماه ، (د) چیلر در دمای $10^{\circ}c$ ۶۳

شکل ۴-۱۴- تغییرات دمای هوای داخل اتاق بر حسب ارتفاع اتاق در طول شبانه روز با منابع آب سرد مختلف : (الف) کولر آبی در خردادماه ، (د) چیلر در دمای $10^{\circ}c$ ۶۳

شکل ۴-۱۵- تغییرات PMV درون فضای اتاق بر حسب دمای تر هوای بیرون با منابع آب سرد مختلف : (الف) کولر آبی در خردادماه ، (ب) کولر آبی در تیر ماه ، (ج) برج خنک کن ، (د) چیلر در دمای $15^{\circ}c$ ، (ه) چیلر در دمای $10^{\circ}c$ ، (و) چیلر در دمای $5^{\circ}c$ ۶۵

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱- ضرایب پوشش k به ازای درجه آزادی و سطح اطمینان..... ۲۵

جدول ۳-۱- جنس، ابعاد و رسانایی هر یک از لایه‌های اتاق..... ۲۹

جدول ۳-۲- دقت نمایش و محدوده خطا دستگاههای اندازه گیری..... ۳۷

جدول ۴-۱- تغییرات دما و رطوبت هوای بیرون و داخل اتاق..... ۴۳

جدول ۴-۲- متوسط دمای آب ورودی و دمای سطح پانل در طول شبانه روز ۴۵

جدول ۴-۳- ماکزیمم اختلاف دمای هوا و دمای متوسط تابشی در طول شبانه روز ۵۰

جدول ۴-۴- محدوده PMV و PPD داخل اتاق در طول شبانه روز ۵۳

جدول ۴-۵- مقادیر توان برودتی منتقل شده از پانل ها و متوسط مصرف انرژی الکتریکی بر حسب وات در طول شبانه روز..... ۶۰

جدول ۴-۶- مقادیر متوسط و ماکزیمم ضریب کارایی منبع تأمین آب سرد سرمایش سقفی در طول شبانه روز..... ۶۲

جدول ۴-۷- دامنه تغییرات دمای تر هوای بیرون..... ۶۴

فصل ۱ - مروری بر سیستم‌های سرمایش تابشی

۱-۱- مقدمه

انسان در طول تاریخ برای ایجاد محیطی مطبوع و سالم به منظور زندگی بهتر و آسایش بیشتر تلاش های بسیاری را انجام داده است. در قرن های اخیر پیشرفت علم و تکنولوژی نیز باعث توسعه هرچه بیشتر علم تهویه مطبوع گردید و انسان برای ایجاد شرایط آسایش حرارتی[1] بهتر، روش های متنوعی برای تهویه ساختمان بکار برد که هریک معایب و مزایای خود رادارند. حال باید با در نظرگرفتن شرایط آب و هوایی مکان موردنظر، بهترین سیستم را برای تهویه مطبوع ساختمان انتخاب کرد.

به طور کلی سیستم‌های تهویه مطبوع ساختمان را می‌توان به دو دسته عمده تابشی و جابجایی تقسیم کرد. عملکرد سیستم‌های جابجایی، تبادل حرارت از طریق همرفت طبیعی یا اجباری و مطبوع ساختن دمای هوای اتاق برای ساکنان می‌باشد. سیستم‌های هواساز، انواع کولرها، فن کویل‌ها، رادیاتورها و بخاری‌ها جزء سیستم‌های همرفتی به حساب می‌آیند. مزیت اغلب این سیستم‌ها این است که علاوه بر ایجاد دمای مناسب برای محیط، با تأمین هوای تازه کیفیت هوای اتاق را در حد مطلوبی حفظ می‌کنند[۱].

در سیستم‌های تابشی مکانیزم اصلی انتقال حرارت به صورت تشعشع می‌باشد. اساس کار این سیستم‌ها، فراهم کردن سطوح وسیع با ایجاد اختلاف دمای اندک نسبت به دمای هوای داخل می‌باشد.

[1] Thermal Comfort

تبادل حرارتی در این گونه سیستم‌ها با سطوح وسیع تابشی، به منظور افزایش ضریب شکل سطوح، به صورت تابشی می‌باشد[2].

سطوح گرم یا سرد می‌تواند سقف، کف یا دیوار ساختمان باشد. از آب یا هوا می‌توان برای گرمایش یا سرمایش سطوح استفاده کرد. در برخی از سیستم‌های گرمایش تابشی از حرارت ایجاد شده توسط مقاومت‌های الکتریکی نیز استفاده می‌شود[3].

مصرف انرژی کم و ایجاد شرایط آسایش حرارتی مطلوب، دو پارامتر مهمی است که استفاده از سیستم‌های تابشی را بیشتر مورد توجه قرار داده است. این دو پارامتر معمولاً در تضاد با یکدیگر هستند و رسیدن به شرایط آسایش بهتر مستلزم مصرف انرژی بیشتر می‌باشد. اما سیستم‌های تابشی با مصرف انرژی کم، شرایط آسایش حرارتی خوبی را فراهم می‌کنند. البته کیفیت هوا در این سیستم‌ها به دلیل نبودن تجهیزات وزشی، نسبت به سیستم‌های جابجایی مقداری پایین‌تر است[۱].

از سیستم‌های تهویه تابشی هم برای سرمایش و هم برای گرمایش استفاده می‌شود. در سیستم‌های تابشی گرمایشی می‌توان به سیستم گرمایش از کف اشاره کرد که از آب گرم یا مقاومت‌های الکتریکی برای تأمین حرارت مورد نیاز سطوح خود استفاده می‌کند. در سیستم‌های تابشی سرمایشی همانند سیستم سرمایش سقفی معمولاً از آب سرد به عنوان سیال تغذیه استفاده می‌شود. به همین دلیل به آن سیستم سرمایش تابشی هیدرونیک[1] نیز گفته می‌شود. این سیستم با جذب بارهای حرارتی موجود در فضای اتاق باعث کاهش دمای سطوح، محیط اطراف و افراد می‌شود[3].

۱-۲- سرمایش سقفی تابشی[2]

اصلی‌ترین قسمت‌های سیستم سرمایش سقفی پانل‌های سقفی و منابع تأمین آب سرد می‌باشند. در شکل (۱-۱) نمونه آزمایشگاهی و کاربردی سیستم‌های سرمایش سقفی مشاهده می‌شود.

[1] Hydronic

[2] Radiant Ceiling Cooling

(ب) (الف)

شکل ۱-۱- سیستم سرمایش سقفی: (الف) نمونه آزمایشگاهی[4]، (ب) نمونه کاربردی[5]

در این‌گونه سیستم‌ها نیاز به اختلاف دمای زیادی بین سطوح تابشی و محیط اطراف نمی‌باشد. به همین خاطر می‌توان از برج خنک کن[1] یا کولر آبی[2] نیز برای تأمین آب سرد مورد نیاز استفاده کرد. برج خنک‌کن یک منبع سرمایشی با مصرف انرژی کم و قیمت مناسب می‌باشد. کولر آبی نیز یک وسیله متداول سرمایشی در اکثر مناطق ایران می‌باشد که معمولاً از هوای خنک تولید شده توسط آن برای سرمایش استفاده می‌شود. ولی در این تحقیق آب خنک جمع شده در کف کولر به عنوان سیال سرد به سطوح تابشی فرستاده می‌شود. برج خنک‌کن و کولر آبی هردو با مکانیزم سرمایش تبخیری می‌توانند آب را تا دمای حباب تر[3] محیط بیرون خنک کنند. در اقلیم‌هایی با رطوبت خیلی زیاد این منابع به دلیل بالا رفتن دمای حباب تر هوا توانایی خنک کردن آب را تا حد مطلوب ندارند. در این‌گونه اقلیم‌ها می‌توان از چیلر تراکمی[4] که مصرف انرژی بالاتری دارد، برای خنک کردن آب استفاده کرد.

مهم‌ترین قسمت سیستم‌های تابشی سقفی سطوحی هستند که در سقف نصب می‌شوند و دارای ضریب جذب بالا می‌باشند. پانل‌ها در انواع مختلف تخت[5] یا پره دار[6] ساخته می‌شوند. لوله‌ها با آرایش‌های

[1] Cooling Tower

[2] Evaporative Cooler

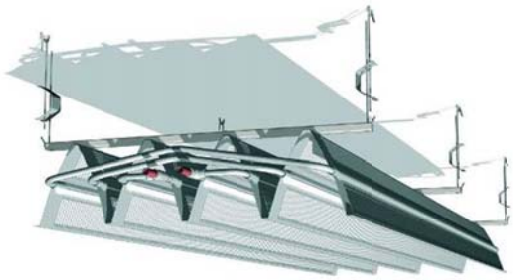
[3] Wet Bulb Temperature

[4] Vapor Compression Chiller

[5] Flat

[6] Fin

مختلف (مارپیچی، حلزونی، ...) در داخل سطوح یا بر روی آن به صورت پانل نصب می‌شوند. در شکل (۱-۲) دو نمونه از انواع پانل‌ها نمایش داده می‌شود.



(الف) (ب)

شکل ۱-۲- انواع پانل‌های سقفی: (الف) نمونه تخت و مارپیچ، (ب) نمونه پره دار[5]

حرارت توسط سازوکار هدایت از لوله‌ها به سطح و سپس عمدتاً از طریق تابش و تا حدودی توسط همرفت به فضای مورد نظر و افراد حاضر در آن منتقل می‌شود. نحوه اتصال لوله‌ها و سطح پانل از اهمیت زیادی برخوردار است. اتصال نادرست لوله‌ها به سطح پانل باعث کاهش انتقال حرارت بین لوله و سطوح تابشی و کاهش کارایی این سیستم‌ها می‌شود. میزان انتقال حرارت به فضای داخل به دمای آب ورودی، دبی آب ورودی، جنس لوله‌ها، فاصله بین لوله‌ها روی پانل، ضخامت و جنس عایق روی پانل‌ها و محل قرارگیری پانل‌ها (سقف، کف یا دیوار) دارد. در سرمایش سقفی سطح بالایی پانل که به سقف آویزان است، کاملاً عایق کاری می‌شود تا از اتلاف انرژی از سقف جلوگیری شود.

سیستم‌های سرمایش سقفی نسبت به سیستم‌های تهویه جابجایی حدود ۱۲ درصد مصرف انرژی کمتری دارند. این کاهش در مصرف انرژی به خاطر افزایش دمای مورد نیاز برای آسایش افراد در این‌گونه سیستم‌ها می‌باشد و دلیل آن این است که انتقال حرارت بین سر افراد و سقف سرد مستقیماً توسط مکانیزم تابش انجام می‌شود[6]. قسمتی از این کاهش مصرف نیز مربوط به منابع تولید آب سرد به خاطر افزایش دمای آب ورودی می‌باشد که امکان استفاده از منابع تولید آب سرد با مصرف انرژی کمتر همچون

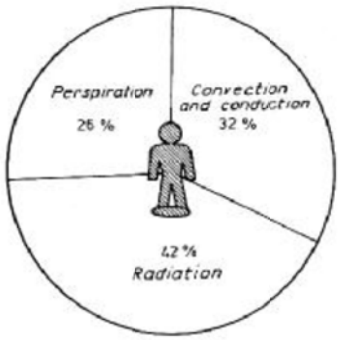
برج خنک کن یا کولر آبی و یا استفاده از چیلر در دمای کارکرد بالاتر را می‌دهد. تنظیم چیلر در دمای کاری بالاتر باعث استراحت بیشتر چیلر و در نتیجه مصرف انرژی کمتر آن می‌شود.

نارضایتی حرارتی موضعی باعث برهم خوردن شرایط آسایش حرارتی در فضای مورد نظر می‌شود. گرادیان عمودی دمای هوا، تابش نامتقارن[1]، کوران[2] و دمای غیر مجاز کف از عواملی هستند که باعث ایجاد نارضایتی حرارتی می‌گردند[۷]. سهم بالای تابش در انتقال حرارت توسط سیستم‌های تابشی، باعث بهبود شرایط آسایش حرارتی و از بین رفتن گرادیان عمودی دمای نامطلوب می‌گردد. از طرفی اختلاف دمای اندک بین سطوح تابشی و محیط باعث کاهش گرادیان عمودی دما می‌شود. به خاطر سرعت پایین جریان هوا در این سیستم‌ها امکان ایجاد کوران یا سرمایش موضعی در بدن انسان تا مقدار زیادی کاهش می‌یابد. پدیده تابش نامتقارن نیز به دلیل وسیع بودن سطوح تابشی، معمولاً شرایط آسایش حرارتی را برهم نمی‌زند و باعث نارضایتی شدید افراد نمی‌شود[8]. به دلیل استفاده از تجهیزات سرمایشی در سقف، کف دارای دمایی در محدوده مجاز می‌باشد و دمای کف باعث نارضایتی حرارتی موضعی نمی‌شود. در نتیجه احساس آسایش حرارتی ناشی از سرمایش سقفی نسبت به سایر سیستم‌های سرمایشی مطلوب‌تر گزارش شده و نارضایتی حرارتی موضعی افراد در سیستم‌های سرمایش سقفی بسیار کمتر است.

با توجه به اینکه سهم تابش در تبادل حرارت بدن در حدود ۴۲ درصد و بیشتر از سایر سازوکارهای انتقال حرارت است، سیستم‌های تابشی تطابق بهتری با فرایندهای انتقال حرارت بین بدن و محیط اطراف می‌توانند داشته باشند[3]. این مسئله در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.

[1] Asymmetric Thermal Radiation

[2] Draught



شکل ۱-۳- سهم هر یک از شیوه های انتقال گرما در تعادل حرارتی بدن[**9**].

سیستم‌های تابشی با توجه به ایجاد آسایش حرارتی مطلوب‌تر و مصرف انرژی کمتر به صورت همزمان یکی از گزینه های مناسب در انتخاب سیستم‌های سرمایشی هستند[۱]. البته سیستم‌های سرمایش سقفی مانند هر سیستم دیگر دارای محدودیت‌های طراحی و معایبی می‌باشد که در انتخاب این سیستم‌ها باید به آن توجه کرد.

۱-۳- مزایای سیستم‌های سرمایش تابشی سقفی

در این بخش به مهم‌ترین مزایای سیستم‌های سرمایش تابشی سقفی اشاره می‌گردد که دانستن این مشخصات برای طراحی سیستم مورد نظر ضروری می‌باشد.

- عدم وجود گرادیان عمودی دمای زیاد و اینکه تطابق قابل قبولی میان توزیع عمودی دمای اتاق در سیستم‌های تابشی و توزیع ایده آل به دلیل بالاتر بودن دمای سطوح تابشی نسبت به سیستم‌های وزشی و نزدیک‌تر بودن به دمای محیط اتاق، وجود دارد[8].
- ایجاد شرایط آسایش حرارتی مطلوب‌تر به دلیل اینکه مکانیزم غالب انتقال حرارت در این سیستم‌ها تابش بوده و تطابق بهتری با سازوکارهای انتقال حرارت بدن انسان دارد[3].
- کاهش ۱۲ درصدی مصرف انرژی نسبت به سیستم‌های تهویه جابجایی به خاطر دمای کاری بالاتر این سیستم‌ها می‌باشد. به دلیل کاهش میزان نفوذ و خروج هوا میزان اتلاف حرارتی در