

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

بهینه سازی عملکرد سیستم قرنیزی با تحلیل همزمان مصرف انرژی و آسایش حرارتی

بهمن سخاوتمند

استاد راهنما:

دکتر سید علیرضا ذوالفقاری

مهر ماه ۱۳۹۲

تاییدیه هیات داوران

تقدیم به ...

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپر
بلای مشکلات و ناملايمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام، برسم.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر حضرت محمد (ص) و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ" : از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یآوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛ و نیز از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر سید علیرضا ذوالفقاری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، کمال تشکر را دارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

سیستم قرنیزی به دلیل توزیع یکنواخت حرارتی و پایین بودن دمای آب تغذیه ورودی، امروزه مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در این تحقیق به بررسی عملکرد سیستم قرنیزی با تحلیل همزمان مصرف انرژی و آسایش حرارتی پرداخته شده است. مدلسازی‌های پژوهش حاضر توسط نرم افزار ایرپک در شرایط گرمترین و سردترین روز سال برای ساختمان نمونه شماره ۶۰۰ استاندارد تاسیساتی اشری ۱۴۰ با توجه به شرایط اقلیمی شهر تهران صورت پذیرفته است. هدف از این پژوهش، ارزیابی عملکرد سیستم قرنیزی تحت شرایط حرارتی مختلف با در نظر گرفتن تاثیر نفوذ هوا از طریق درزهای پنجره و همچنین بررسی امکان استفاده از این سیستم جهت سرمایه‌اش اتاق، می‌باشد. میزان حرارت خروجی از سیستم قرنیزی به اندازه‌ای تعیین شده است که بتواند شرایط آسایش حرارتی در محیط اتاق را تأمین کند. نتایج حاصل از این مدلسازی نشان داده است که سیستم قرنیزی توانایی ایجاد توزیع یکنواخت دما در سراسر فضای نمونه را دارد و این سیستم با متوسط دمای ۴۳ درجه سلسیوس و همچنین با دمای هوای خارج ۱۰- درجه سلسیوس، طبق استاندارد اروپایی دین نارضایتی کمتر از ۲۰٪ را به عنوان معیار آسایش حرارتی معرفی می‌کند، می‌توان در اقلیم‌هایی با دمای هوای خارج ۱۰- درجه سلسیوس، از این سیستم استفاده نمود. همچنین این سیستم امکان سرمایه‌اش با متوسط دمای ۱۰ درجه سلسیوس در فضای نمونه ۶۰۰ استاندارد اشری، بدون درنظر گرفتن اثرات تشعشی خورشید و دمای هوای بیرون ۳۵ درجه سلسیوس را فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سیستم قرنیزی، آسایش حرارتی، مصرف انرژی.

فهرست مطالب

(الف)	فهرست مطالب	
(ب)	فهرست علائم و نشانه‌ها	
(ج)	فهرست جدول‌ها	
(د)	فهرست شکل‌ها	
۱	فصل اول: مقدمه	۱
۱	۱-۱. مقدمه	
۲	۲-۱. سیستم‌های تهویه مطبوع	
۴	۱-۲-۱. مزایای سیستم‌های تابشی دما پایین در مقایسه با سیستم‌های جابجایی	
۵	۲-۲-۱. معایب سیستم‌های تابشی دما پایین در مقایسه با سیستم‌های جابجایی	
۵	۳-۱. سیستم‌های قرنیزی	
۷	۴-۱. پیشینه تحقیق	
۸	۵-۱. ضرورت پژوهش	
۹	۶-۱. هدف پژوهش	
۱۰	فصل دوم: معادلات حاکم	۲
۱۰	۱-۲. نرم افزار Airpak	
۱۰	۲-۲. مدل سازی آسایش حرارتی	
۱۶	۳-۲. نارضایتی موضعی	
۱۶	۱-۳-۲. کوران	
۱۶	۲-۳-۲. کف گرم	
۱۷	۳-۳-۲. تابش نامتقارن	
۱۷	۴-۳-۲. اختلاف دمای عمودی هوا	
۱۸	۴-۲. معادلات حاکم	

۱۹	۵-۲	مدلسازی تابش
۲۰	۶-۲	فضای نمونه
۲۴	۷-۲	اعتبار سنجی نرم افزار و معادلات حاکم
۲۸	۳	فصل سوم: بررسی نتایج
۲۸	۱-۳	بررسی پارامتریک مساله با وجود سیستم قرنیزی
۲۸	۱-۱-۳	بررسی تاثیر نفوذ هوا بر مصرف انرژی، آسایش حرارتی
۲۹	۱-۱-۱-۳	حالت گرمایش
۳۳	۲-۱-۱-۳	تغییرات دما
۳۷	۳-۱-۱-۳	تغییرات شاخص حرارتی و درصد نارضایتی افراد
۴۶	۲-۱-۳	تاثیر تقارن و عدم تقارن پانل‌ها
۴۹	۳-۱-۳	سرمایش سیستم قرنیزی
۵۱	۱-۳-۱-۳	تغییرات شاخص احساس حرارتی افراد و درصد نارضایتی
۶۰		فصل چهارم: جمع بندی و نتیجه گیری
۶۰	۱-۴	خلاصه نتایج
۶۲	۲-۴	پیشنهادات
۶۳		مراجع
۶۵		پیوست (الف). مدلسازی در نرم افزار ایرپک
۶۸		واژه‌نامه

فهرست علائم و نشانه‌ها

			A	مساحت، (m^2)
			C_p	ظرفیت گرمایی، ($J/kg \cdot ^\circ C$)
			$C_{1\varepsilon}$	ثابت تجربی، (بی بعد)
			$C_{2\varepsilon}$	ثابت تجربی، (بی بعد)
			$C_{3\varepsilon}$	ثابت تجربی، (بی بعد)
			C_μ	ثابت تجربی، (بی بعد)
			f_{cl}	فاکتور لباس، (بی بعد)
			F	ضریب دید، (بی بعد)
			g	شتاب جاذبه زمین، (m/s^2)
			G_k	نرخ تولید انرژی توربولانسی در اثر سرعت متوسط، ($\frac{kg}{ms^3}$)
			G_b	نرخ تولید انرژی توربولانسی در اثر شناوری، ($\frac{kg}{ms^3}$)
			h_c	ضریب انتقال حرارت، ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)
			I_{cl}	مقاومت حرارتی لباس، (clo)
			l_{mix}	طول اختلاطی، (m)
			M	نرخ متابولیک، ($\frac{W}{m^2}$)
			PMV	میانگین احساس حرارتی افراد، (بی بعد)
			PPD	درصد نارضایتی افراد، (%)
			Pr_t	عدد پرانتل توربولانسی، (بی بعد)
			p_a	فشار جزئی بخار، (Pa)
			k	ضریب هدایت حرارتی، ($W/m \cdot ^\circ C$)
			T	دما، ($^\circ C$)
			t	زمان، (s)
			u, v, w	مولفه سرعت در مختصات (x,y,z)، (m/s)
			V	سرعت، (m/s)
	علائم یونانی			
		α		کسر تجمع جرمی در ناحیه‌ی پوست، (بی بعد)
		α_ε		عدد پرانتل معادل معکوس برای انرژی k ، (بی بعد)
		α_k		عدد پرانتل معادل معکوس برای انرژی اتلافی ε ، (بی بعد)
		δ		عدد کرونیك، (بی بعد)
		ε		اتلاف انرژی توربولانسی، (m^2/s^3)
		μ		لزجت دینامیکی، ($N \cdot s/m^2$)
		μ_t		لزجت توربولانسی، ($N \cdot s/m^2$)
		ρ		چگالی، (kg/m^3)
		σ_k		عدد پرانتل آشفته، (بی بعد)
		σ_ε		عدد اشمیت آشفته، (بی بعد)
		Γ_t		ضریب پخش توربولانسی، ($\frac{W}{m^2 K^4}$)
	زیرنویس‌ها			
	هوا	a		
	فعالیت بدنی	act		
	میانگین	avg		
	مربوط به لباس	cl		
	حجم کنترل	CV		
	مربوط به کف اتاق	F		
	بردار یک‌ه در جهت مختصات x	i		
	ورود به حجم کنترل	In		
	بردار یک‌ه در جهت مختصات y	j		
	خروج از حجم کنترل	O		
	مربوط به انرژی جنبشی	K		

فهرست جدول‌ها

۲	جدول (۱-۱). سهم سازوکارهای مختلف در تبادل حرارت بدن با محیط در شرایط حرارتی متعارف
۱۴	جدول (۱-۲). مقیاس احساس حرارتی هفت نقطه‌ای (ISO ۷۷۳۰)
۱۵	جدول (۲-۲) نرخ متابولیک بر حسب نوع فعالیت
۲۱	جدول (۳-۲) اجزای تشکیل دهنده دیوار برای اتاق نمونه شماره ۶۰۰
۲۱	جدول (۴-۲) اجزای تشکیل دهنده سقف برای اتاق نمونه شماره ۶۰۰
۲۱	جدول (۵-۲) اجزای تشکیل دهنده کف برای اتاق نمونه شماره ۶۰۰
۲۲	جدول (۶-۲) اجزای تشکیل دهنده پنجره دوجداره برای اتاق نمونه شماره ۶۰۰
۲۵	جدول (۶-۲) موقعیت و ابعاد اتاق و دیگر تجهیزات

فهرست شکل‌ها

۶	شکل (۱-۱). نمایی از سیستم قرنیزی
۶	شکل (۲-۱). نحوه قرارگیری سیستم گرمایش قرنیزی در اتاق نمونه
۱۴	شکل (۱-۲). رابطه میان شاخص احساس حرارتی PMV و شاخص درصد نارضایتی افراد از محیط (PPD).
۲۰	شکل (۲-۲). نمایی از اتاق نمونه شماره ۶۰۰ استاندارد ۱۴۰ اشری
۲۴	شکل (۳-۲). نمایی از شبکه‌بندی در فضای نمونه در حالت گرمایش.
۲۴	شکل (۴-۲). نمایی از شبکه‌بندی در فضای نمونه در حالت سرماایش.
۲۶	شکل (۵-۲). طرحواره فضای نمونه در نظر گرفته شده در تحقیق پلوسکیک و هامبرگ
۲۶	شکل (۶-۲). مقایسه توزیع سرعت نتایج حاضر با نتایج پلوسکیک و هامبرگ در صفحه‌ی متقارن ($x=1/5m$)
۲۷	شکل (۷-۲). مقایسه توزیع دمایی نتایج حاضر با نتایج پلوسکیک و هامبرگ در صفحه‌ی متقارن ($x=1/5m$)
۲۷	شکل (۸-۲). طرحواره‌ای از صفحات تقارن، افقی و میانی
۳۰	شکل (۱-۳). احساس حرارتی افراد بر حسب اختلاف فشار هوای بیرون و داخل با توان حرارتی ثابت سیستم قرنیزی
۳۱	شکل (۲-۳). رابطه بین نرخ نفوذ هوا از درز پنجره و اختلاف فشار هوای بیرون و داخل
۳۲	شکل (۳-۳). رابطه بین نرخ نفوذ هوا از درز پنجره با دمای هوای بیرون
۳۳	شکل (۴-۳). میزان تغییر بار حرارتی لازم برای گرم کردن اتاق به کمک سیستم قرنیزی بر حسب اختلاف فشار هوای بیرون و داخل
۳۴	شکل (۵-۳). توزیع دما در صفحه‌ی تقارن ($x=4m$) با دمای هوای بیرون $-10^{\circ}C$
۳۵	شکل (۶-۳). توزیع دما در صفحه‌ی تقارن ($x=4m$) با دمای هوای بیرون $0^{\circ}C$
۳۵	شکل (۷-۳). توزیع دما در صفحه‌ی میانی ($z=3m$) با دمای هوای بیرون $-10^{\circ}C$
۳۶	شکل (۸-۳). توزیع دما در صفحه‌ی میانی ($z=3m$) با دمای هوای بیرون $0^{\circ}C$
۳۶	شکل (۹-۳). توزیع دما در صفحات میانی ($z=3m$) با دمای هوای بیرون $-10^{\circ}C$
۳۷	شکل (۱۰-۳). توزیع دما در خط راهنما به مختصات ($x=4m, z=5m$)
۳۸	شکل (۱۱-۳). توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y=0/1m$) با دمای هوای بیرون $-10^{\circ}C$
۳۹	شکل (۱۲-۳). توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y=0/1m$) با دمای هوای بیرون $0^{\circ}C$

۴۰	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/6 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 10°C -	شکل (۱۳-۳)
۴۰	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/6 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 0°C	شکل (۱۴-۳)
۴۱	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 1/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 10°C -	شکل (۱۵-۳)
۴۱	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 1/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 0°C	شکل (۱۶-۳)
۴۳	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 10°C -	شکل (۱۷-۳)
۴۳	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 0°C	شکل (۱۸-۳)
۴۴	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/6 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 10°C -	شکل (۱۹-۳)
۴۵	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/6 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 0°C	شکل (۲۰-۳)
۴۵	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 1/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 10°C -	شکل (۲۱-۳)
۴۶	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 1/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 0°C	شکل (۲۲-۳)
۴۷	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با موقعیت قرارگیری سیستم قرنیزی بر روی دیوارهای شمالی و جنوبی	شکل (۲۳-۳)
۴۷	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با موقعیت قرارگیری سیستم قرنیزی بر روی دیوارهای غربی و جنوبی	شکل (۲۴-۳)
۴۸	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با موقعیت قرارگیری سیستم قرنیزی بر روی دیوارهای شمالی و جنوبی	شکل (۲۵-۳)
۴۹	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با موقعیت قرارگیری سیستم قرنیزی بر روی دیوارهای شمالی و جنوبی	شکل (۲۶-۳)
۵۰	توزیع دما در صفحه‌ی تقارن ($x = 4 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 35°C	شکل (۲۷-۳)
۵۱	توزیع دما در صفحه‌ی تقارن ($x = 4 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 40°C	شکل (۲۸-۳)
۵۲	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 35°C	شکل (۲۹-۳)
۵۲	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 40°C	شکل (۳۰-۳)
۵۳	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/6 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 35°C	شکل (۳۱-۳)
۵۴	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/6 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 40°C	شکل (۳۲-۳)
۵۴	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 1/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 35°C	شکل (۳۳-۳)
۵۵	توزیع شاخص احساس حرارتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 1/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 40°C	شکل (۳۴-۳)
۵۶	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 35°C	شکل (۳۵-۳)
۵۶	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = 0/1 \text{ m}$) با دمای هوای بیرون 40°C	شکل (۳۶-۳)

۵۷	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = ۰/۶m$) با دمای هوای بیرون $۳۵^{\circ}C$	شکل (۳-۳۷)
۵۸	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = ۰/۶m$) با دمای هوای بیرون $۴۰^{\circ}C$	شکل (۳-۳۸)
۵۸	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = ۰/۶m$) با دمای هوای بیرون $۳۵^{\circ}C$	شکل (۳-۳۹)
۵۹	توزیع درصد نارضایتی افراد در صفحه‌ی افقی ($y = ۰/۶m$) با دمای هوای بیرون $۴۰^{\circ}C$	شکل (۳-۴۰)

مقدمه و کلیات تحقیق

۱-۱. مقدمه

شرایط محیط زیست انسان تأثیر مستقیمی بر چگونگی حالات روانی، وضعیت فیزیکی، نحوه انجام کار و به طور کلی تمام بخشهای زندگی او دارد. از آنجایی که بخش عمده زندگی بشر امروزی در داخل ساختمان می‌گذرد، ایجاد شرایط مطلوب زیست محیطی در ساختمان، خواه محل کار باشد یا منزل و غیره، واجد اهمیت بسیاری است که مهم‌ترین بخش آن تهویه مطبوع برای ساکنان ساختمان با توجه به شرایط فردی و میزان فعالیت آنهاست.

در حالت طبیعی دمای درونی بدن حدود ۳۷ درجه سلسیوس و دمای پوست تقریباً ۳۳ درجه سلسیوس می‌باشد. برای اینکه بدن در شرایط متعادل حرارتی باقی بماند، باید حرارت تولید شده در اثر متابولیسم را به طور مداوم با محیط مبادله نماید. این تبادل حرارت از طریق سازوکارهای مختلفی صورت می‌گیرد که در جدول (۱-۱) این سازوکارها به همراه سهم تقریبی آنها در تبادل حرارت بدن با محیط نشان داده شده است [۱].

جدول (۱-۱). سهم سازوکارهای مختلف در تبادل حرارت بدن با محیط در شرایط حرارتی متعارف [۱]

سازوکار تبادل حرارت	میزان تبادل	نحوه تبادل حرارت
جابجایی	حدود ۴۰٪	در اثر اختلاف درجه حرارت بدن و هوای پیرامون آن
تبخیر	حدود ۲۰٪	در اثر تعریق و سپس بخارشدن عرق از سطح پوست
تابش	حدود ۴۰٪	در اثر صدور و جذب امواج الکترومغناطیس

سیستم‌های تهویه مطبوع بایستی به نحوی عمل کنند که شرایط آسایش حرارتی^۱ ساکنان در ساختمان را فراهم کنند. بر طبق تعریف آمده در دستورالعمل تاسیساتی اشری^۲ [۲]، آسایش حرارتی حالتی ذهنی است که فرد از شرایط محیط ابراز رضایت می‌کند. عوامل محیطی و فردی، پارامترهای تاثیرگذار بر شرایط آسایش حرارتی می‌باشند. مدل‌های تحلیلی آسایش حرارتی از قبیل مدل‌های فنگر^۳ [۳] و گایج^۴ [۴] می‌توانند با ارزیابی همزمان اثرات عوامل فردی و محیطی، معیاری جهت پیش‌بینی وضعیت آسایش حرارتی ساکنان و درصد نارضایتی افراد از محیط ارائه نمایند.

۲-۱. سیستم‌های تهویه مطبوع

به طور کلی سیستم‌های تهویه مطبوع را می‌توان به دو دسته سیستم‌های تابشی و سیستم‌های جابجایی تقسیم کرد. همانطور که از نامگذاری فوق مشخص است، در سیستم‌های جابجایی، بخش اعظم انتقال حرارت از طریق سازوکار جابجایی (اعم از جابجایی آزاد و یا جابجایی اجباری) صورت می‌پذیرد. در حالی که در سیستم‌های تابشی، سهم سازوکار تابش میان سیستم با محیط از سایر سازوکارها بیشتر است. اساس عملکرد سیستم‌های جابجایی، تبادل حرارت از طریق جابجایی طبیعی یا اجباری و مطبوع ساختن دمای هوای اتاق

¹ Thermal Comfort

² ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers)

³ Fanger

⁴ Gagge

برای ساکنان می‌باشد. سیستم‌های هواساز، انواع کولرها، فن کویل‌ها، رادیاتورها و بخاری‌ها زیر مجموعه سیستم‌های جابه‌جایی به حساب می‌آیند.

در سیستم‌های تابشی سازوکار اصلی انتقال حرارت از طریق تابش امواج الکترومغناطیس می‌باشد. در این نوع از انتقال حرارت، هوا مستقیماً گرم نمی‌شود بلکه حرارت مبادله شده، ابتدا سطوح را گرم می‌کند و سپس گرما از سطوح توسط سازوکار جابه‌جایی به هوای مجاور منتقل می‌شود [۱]. سیستم‌های تابشی با توجه به دمای سطح آنها به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- سیستم‌های تابشی دما بالا^۱ مانند گرمکن‌های الکتریکی و تابشگرهای گازی ۲- سیستم‌های تابشی دما پایین^۲ مانند سیستم‌های گرمایش کفی^۳ و سیستم‌های سرمایش سقفی^۴. اساس کار سیستم‌های تابشی دمای پایین، فراهم کردن سطوح وسیع با اختلاف دمای اندک نسبت به دمای سایر سطوح اتاق و نیز دمای هوای داخل می‌باشد. البته شایان ذکر است که در این گونه سیستم‌ها به دلیل وجود سطوح وسیع، سازوکار غالب تبادل حرارت، سازوکار تابش می‌باشد [۵].

سطوح گرم یا سرد می‌تواند سقف، کف یا دیوار ساختمان باشند و معمولاً از آب یا هوا به عنوان سیال عامل برای گرمایش یا سرمایش سطوح استفاده می‌شود. از میان سیستم‌های گرمایش تابشی می‌توان به سیستم گرمایش از کف، سیستم گرمایش پانل دیواری و سیستم گرمایش سقفی اشاره کرد که در آنها از آب گرم یا مقاومت‌های الکتریکی برای تأمین حرارت مورد نیاز سطوح استفاده می‌شود. همچنین در سیستم‌های سرمایش تابشی از جمله سیستم سرمایش سقفی، سرمایش کفی و سرمایش پانل دیواری معمولاً از آب سرد به عنوان سیال تغذیه استفاده می‌شود. به همین دلیل به این سیستم‌ها، اصطلاحاً سیستم‌های سرمایش تابشی هیدرونیک^۵ گفته می‌شود [۶].

ایجاد شرایط آسایش حرارتی مطلوب با نیاز نسبتاً کم به مصرف انرژی از جمله مشخصه‌هایی است که موجب شده است تا امروزه استفاده از سیستم‌های تابشی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. سیستم‌های تابشی با مصرف انرژی کمتر نسبت به اکثر سیستم‌های سرمایش و گرمایش دیگر، شرایط آسایش حرارتی خوبی را فراهم می‌کنند [۷]. ضمن اینکه در سیستم‌های تابشی دما پایین، عوامل ایجاد ناراضی‌تی حرارتی موضعی از

¹ High-temperature radiant systems

² Low-temperature radiant systems

³ Floor heating systems

⁴ Ceiling cooling systems

⁵ Hydronic

جمله گرادیان عمودی دمای هوا^۱، تابش نامتقارن^۲ و کوران^۳ کمتر اتفاق می‌افتند [۸]. البته شایان ذکر است که به دلیل عدم استفاده از تجهیزات وزشی در این سیستم‌ها، کیفیت هوای فضای داخل^۴ نسبت به سیستم‌های جابجایی مقداری پایین‌تر است [۷]. در ادامه به بیان برخی از مزایا و معایب سیستم‌های تابشی دما پایین در مقایسه با سیستم‌های جابجایی خواهیم پرداخت.

۱-۲-۱. مزایای سیستم‌های تابشی دما پایین در مقایسه با سیستم‌های جابجایی

- در سیستم‌های تابشی دما پایین، به دلیل وجود سطوح وسیع تبادل حرارت امکان ایجاد شرایط حرارتی یکنواخت در سرتاسر فضای اتاق وجود دارد [۹].
- در سیستم‌های تابشی، انرژی کمتری صرف گرم کردن یا سردکردن هوا شده و سهم قابل توجهی از انرژی مصرفی، در جهت تغییر دمای سطوح بکار گرفته می‌شود. به همین دلیل، نشت و یا تعویض هوا در سیستم‌های تابشی، کمتر موجب هدر رفتن انرژی می‌شود و به همین دلیل، معمولاً کارایی چنین سیستم‌هایی در مقایسه با سیستم‌های جابجایی بیشتر است [۵].
- سهم بالای سازوکار تبادل حرارت تابش در سیستم‌های تابشی، باعث از بین رفتن گرادیان نامطلوب دمای هوا و بهبود شرایط آسایش حرارتی می‌گردد [۱۰].
- کم بودن سرعت جریان هوا باعث عدم ایجاد سرمایش موضعی یا نارضایی ناشی از کوران در این سیستم‌ها می‌شود [۷].
- سیستم‌های تابشی به دلیل عدم استفاده از فن و دمنده‌های دیگر دارای سروصدا و آلودگی صوتی بسیار کمی می‌باشد [۷].
- در سیستم گرمایش از کف، توزیع دمای ایجاد شده در اتاق، تطابق زیادی با توزیع دمای ایده‌ال برای بدن دارد [۱۰]. همچنین خواص مطلوبی همچون عدم اشغال فضای مفید ساختمان، کارایی مناسب، هزینه نگهداری و تعمیرات پایین، عمر طولانی و قابلیت تطبیق با انواع منابع

¹ Vertical air temperature difference

² Asymmetric thermal radiation

³ Draught

⁴ Indoor Air Quality (IAQ)

حرارتی به ویژه منابع با دمای نزدیک به محیط و نیز منابع حرارتی تجدید پذیر و پاک مانند انرژی خورشیدی از مشخصه‌های سیستم‌های گرمایش از کف می‌باشد.

۲-۲-۱. معایب سیستم‌های تابشی دما پایین در مقایسه با سیستم‌های جابجایی

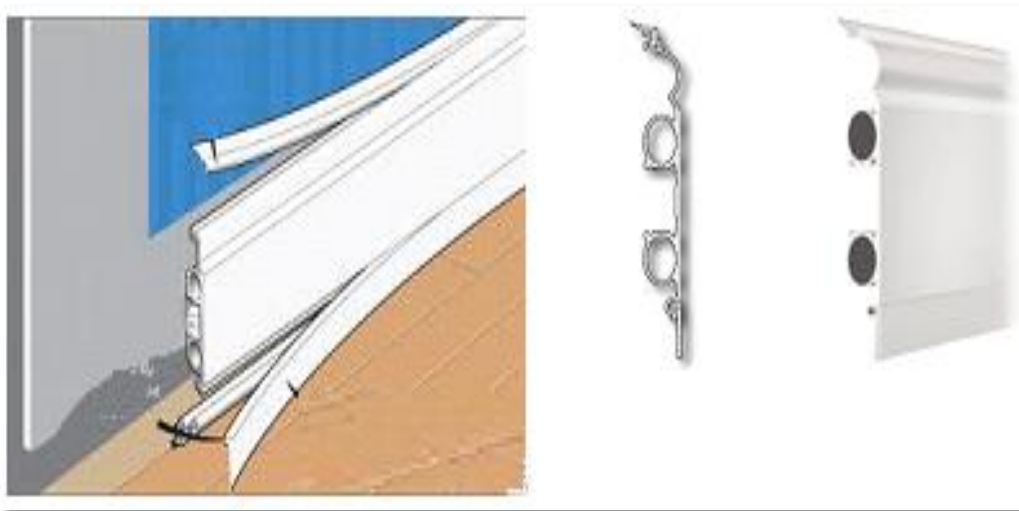
- هزینه‌های اولیه از جمله خرید تجهیزات و نصب پانل‌ها و عایق‌کاری آن‌ها نسبت به سیستم جابه‌جایی بالاتر است و این یکی از مهمترین دلایل عدم گسترش این سیستم‌ها می‌باشد [۱۱].
- لختی حرارتی سیستم‌های تابشی نسبتاً زیاد است. به ویژه سیستم‌هایی مانند سیستم گرمایش از کف که در آن لوله‌ها در کف بتنی و زیر پوشش سرامیک یا پارکت و حتی فرش قرار می‌گیرد، دارای لختی حرارتی بالایی هستند و در نتیجه واکنش این سیستم‌ها به تغییرات دمایی داخل اتاق کند می‌باشد [۱۲].
- کیفیت هوای داخل اتاق نیز به دلیل عدم تعویض هوای محیط نسبت به سیستم‌های جابجایی پایین تر است [۱۱].
- یکی از بزرگترین مشکلات سیستم‌های تابشی سقفی، میعان بخار آب موجود در هوا بر روی سطح پانل‌های سرمایش سقفی می‌باشد. این مشکل باعث عدم توسعه این سیستم در مناطق با رطوبت نسبی بالا شده است. البته در مناطق با رطوبت نسبی متوسط می‌توان با استفاده از تجهیزات کنترلی یا استفاده از این سیستم به صورت ترکیبی با تهویه جابه‌جایی، از بروز چنین مشکلی جلوگیری کرد. همچنین استفاده از سیستم رطوبت‌زدا برای هوای ورودی به محیط و استفاده از سیستم به صورت غیرفعال برای جلوگیری از معیان پیشنهاد شده است [۱۳].

۳-۱. سیستم قرنیزی

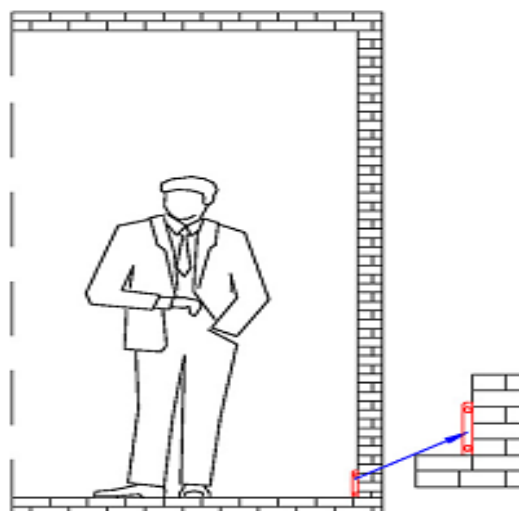
این سیستم، زیبایی قرنیزها و سادگی رادیاتورها را در قالب یک سیستم فراهم آورده و اجازه می‌دهد انتقال گرما مثل رادیاتورهای دیواری، سریع و مثل سیستم گرمایش از کف به صورت یکنواخت در اتاق پخش شود. سیستم قرنیزی^۱ از لوله بلند U شکل (لوله رفت و لوله برگشت)، اتصال دهنده‌های پانل و یک

¹ Baseboard Heating System

محفظه نازک مستطیلی تشکیل می‌شود. انرژی حرارتی موجود در جریان آب داغ داخل لوله U به صفحه فلزی نازک منتقل می‌شود و سپس با هوای محیط تماس پیدا کرده که منجر به انتقال حرارت می‌شود [۹]. در واقع می‌توان گفت سیستم‌های گرمایش قرنیزی، تابشگرهای حرارت با دمای کم هستند که در امتداد لبه پایینی دیوارهای اتاق نصب می‌شوند. شکل (۱-۱) نمایی از سیستم قرنیزی را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۲-۱) نحوه قرارگیری سیستم قرنیزی در اتاق نشان داده شده است.



شکل (۱-۱). نمایی از سیستم قرنیزی.



شکل (۲-۱). نحوه قرارگیری سیستم گرمایش قرنیزی در اتاق نمونه.

سیستم قرنیزی همانند سیستم گرمایش کفی از جمله سیستم‌های دما پایین (دمای آب تغذیه بین ۴۵ تا ۶۰ درجه) محسوب می‌شود. ضمن اینکه در هر دو سیستم مذکور، توزیع حرارت در اتاق تقریباً یکنواخت است. این ویژگی‌ها از مهمترین مزایای سیستم‌های فوق محسوب می‌شود. سیستم گرمایش کفی از لختی حرارتی بالایی برخوردار است و به همین دلیل، زمان نسبتاً زیادی برای راه‌اندازی سیستم و گرم شدن اولیه فضای اتاق لازم است. همچنین این امر به معنی آن است که واکنش سیستم گرمایش از کف به تغییرات حرارتی فضای اتاق کند می‌باشد. این در حالی است که سیستم قرنیزی دارای لختی حرارتی نسبتاً پایینی است که این امر از مزایای سیستم گرمایش قرنیزی نسبت به سیستم گرمایش از کف محسوب می‌شود. خصوصیات دیگر این سیستم قرنیزی عبارتند از:

- پخش یکنواخت گرما
- لختی پایین سیستم
- عدم ایجاد کوران شدید
- امکان استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر مثل انرژی خورشید

۴-۱. پیشینه تحقیق

- سانگ^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی عملکرد سیستم سرمایش از کف پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که دمای پایین آب تغذیه ورودی به سیستم، منجر به ایجاد رطوبت در سطح کف می‌شود که این امر می‌تواند ضمن ایجاد ناراضی برای ساکنان، به مصالح ساختمان آسیب برساند [۱۴].
- پلوسکیک^۲ و هامبرگ^۳ در سال ۲۰۰۹ به بررسی عملکرد سیستم گرمایش قرنیزی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که سیستم قرنیزی با دمای آب تغذیه ورودی ۵۵ درجه سلسیوس توانایی مقابله با کوران هوای سرد ایجاد شده در نزدیکی سطوح دیوار را دارد و همچنین با توجه به پایین بودن دمای آب تغذیه ورودی می‌توان از انرژی‌های پاک از قبیل انرژی خورشیدی جهت گرمایش آب تغذیه استفاده نمود [۹].

¹ D. Song

² A. Ploskic

³ S. Holmberg