Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک، شماره پیاپی ۸۲، جلد ۴۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، صفحه ۸۵-۹۴

بررسی عملکرد و بازده سیستم گرمایش از کف با گرمای گردآوری شده از خورشید در شرایط آب و هوایی متفاوت

میلاد پایدار کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین المللی جلفا، جلفا، ایران

محمدعلی اشجاری اقدم* استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین المللی جلفا، جلفا، ایران

چکیده

مقاله حاضر نوع جدیدی از سیستم گرمایش از کف را معرفی و ارزیابی می‌کند که در آن منبع تامین کننده گرما، خورشید انتخاب شده است تا از مزایای سیستم گرمایش از کف و تامین رایگان گرمای استفاده شود. این سیستم ترکیبی برای یک ساختمان خاص در اقلیم‌های متفاوت مدل‌سازی شده و مزیت‌های فنی و اقتصادی آن نسبت به سیستم سنتی رادیاتور مقایسه شده است. دمای آب داغ ورودی به سیستم گرمایش از کف اهمیت فراوانی دارد و کارآیی آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج برای اقلیم خیلی سرد نشان می‌دهد که برای حذف محدودیت دمای آب داغ ورودی نیاز به یک سیستم خورشیدی است که به مراتب بزرگتر از اندازه مورد نیاز برای تامین گرما ساختمان می‌باشد. در مقابل برای اقلیم معتدل محدودیت دمای آب داغ ورودی، اندازه و کارآیی سیستم خورشیدی را چندان تحت تاثیر قرار نمی‌دهد به طوری که سیستم جدید برتری محسوس پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: گرمایش از کف، ساختمان، بهینه‌سازی مصرف انرژی، شرایط اقلیمی، انرژی خورشیدی، محیط زیست.

Performance and Efficiency Consideration of a Floor Heating System Working with the Heat Collected from the Sun at Different Climate Conditions

M. Paidar Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University Jolfa International Branch, Jolfa, Iran

M. A. Ashjari Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University Jolfa International Branch, Jolfa, Iran

Abstract

Present paper introduces a novel floor heating system which provides its heat by the Sun. This integrated system incorporates the advantages of both floor heating and free energy supply simultaneously. It is examined for a special building under different climate conditions. Based on the obtained results for very cold climate conditions the new system's performance is significantly low. This is mainly due to the working fluid's high temperature limit which causes the supporting solar system to be too much bigger than the normal one which is sufficient to heat up the building. The most significant advantages of the proposed design is for moderate climate conditions where the inlet temperature limit does not impose an extra area and, hence, cost for the solar system. For this condition the integrated system has superior advantages to the traditional ones.

Keywords: Floor heating, Building, Energy efficiency, Climate conditions, Solar energy, Environment.

۱- مقدمه

ای بلوس و همکاران [۱] در مطالعه خود استفاده از انرژی خورشیدی برای گرمایش ساختمانی معمولی در شهر آتن را با استفاده از سیستم گرمایش کفی آنالیز کردند. ترکیب این دو فناوری برای کشور یونان که کشوری با پتانسیل تابشی بالا می‌باشد مناسب بوده و کارایی بهینه سیستم را بهمراه داشته است [۲ و ۳]. شبیه‌سازی پروژه توسط نرم افزار تجاری TRNSYS انجام گرفته بود. بنا به نتایج این مطالعه، سیستم ترکیبی طراحی شده هنگامی مناسب‌ترین سیستم گرمایش برای ساختمان مورد مطالعه بود که ۳۰ متر مربع گردآورنده صفحه تخت خورشیدی ۹۰ درصد بار گرمایی ساختمان را پوشش داده باشد. نتایج این مطالعه نشان داد، سیستم گرمایش کفی قادر است با افزودن به مساحت گردآورنده‌ها تا ۵۰ متر مربع، بدون نیاز به انرژی کمکی شرایط آسایش فضای داخل خانه را در بالاترین سطح حفظ نماید و این راه حل عملی نیل به اتلاف گرمایی صفر در ساختمان‌های جدید خواهد بود. مالکی‌پور و همکاران با در نظر گرفتن سیستم گرمایش از کف همراه با بویلر چگالشی جهت تامین گرمایش ساختمان و بهره‌گیری از آبگرمکن خورشیدی برای تامین آبگرم مصرفی آن، نتایج را در کاهش مصرف انرژی با سیستم‌های رایج گرمای مرکزی و رادیاتوری مورد مقایسه و ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج حاصل، بیانگر صرفه جویی قابل ملاحظه سیستم مورد مطالعه در کاهش مصرف انرژی بوده و از نظر صرفه اقتصادی نیز علیرغم هزینه بالای خریداری، نصب وراه اندازی این سیستم‌ها، با توجه به کاهش قابل توجه هزینه‌های مرتبط با مصرف سوخت، هزینه‌های مازاد اولیه طی چند سال اول جبران می‌گردد [۴ و ۵]. محسن حلاجی و همکاران در دانشگاه تربیت مدرس طراحی سیستم گرمایش از کف با استفاده از انرژی خورشیدی برای گرمایش سالن های صنعتی در شرایط اقلیمی ایران را انجام دادند و نتیجه گرفتند از آنجا که دمای کاری سیستم های گرمایش از کف در مقایسه با سایر سیستم ها کمتر است، امکان استفاده از سیستم‌های خورشیدی را آسان‌تر می‌سازد [۶]. سید علی اشرفی زاده و همکاران مطالعه جایگزینی روش گرمایش ازکف با تامین انرژی از گردآوردنده‌های خورشیدی برای تامین گرمایش یک مرغداری که بوسیله هیترهای برقی گرم می‌شود را در دستور کار قرار داده و به نتیجه رسیدند که با اجرای این پروژه می‌توانند در طول سال، نیاز به

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: maliashjari@iauj.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۲

www.SID.ir

Archive of SID

هیترهای برقی را تا ۷۰ درصد کاهش دهند و مدت زمان بازگشت سرمایه را ۷ سال از زمان بهره برداری محاسبه کرده‌اند [۷]. مهدی پسته‌ای و همکاران بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از آبگرمکن های خورشیدی و سیستم گرمایش از کف را مورد مطالعه قرار دادند که بنابه نتایج آن، میزان مصرف سالیانه انرژی در صورت استفاده از سیستم گرمایش کفی تا ۲۵ درصد و در صورت اتصال سیستم گرمایش کفی به آبگرمکن‌های خورشیدی تا ۵۵ درصد در مقایسه با سیستم گرمایش رادیاتور کاهش می یابد [۸].

در هیچ یک از کارهای انجام شده فوق، بهینه‌سازی فاکتورهای تاثیر گذار بر عملکرد سیستم گرمایش از کف از قبیل شکل حلقه‌ها، فاصله کار گذاری لوله‌ها، قطر لوله‌ها و ... مورد بررسی قرار نگرفته و به پارامترهای تاثیر گذار طراحی بهینه انرژی خورشیدی برای بهره‌وری بالا در سیستم گرمایش از کف اشاره‌ای نشده است. همچنین تبعات زیست-محیطی ناشی از بکارگیری انرژی خورشیدی و صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی بعنوان یک فاکتور تاثیر گذار برای زندگی سالم جوامع مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است. ضمن آنکه بهره جستن از نرم افزارهای به روز و کارآمد در محاسبات پروژه پیش رو، مهمترین نقطه قوت طرح در مقایسه با کارهای انجام شده قبلی بوده و استناد به نتایج آن را عملی‌تر می‌سازد.

در این مقاله ابتدا سیستم گرمایش از کف با بهینه‌سازی روی فاکتورهای تاثیر گذار طراحی مانند انتخاب روش اجرای کف گرمایشی برای طبقات ساختمان، انتخاب آرایش مناسب لوله گذاری، انتخاب قطر، جنس و فواصل لوله گذاری مناسب برای ساختمان مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی تبریز در دو اقلیم تبریز و تهران توسط نرم افزار LoopCAD مدل‌سازی شده و دمای آب مورد نیاز سیستم گرمایش کفی برای اقلیم مورد نظر بدست می‌آید. در این پروژه، تبریز بعنوان نماینده اقلیم سرد سیر و به لحاظ ملموس بودن نتایج حاصل از طراحی در آن و تهران بعنوان نماینده اقلیم معتدل و بزرگترین مصرف کننده انرژی در بخش گرمایش به منظور امکان سنجی پاسخگویی سیستم ترکیبی گرمایشی طراحی شده برای بخش‌های مختلف مصرف کننده گاز طبیعی، و مطالعه مزایای احتمالی زیست محیطی طرح انتخاب شده است.

۲- مدل‌سازی

۲-۱- طراحی سیستم گرمایش از کف

ساختمان دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی تبریز در سه طبقه به متراژ ۳،۶۴۵ مترمربع دارای ۲۲ کلاس درس و آزمایشگاه، راهروها و دو سرویس بهداشتی در طبقات اول و دوم، در شرق شهر تبریز واقع شده است. گرمایش این ساختمان یکبار برای سیستم رادیاتور و بار دیگر برای سیستم گرمایش از کف در اقلیم‌های تبریز و تهران طراحی و با هم مقایسه شده است.

برای مدل‌سازی سیستم گرمایش از کف ساختمان مورد مطالعه، قدم اول محاسبه اتلاف گرمایی و بار گرمایش ساختمان می‌باشد. برای انجام محاسبات، فرضیاتی در رابطه با مصالح بکار رفته در ساختمان در نظر گرفته شده است. این فرضیات بگونه‌ای است که مصالح بکار رفته بیشترین استفاده را در بین بناهای شهری ساخته شده داشته باشند (جدول ۱).

جدول ۱- مقاومت گرمایی اجزاء بکار رفته در ساختمان

جزء ساختمانی	$R(m^2.K/W)$
عایق کف و دیوار زیر زمین	۱٫۸
دیوارهای خارجی	۰٫۷
درهای خارجی	۰٫۲
درهای داخلی	۰٫۷
سقف	۰٫۶
پنجره	۰٫۲

برای محاسبه بار گرمایی ساختمان، نخست اتلاف گرمایی ناشی از اجزاء و جدارهای ساختمان با در نظر گرفتن ضرایب جهت و ارتفاع و با استفاده از اطلاعات جدول فوق محاسبه می‌شود؛ سپس تلفات گرمایی ناشی از نفوذ و تهویه هوا بدست آمده و در نهایت مجموع مقادیر فوق با ضرب شدن در ضریب اطمینان مشخص شده در کتاب‌های تاسیسات، بار گرمای کل ساختمان را بدست می دهد. محاسبه بار گرمایی ساختمان مورد مطالعه در اقلیم‌های تبریز و تهران و توسط نرم افزار LoopCAD مطابق استاندارد ASHRAE انجام گرفته است. ساختمان مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی تبریز در سه طبقه احداث شده است که طبقه اول ساختمان ۱/۸۲۹ متر پایین تر از سطح زمین قرارگرفته است. محاسبه اتلاف گرمایی بمنظور مقایسه نتایج، برای هر دو سیستم گرمایش از کف و رادیاتور در اقلیم های تبریز و تهران بشرح زیر انجام می‌گیرد (جداول۲ الی ۴).

جدول ۲- دمای طرح داخل و خارج طرح (°C)[۹]

طرح خارج		طرح داخل	
تبریز	تهران	رادیاتور	گرمایش کفی
-۸/۵	**-۱/۳**	**۲۲**	**۲۰**

جدول ۳- اطلاعات اولیه طراحی(پیش فرض نرم افزار)[۹]

اطلاعات اولیه طراحی	
دمای طرح داخل	°C۲۰
رطوبت داخل	۳۵ درصد
دمای سطح کف	°C۳۰
روش محاسبه بار گرمایی	استاندارد ASHRAE

جدول ۴- اتلاف گرمایی ساختمان بر حسب کیلووات[۹]

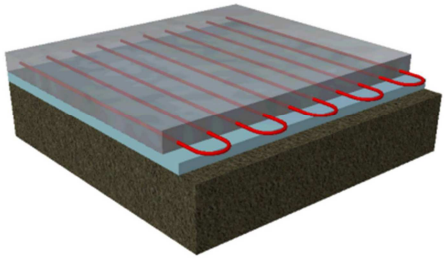
اقلیم / سیستم	رادیاتور	گرمایش کفی
تبریز	۳۲۴	۲۲۸
تهران	۲۵۵	۱۷۹

پس از محاسبات اتلاف گرمایی ساختمان، گام بعدی، طراحی سیستم گرمایش از کف در بهینه ترین حالت ممکن با انتخاب بهترین روش اجرای کف گرمایشی، انتخاب مناسبترین آرایش لوله گذاری، انتخاب بهترین قطر و جنس لوله و انتخاب بهترین فواصل لوله گذاری

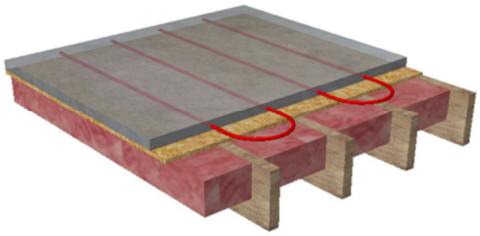
www.SID.ir

Archive of SID

می باشد. بمنظور تامین بار گرمایشی مورد نیاز، طراحی سیستم گرمایش از کف با انتخاب روش Embedded Slab بعنوان بهترین روش کارگذاری لوله های کف خواب طبقه اول و روش Concrete Thin Slab بعنوان بهترین روش کارگذاری لوله های طبقات دوم و سوم ادامه می یابد. چنانچه در شکل‌های ۱ و ۲ مشخص است ملاک انتخاب، عمق مناسب کارگذاری لوله‌ها با توجه به کاربری عمومی ساختمان و دمای سطح کف (۳۰ درجه سلسیوس)، هزینه‌های اجرا و مقاومت گرمایی مناسب عایق زیر کف برای جلوگیری از اتلاف رو به پایین گرما و قطعه کف برای انتشار گرما به داخل فضای ساختمان می‌باشد. فواصل لوله‌گذاری پروژه که پس از متعادل‌سازی گرمای تابشی فضاهای داخلی (Over Heating صفر) بدست آمده‌اند در شکل‌های ۱ و ۲ مشخص شده‌اند.



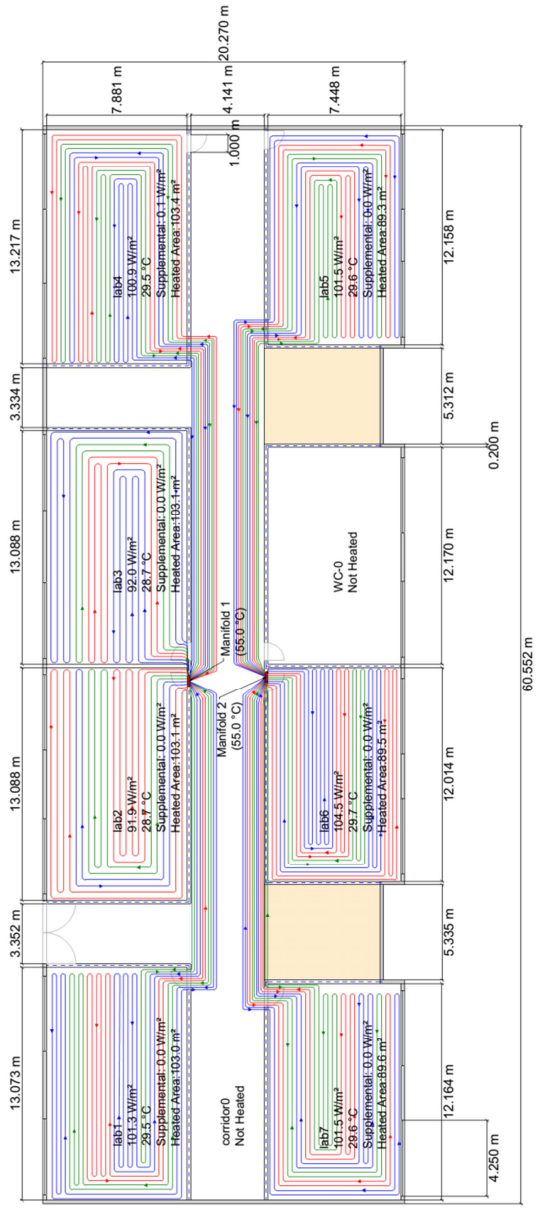
شکل ۱- روش اجرای کف گرمایشی طبقه اول



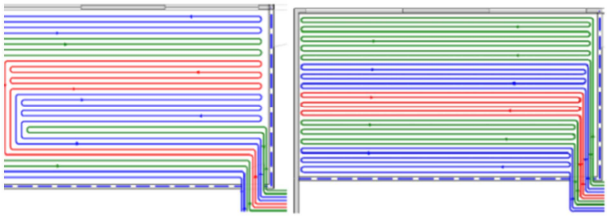
شکل ۲- روش اجرای کف گرمایشی طبقات دوم و سوم

سیستم گرمایش از کف بطور معمول به دو روش رفت و برگشتی[1] و مربعی[2] لوله‌گذاری می‌گردد. به منظور انتخاب آرایش مناسب لوله-گذاری، پروژه در هر دو حالت اجرا گردیده و با توجه به اطلاعات جدول ۵ و لزوم حرکت لوله‌های حاوی سیال گرم‌تر از کناره دیوارهای خارجی، روش مربعی بعنوان آرایش مناسب لوله گذاری انتخاب می‌شود (شکل‌های۳ الی ۶ و جدول ۵).

شکل ۳ پلان طراحی سیستم گرمایش از کف برای طبقه اول ساختمان در اقلیم تبریز را در نرم افزار LoopCAD نشان می‌دهد.



شکل ۳- پلان طراحی سیستم گرمایش از کف برای طبقه اول ساختمان در اقلیم تبریز

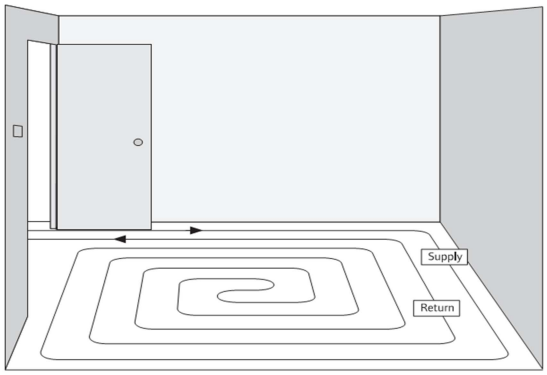


شکل ۴- روش لوله‌گذاری رفت و برگشتی (راست) و مربعی (چپ)

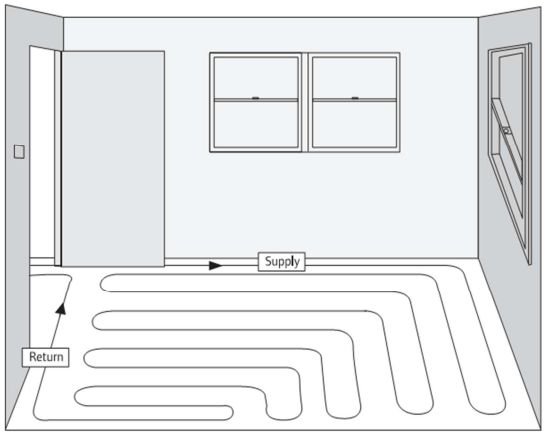
[1] Serpentine
[2] Counter Flow

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- آرایش لوله گذاری مربوط به اتاق بدون دیوار خارجی



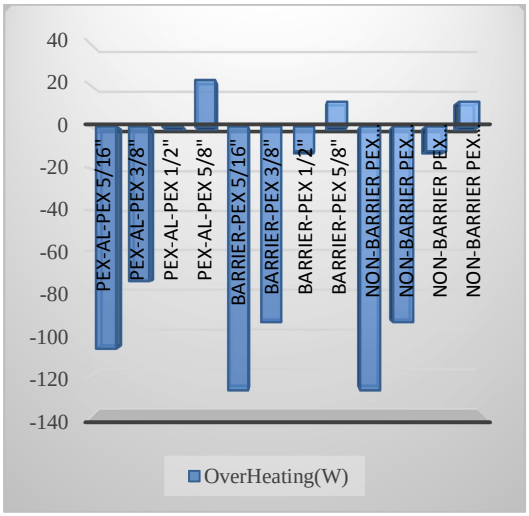
شکل ۶- آرایش لوله گذاری مربوط به اتاق با دو دیوار خارجی

جدول ۵- گزارش نرم افزار LoopCAD از طول و حجم لوله گذاری در روشهای مربعی و رفت و برگشتی

روش لوله گذاری	مربعی	رفت و برگشتی
طول لوله گذاری (متر)	۱۲,۲۰۹	۱۳,۲۹۲
حجم لوله گذاری (مترمکعب)	۱٫۳۹۵۸	۱٫۵۱۹۶

پس از انتخاب آرایش مناسب لوله‌گذاری، در ادامه به انتخاب بهترین جنس و قطر لوله می‌پردازیم. لوله‌های پیش فرض نرم افزار برای استفاده در سیستم گرمایش از کف مطابق استانداردهای موجود، Barrier-PEX، Non-Barrier-PEX و PEX-AL-PEX می‌باشند که از قطر ۵/۱۶ تا ۵/۸ اینچ در دسترس قرار دارند. با تولید پلمیر پکس در اواخر دهه ۶۰ میلادی در قاره اروپا دانشمندان پلیمر، لوله‌های پکس را به عنوان یکی از ره آوردهای این قرن برای مهندسان مکانیک به ارمغان آوردند. اگرچه لوله‌های پکس توانستند معضل پوسیدگی لوله‌های آهنی را مرتفع نمایند ولی به دلیل دو محدودیت دیگر (نفوذ اکسیژن و ضریب انبساط طولی زیاد) نتوانستند نیازهای مهندسان مکانیک را به طور کامل اجابت کنند. لذا دانشمندان پلیمر با متخصصان ساخت و تولید جهت تولید لوله‌های پلیمری - فلزی هماهنگ شدند و تحقیقات گسترده ای را آغاز نمودند. این تحقیقات زمینه تولید لوله های پکس-آل- پکس را فراهم نمود که همزمان با حل معضل پوسیدگی لوله‌های فلزی، مشکل نفوذ اکسیژن و زیاد بودن ضریب انبساط طولی لوله‌های تک لایه پلیمری را برطرف نمودند. به همین دلیل لوله های پکس-آل-پکس به عنوان کامل‌ترین محصول جهت کاربردهای تأسیسات گرمایشی و سرمایشی شناخته شده‌اند.

بر اساس اطلاعات شکل۷، پکس-آل-پکس ۱/۲ اینچ بعنوان بهترین جنس و قطر برای لوله‌ها انتخاب می‌گردد.



شکل۷- تاثیر جنس و قطر لوله در روش مربعی بر میزان OverHeating فضاهای گرمایشی در دمای۵۵ درجه سلسیوس سیستم در اقلیم تبریز

پس از به کار بردن لوله‌های کف خواب به روش مربعی و اتصال حلقه‌های گرمایشی مناطق به منیفلدها و ایجاد جریان سیال در مدار های سیستم گرمایشی، نوبت به متعادل سازی سیستم طراحی شده می رسد؛ این مهم با انتخاب قطر مناسب برای لوله های کف خواب، تغییر فاصله کارگذاری لوله‌ها و دمای آب مورد نیاز سیستم گرمایشی بگونه‌ای صورت می‌پذیرد که در عین صفر شدن میزان Over Heating برای فضاهای گرمایشی مختلف ساختمان، کمترین میزان دمای آب مورد نیاز سیستم گرمایش از کف بدست آمده باشد. مطابق اطلاعات حاصل از طراحی، دمای آب مورد نیاز سیستم گرمایش از کف بهینه در اقلیم تبریز ۵۵، و در اقلیم تهران ۴۹ درجه سلسیوس خواهد بود. برای محاسبه میزان مصرف سالیانه سوخت جهت گرمایش مطابق استاندارد ASHRAE با رابطه زیر اعمال می‌گردد [۱۰]:

$$AFC = \frac{Q \times SHDD \times 24}{(T_{in} - T_{out}) \times CV \times SE} \quad (۱)$$

که در این رابطه متغیرها به صورت ذیل تعریف می‌شوند:

AFC: گاز مصرفی سالیانه بر حسب (m^3)

SHDD: روز درجه گرمایش استاندارد

Q: بار گرمایی محاسبه شده ساختمان بر حسب (J/hr)؛

24: طول روز به ساعت

$(T_{in} - T_{out})$: اختلاف دمای طرح داخل و خارج (°C)

CV: ارزش گرمایی سوخت مورد نظر (J/m^3).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۶- گزارش LoopCAD از بار گرمایی محاسبه شده برای اجرای سیستم گرمایش از کف در اقلیم‌های تهران (الف) و تبریز (ب)

(الف) تهران

وات بر مترمربع	وات	وات	وات	وات	وات	وات	وات	متر مربع
بار واحد سطح	بار طراحی	نفوذ و تهویه	سقف	کف	درها	پنجره ها	دیوارها	مساحت	طبقه
۸۵٫۹	۵۸۷۶۳	۱۳۹۲۰	۰	۵۷۹۵	۷۴۸	۱۰۴۷۵	۲۷۸۲۵	۱۲۱۴٫۹	همکف (اول)
۸۴٫۹	۵۸۱۰۰	۱۴۹۵۶	۰	۹۵۵۸	۵۲۳	۱۷۴۴۷	۲۵۱۷۳	۱۲۱۴٫۹	دوم
۹۱٫۳	۷۰۷۱۶	۱۶۹۳۴	۰	۱۲۸۵۹	۸۵۴	۱۶۲۰۱	۳۳۶۷۰	۱۲۱۴٫۹	سوم
۸۷٫۵	۱۸۷۵۷۹	۴۵۸۱۰	۱	۲۸۲۱۲	۲۱۲۵	۴۴۱۲۴	۸۶۶۶۷	۳۶۴۴٫۷	برای کل ساختمان

(ب) تبریز

بار واحد سطح	بار طراحی	نفوذ و تهویه	سقف	کف	درها	پنجره ها	دیوارها	مساحت	طبقه
۱۱۰٫۹	۷۵۸۳۵	۲۰۳۳۹	۰	۸۱۸۱	۷۴۸	۱۴۰۱۶	۳۲۵۵۲	۱۲۱۴٫۹	همکف (اول)
۱۰۹٫۷	۷۵۰۶۷	۲۱۸۵۲	۰	۱۱۶۴۸	۵۲۳	۲۳۳۴۵	۲۹۳۴۶	۱۲۱۴٫۹	دوم
۱۱۰٫۸	۸۵۸۲۲	۲۴۷۴۳	۰	۱۳۴۷۶	۸۵۴	۲۱۶۷۸	۳۸۵۴۷	۱۲۱۴٫۹	سوم
۱۱۰٫۵	۲۶۳۷۲۵	۶۶۹۳۴	۱	۳۳۳۰۴	۲۱۲۵	۵۹۰۳۹	۱۰۰۴۴۴	۳۶۴۴٫۷	برای کل ساختمان

SHDD با توجه به اطلاعات پایگاه‌های هواشناسی در شهرهای مختلف تعیین می‌گردد و طبق مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان برای تبریز ۲,۳۵۰ و برای تهران ۱,۸۱۰ می‌باشد[۱۱]. ارزش گرمایی گاز طبیعی بطور میانگین در کلیه محاسبات ۳۶,۰۰۰ کیلوژول بر متر مکعب منظور شده است[۷]. همچنین SE ضریب راندمان فصلی که برای سیستم گرمایشی با گاز طبیعی ۸۲ درصد در نظر گرفته شده است[۱۲]. چگالی گاز طبیعی برابر ۰/۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد که از طریق آن وزن گاز مصرفی سالیانه نیز قابل محاسبه می‌باشد.

با محاسبه بار گرمایی ساختمان در اقلیم‌های تبریز و تهران برای سیستم گرمایش از کف و رادیاتور در نرم افزار LoopCAD و جایگذاری مقادیر بدست آمده در رابطه فوق، میزان گاز مصرفی سالیانه و درصد صرفه جویی سیستم گرمایش از کف نسبت به سیستم رادیاتور مشخص می گردد.

جدول ۶، محاسبه بار گرمایی ساختمان برای اجرای سیستم گرمایش از کف در اقلیم‌های تهران و تبریز را نشان می‌دهد.

۲-۲- سیستم خورشیدی

متوسط دمای آب در گردش سیستم گرمایش کفی ۳۰ الی ۶۰ درجه سلسیوس می‌باشد؛ در حالی که در سایر سیستم‌های گرمایشی دمای متوسط آب گرمایش، ۵۴ الی ۷۱ درجه سلسیوس است؛ همین امر سبب صرفه جویی ۲۰ تا ۴۰ درصدی در مصرف انرژی شده و سیستم گرمایش از کف را به تنها سیستم گرمایشی با قابلیت اتصال به آبگرمکن‌های خورشیدی تبدیل می کند [۱۳]. با بدست آمدن دمای آب مورد نیاز سیستم گرمایش از کف برای اقلیم‌های تبریز و تهران، شبیه‌سازی گردآورنده‌های خورشیدی برای تامین دمای آب مورد نظر، در نرم افزار EnergyPlus [۱۴] با بهینه سازی فاکتورهای زیر صورت خواهد گرفت.

۲-۲-۱- حجم مخزن ذخیره سیستم خورشیدی

برای محاسبه ظرفیت مخزن ذخیره رابطه ذیل استفاده شده است[۱۵]

$$V = 120/(x - y) \qquad (۲)$$

که در آن

V: حجم بدست آمده مخزن ذخیره برای هر فوت مربع[1] از گردآورنده خورشیدی

X: دمای تنظیم شده برای گرمایش سیستم مورد نظر و

Y: دمای آب در موقعیت مکانی بکارگیری سیستم

تعریف می‌شوند. بر اساس مشاهدات و تجربه‌های بدست آمده بطور کلی می‌توان مقدار V به دست آمده از رابطه (۲) را به طرق ذیل تفسیر کرد [۱۵]:

- ۳/۷۸۵۴ لیتر (۱ گالن آمریکایی) برای هر ۰/۰۹۳۰۲۵ متر مربع (۱ فوت مربع) گردآورنده، برای بارهای گرمایی بالا در شرایط آب و هوایی سخت در گردآورنده صفحه تخت.
- ۵/۶۷۸۱ لیتر برای هر ۰/۰۹۳۰۲۵ متر مربع گردآورنده، برای شرایط دمایی متوسط و بارهای گرمایی معمولی در گردآورنده های صفحه تخت.
- ۷/۵۷۰۸ لیتر برای هر ۰/۰۹۳۰۲۵ متر مربع گردآورنده، برای بارهای گرمایی بالا در گردآورنده‌های لوله خلاء و بارهای گرمایی معمولی در گردآورنده صفحه تخت.
- ۹/۴۶۳۵ لیتر برای هر ۰/۰۹۳۰۲۵ متر مربع گردآورنده، برای بارهای گرمایی متوسط در گردآورنده‌های لوله خلاء.
- ۱۱/۳۵۶۲ لیتر برای هر ۰/۰۹۳۰۲۵ متر مربع گردآورنده، برای بارهای گرمایی با دمای پایین.
- بیشتر از ۱۵/۱۴۱۶ متر مکعب برای هر ۰/۰۹۳۰۲۵ متر مربع گردآورنده، برای شریط دمایی خاص که گاهی بوجود می‌آید و

[1] $1ft^2 = 0.093025\ m^2$

www.SID.ir

Archive of SID

باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

بسته به بار گرمایی بالای ساختمان و موقعیت پروژه، ۳/۷۸۵۴ لیتر برای هر ۰/۰۹۳۰۲۵ متر مربع گردآورنده صفحه تخت خورشیدی (۰/۱۸۱ متر مکعب برای هر گردآورنده) در نظر گرفته شده است (جدول۷).

جدول ۷- اطلاعات مربوط به مخزن ذخیره در EnergyPlus

پارامتر	ارزش
حجم مخزن ذخیره (m^3)	۰/۱۸۱
اختلاف دما در مخزن $(°C)$	۵
حداکثر دمای مجاز آب $(°C)$	۸۲/۲۲
نوع کنترل آبگرمکن خورشیدی	سیکلی
راندمان گرمایی آبگرمکن خورشیدی	۰/۹
ضریب اتلاف خارج از چرخه نسبت به دمای محیط (W/K)	۵
ضریب اتلاف در چرخه نسبت به دمای محیط (W/K)	۵
دبی طراحی (m^3/s)	۰/۰۰۶

۲-۲-۲- زوایای افقی و عمودی کارگذاری گردآورنده‌ها

با طراحی مخزن ذخیره، طراحی بهینه گردآورنده صفحه تخت خورشیدی برای رساندن آب به دمای مورد نظر با بهینه سازی زوایای کارگذاری ادامه می یابد. بدین منظور ابتدا گردآورنده نمونه (۳۲ فوت مربعی) در راستای ۰ تا ۶۰ درجه افقی دوران می یابد و گردآورنده‌های بوجود آمده تحت زوایای مختلف، بصورت مجزا در نرم افزار اجرا شده و گردآورنده‌ای که دارای کمترین مقدار برای فاکتور مجموع تفاضلات ساعتی دمای بدست آمده برای مخزن ذخیره سیستم خورشیدی و دمای آب مورد نیاز سیستم گرمایش کفی در اقلیم مورد نظر (بعنوان خروجی مطلوب) باشد، بعنوان گردآورنده با بهترین زاویه افقی انتخاب می‌شود. گردآورنده انتخاب شده مجددا تحت زوایای ۱۰- تا ۳۰ درجه عمودی دوران یافته و مطابق روند فوق الذکر گردآورنده با بهترین زاویه عمودی نیز انتخاب می‌گردد. این فرآیند برای هریک از اقلیم‌های تبریز و تهران بصورت مجزا و در بازه زمانی یکساله انجام می‌گیرد.

گردآورنده صفحه تخت بدلیل سازگاری با شرایط اقلیمی مختلف و راندمان بالا و هزینه نصب پایین نسبت به گردآورنده های لوله خلاء و متمرکز کننده برای این شبیه سازی انتخاب شده است.

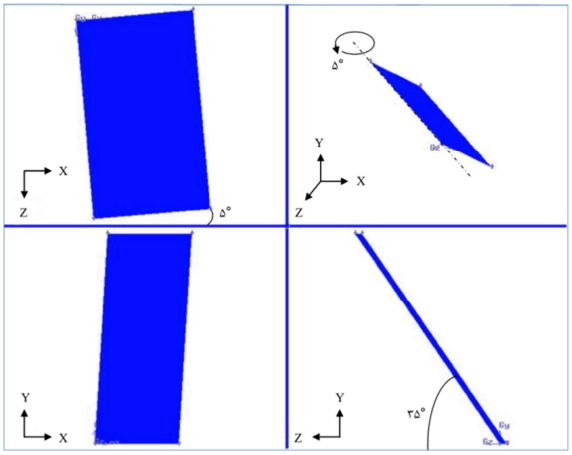
چنانچه از اطلاعات جداول ۸ و ۹ مشخص است، بهترین زوایای کارگذاری گردآورنده‌های صفحه تخت خورشیدی در اقلیم تبریز برای رساندن آب به دمای مورد نظر ۵۵ درجه سلسیوس، ۳۰ درجه افقی و ۵ درجه عمودی می باشد (شکل ۸). زاویه‌های بدست آمده با دوران ۴ نقطه گردآورنده حول محورهای X و Y توسط ماتریس‌های دوران در فضای سه بعدی بدست آمده‌اند. این بررسی بر حسب مجموع تفاضلات ساعتی دمای آب بدست آمده از مخزن ذخیره گردآورنده صفحه تخت خورشیدی در طول سال، با دمای ۵۵ درجه سلسیوس مورد نیاز سیستم گرمایش از کف و روی گردآورنده ۲/۹۷۶۸ متر مربعی (۳۲ فوت مربعی) پیش فرض نرم افزار EnergyPlus صورت گرفته است.

جدول ۸- بهترین زاویه افقی گردآورنده صفحه تخت در اقلیم تبریز

زاویه افقی	$\sum(55°C - T_{H_{tank}})$
۰	۳۸۸,۸۸۲/۱
۵	۳۳۷,۵۵۰
۱۰	۳۳۶,۶۲۳
۱۵	۳۳۵,۷۴۹/۵
۲۰	۳۳۵,۲۲۸/۹
۲۵	۳۳۵,۰۰۰/۶
۳۰	۳۳۵,۴۵۰/۵
۳۵	۳۳۴,۸۹۳/۷
۴۰	۳۳۵,۱۸۵/۸
۴۵	۳۳۵,۹۴۴/۸
۵۰	۳۳۶,۴۸۸/۲
۵۵	۳۳۷,۳۸۸/۸
۶۰	۳۳۸,۵۳۱/۲

جدول ۹- بهترین زاویه عمودی گردآورنده صفحه تخت در اقلیم تبریز

زاویه عمودی	$\sum(55°C - T_{H_{tank}})$
-۱۰	۳۳۵,۳۵۰/۲
-۵	۳۳۵,۰۳۵
۰	۳۳۴,۸۹۳/۷
۵	۳۳۴,۸۹۰/۶
۱۰	۳۳۴,۹۳۱/۵
۱۵	۳۳۵,۱۰۷/۴
۲۰	۳۳۵,۳۶۸/۲
۲۵	۳۳۶,۰۹۰/۱
۳۰	۳۳۶,۱۵۹/۶



شکل ۸- گردآورنده ۴/۴۶ متر مربعی با زوایای کارگذاری بهینه در اقلیم تبریز

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲-۳- مساحت صفحه گردآورنده

گستره ۲/۹۷ تا ۴/۴۶ متر مربع (۳×۸ تا ۴×۱۲ فوت مربعی) را شامل می‌شود که بسته به پتانسیل تابشی ایران، حداکثر مقدار در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. اطلاعات مربوط به گردآورنده بهینه در جدول ۱۰ آورده شده است.

شماره گذاری نقاط گردآورنده روی صفحه برای دوران حول محورهای مختصات، از گوشه سمت چپ بالا و بصورت پادساعتگرد صورت گرفته است؛ بطوریکه نقطه ۲ منطبق بر مبدا مختصات دکارتی قرار دارد.

به طور معمول از کل زیربنای فضای مورد نظر، ۸۰ درصد آن گرمایش از کف انجام می‌شود و حدود ۲۰ درصد مابقی که معمولا فضا هایی مانند کمد دیواری، زیر کابینت ها، اطراف یخچال و ... هستند؛ نیاز به گرمایش از کف ندارند. طبق اطلاعات حاصل از طراحی سیستم گرمایش از کف برای ساختمان مورد مطالعه با زیر بنای ۳,۶۴۵ متر مربع (۲,۹۱۶ مترمربع بعنوان ۸۰ درصد کل زیر بنا، در محاسبه هزینه وارد می شود)، ۱۲,۲۰۹ متر لوله در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱۰- نتایج بدست آمده برای گردآورنده ۴/۴۶ متر مربعی بهینه در اقلیم تبریز

	نقطه/ مولفه	حالت بی بعد	$R_x(35)$	$R_y(5)$
	x	۰	۰	۰٫۱۸۱
۱	y	۳٫۶۶	۳٫۰۰۱	۳٫۰۰۱
	z	۰	۲٫۰۸۶	۲٫۰۷۸
	x	۰	۰	۰
۲	y	۰	۰	۰
	z	۰	۰	۰
	x	۱٫۲۲	۱٫۲۲	۱٫۲۱۵
۳	y	۰	۰	۰
	z	۰	۰	-۰٫۱۰۶
	x	۱٫۲۲	۱٫۲۲	۱٫۳۹۷
۴	y	۳٫۶۶	۳٫۰۰۱	۳٫۰۰۱
	z	۰	۲٫۰۸۶	۱٫۹۷۲
	$\sum(55℃ - T_{H_{tank}})$			۳۲,۵۰۰۷٫۲

مطابق برآورد صورت گرفته، هزینه اجرای سیستم گرمایش از کف با مصالح به ازای هر متر مربع ۴۰۰,۰۰۰ و به ازای هر متر لوله مصرفی ۱۵,۰۰۰ ریال می‌باشد. قیمت اقلام مصرفی از شرکت ایرانی سوپر پایپ اینترنشنال (ارائه دهنده محصولات شرکت یوپونور آلمان در ایران) استعلام گردیده است. بدیهی است در صورت استفاده از اقلام مشابه خارجی هزینه تمام شده به مراتب بالاتر از مقدار بدست آمده خواهد بود.

با مقایسه هزینه کل اجرای سیستم های رادیاتور و گرمایش از کف، در می یابیم که هزینه اجرای سیستم گرمایش از کف ۲۷/۷٪بیشتر از هزینه اجرای سیستم رادیاتور بوده و ۱/۳۸۵ برابر آن است.

بدیهی است حالت ایده‌آل زمانی محقق می‌شود که فاکتور مجموع تفاضلات دمای مخزن و ۴۹ درجه سلسیوس تنظیمی سیستم با اضافه کردن تعداد مشخصی گردآورنده بهینه با مشخصات فوق الذکر به صفر برسد. بدین منظور با اضافه کردن ۱۹ گردآورنده بهینه شده دیگر به گردآورنده اول، نتایج را برای ۲۰ گردآورنده در دوره زمانی زمستان (۱ دی تا ۲۹ اسفند) بررسی می‌کنیم. در نهایت ۱۴ گردآورنده بعنوان مناسب‌ترین تعداد گردآورنده برای اقلیم تبریز انتخاب می‌گردد (جدول ۱۱).

نکته قابل توجه این است که اضافه کردن به تعداد گردآورنده‌ها لزوما به معنای دستیابی به انرژی خورشیدی بیشتر نیست. این مسئله زمانی اهمیت مضاعف می‌یابد که ملاحظات اقتصادی نیز بعنوان فاکتوری مهم در محاسبات وارد شود و محاسبات برای انتخاب تعداد بهینه گردآورنده‌ها را تحت الشعاع قرار دهد. بدین منظور باید با بررسی شرایط پروژه و ملاحظات فنی، بهترین تعداد گردآورنده انتخاب گردد.

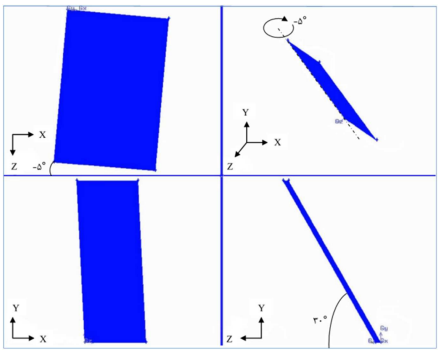
جدول ۱۱- انتخاب تعداد گردآورنده بهینه پروژه برای اقلیم تبریز

A	$\sum(55℃ - T_{H_{tank}})$	B	C
۱	۸۴,۹۰۶٫۷۳	-	-
۲	۸۰,۲۶۷٫۰۵	۵٫۴۶۴	-
۳	۷۶,۰۲۲٫۱۷	۱۰٫۴۶۴	۵
۴	۷۲,۳۵۸٫۹۲	۱۴٫۷۷۸	۴٫۳۱۴
۵	۶۹,۱۹۱٫۳	۱۸٫۵۰۹	۳٫۷۳۰
۶	۶۶,۴۰۱٫۶۶	۲۱٫۷۹۴	۳٫۲۸۵
۷	۶۳,۹۷۴٫۸۴	۲۴٫۶۵۲	۲٫۸۵۸
۸	۶۱,۸۰۴٫۹۴	۲۷٫۲۰۸	۲٫۵۵۵
۹	۵۹,۸۷۲٫۵۷	۲۹٫۴۸۴	۲٫۲۷۵
۱۰	۵۸,۱۴۸٫۰۲	۳۱٫۵۱۵	۲٫۰۳۱
۱۱	۵۶,۵۶۵٫۳۱	۳۳٫۳۷۹	۱٫۸۶۴
۱۲	۵۵,۱۱۸٫۱۷	۳۵٫۰۸۳	۱٫۷۰۴
۱۳	۵۳,۸۳۱/۴۱	۳۶٫۵۹۹	۱٫۵۱۵
۱۴	۵۲,۶۰۳٫۷۷	۳۸٫۰۴۵	۱٫۴۴۵
۱۵	۵۱,۴۹۴٫۴۹	۳۹٫۳۵۱	۱٫۳۰۶
۱۶	۵۰,۴۷۷٫۰۸	۴۰٫۵۴۹	۱٫۱۹۸
۱۷	۴۹,۵۰۶٫۲۸	۴۱٫۶۹۳	۱٫۱۴۳
۱۸	۴۸,۴۸۲٫۱	۴۲٫۸۹۹	۱٫۲۰۶
۱۹	۴۷,۶۶۹٫۷۹	۴۳٫۸۵۶	۰٫۹۵۶
۲۰	۴۶,۹۰۷٫۱۴	۴۴٫۷۵۴	۰٫۸۹۸

بهینه‌سازی زوایای کارگذاری گردآورنده‌ها برای اقلیم تهران، با انتخاب زوایای ۳۰ درجه افقی و ۵- درجه عمودی (شکل ۹) به شرح اطلاعات جداول ۱۲ الی ۱۴ تکرار گردیده و گردآورنده ۴/۴۶ متر مربعی بهینه مدل‌سازی می‌گردد (جداول ۱۲ الی ۱۶). با اضافه کردن ۱۹ گردآورنده بهینه دیگر به گردآورنده اول و با بررسی فاکتور مجموع تفاضلات ساعتی دمای آب بدست آمده از مخزن ذخیره و دمای تنظیمی سیستم در دوره سه ماهه زمستان (۱دی تا ۲۹ اسفند) برای انتخاب بهترین تعداد گردآورنده گرمایشی با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و اقتصادی، ۱۰ گردآورنده بعنوان مناسبترین تعداد گردآورنده برای اقلیم تهران انتخاب می‌گردد (جدول ۱۵).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- گردآورنده ۴/۴۶ متر مربعی با زوایای کارگذاری بهینه در اقلیم تهران

جدول ۱۲- بهترین زاویه افقی گردآورنده صفحه تخت در اقلیم تهران

زاویه افقی	$\sum(49℃ - T_{H_{tank}})$
۰	۲۵۹,۳۲۷/۷
۵	۲۵۶,۲۱۹/۷
۱۰	۲۵۴,۰۲۷/۸
۱۵	۲۵۱,۹۸۸/۳
۲۰	۲۵,۰۷۱۱
۲۵	۲۵۰,۱۳۶/۱
۳۰	۲۴۹,۵۱۷/۸
۳۵	۲۴۹,۶۷۷/۷
۴۰	۲۵۰,۲۶۵/۱
۴۵	۲۵۱,۶۹۳/۴
۵۰	۲۵۲,۸۲۱/۷
۵۵	۲۵۴,۷۵۸/۷
۶۰	۲۵۷,۲۲۹

جدول ۱۳- بهترین زاویه عمودی گردآورنده صفحه تخت در اقلیم تهران

زاویه عمودی	$\sum(49℃ - T_{H_{tank}})$
-۱۰	۲۴۹,۲۴۸/۵
-۵	۲۴۹,۰۷۹/۹
۰	۲۴۹,۵۱۷/۸
۵	۲۵۰,۲۸۵/۲
۱۰	۲۵۱,۲۲۰/۶
۱۵	۲۵۲,۴۲۶/۴
۲۰	۲۵۳,۷۷۰
۲۵	۲۵۵,۸۰۷/۴
۳۰	۲۵۷,۲۴۲/۶

جدول ۱۴- نتایج بدست آمده برای گردآورنده ۴/۴۶ متر مربعی بهینه در اقلیم تهران

نقطه/ مولفه		حالت بی بعد	$R_x(30)$	$R_y(-5)$
	x	۰	۰	-۰/۱۵۹
۱	y	۳/۶۶	۳/۱۷	۳/۱۷
	z	۰	۱/۸۳	۱/۸۲۳
	x	۰	۰	۰
۲	y	۰	۰	۰
	z	۰	۰	۰
	x	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۱۵
۳	y	۰	۰	۰
	z	۰	۰	۰/۱۰۶
	x	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۰۵۶
۴	y	۳/۶۶	۳/۱۷	۳/۱۷
	z	۰	۱/۸۳	۱/۹۲۹
	$\sum(49℃ - T_{H_{tank}})$			۲۲۸,۵۸۲/۱

جدول ۱۵- انتخاب تعداد گردآورنده بهینه پروژه برای اقلیم تهران

A	$\sum(49℃ - T_{H_{tank}})$	B	C
۱	۶۲,۰۲۳/۱۴	-	-
۲	۵۰,۳۶۸/۶۸	۱۸/۷۹	-
۳	۴۰,۰۰۰/۸۸	۳۵/۵۰	۱۶/۷۱
۴	۳۱,۳۷۷/۳۲	۴۹/۴۱	۱۳/۹۰
۵	۲۳,۲۶۱/۸۴	۶۲/۴۹	۱۳/۰۸
۶	۱۵,۹۳۵/۱۸	۷۴/۳۰	۱۱/۸۱
۷	۹۵,۳۸/۰۳۵	۸۴/۶۲	۱۰/۳۱
۸	۴,۶۹۲/۷۱	۹۲/۴۳	۷/۸۱
۹	۱,۰۶۱/۲۴۴	۹۸/۲۸	۵/۸۵
۱۰	-۱,۶۲۷	۱۰۲/۶۲	۴/۳۳
۱۱	-۳,۸۸۳/۴۹	۱۰۶/۲۶	۳/۶۳
۱۲	-۵,۷۸۳/۵۳	۱۰۹/۳۲	۳/۰۶
۱۳	-۷,۲۸۴/۱۹	۱۱۱/۷۴	۲/۴۱
۱۴	-۸,۴۶۳/۴	۱۱۳/۶۴	۱/۹۰
۱۵	-۹,۰۷۰/۱۳	۱۱۴/۶۲	۰/۹۷
۱۶	-۹,۶۵۶/۰۸	۱۱۵/۵۶	۰/۹۴
۱۷	-۱۰,۰۱۵/۳	۱۱۶/۱۴	۰/۵۸
۱۸	-۱۰,۳۴۴	۱۱۶/۶۷	۰/۵۳
۱۹	-۱۰,۵۸۴/۲	۱۱۷/۰۶	۰/۳۹
۲۰	-۱۰,۸۴۳/۶	۱۱۷/۴۸	۰/۴۲

جدول ۱۶- گزارش EnergyPlus از گردآورنده تخت ۴/۴۶۵۲ متر مربعی

پارامتر	ارزش
مساحت گردآورنده(m^2)	۴/۴۳۶
ضریب ۱ معادله بهره وری (بعد)	۰/۶۹۱
ضریب ۲ معادله بهره وری($W/m^2.K$)	-۳/۳۹۶
ضریب ۳ معادله بهره وری($W/m^2.K^2$)	-۰/۰۰۱۹۳
ضریب ۲ اصلاح زاویه	-۰/۱۹۳۹
ضریب ۳ اصلاح زاویه	-۰/۰۰۵۵

www.SID.ir

Archive of SID

۳- نتایج

بنا به آمار آخرین ترازنامه انرژی منتشر شده تا کنون (۱۳۹۱)، دی اکسید کربن به عنوان اصلی ترین عامل آلودگی هوا تقریبا ۲۳ درصد از سهم آلودگی هوا در بخش تجاری و عمومی را داراست[۱۷]. میزان دی اکسید کربن حاصل از سوختن گاز طبیعی طبق واکنش زیر قابل محاسبه است [۱۷]:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \quad (۳)$$

$$16 + 64 \rightarrow 44 + 36 \ (kg) \quad (۴)$$

بر اساس روابط (۳) و (۴) به ازای هر کیلوگرم گاز طبیعی ۲/۷۵ کیلوگرم CO_2 تولید می شود.

نتایج حاصل از طراحی بهینه سیستم گرمایش از کف برای ساختمان مورد مطالعه در اقلیم‌های تبریز و تهران و مقایسه آن با سیستم رادیاتور به تفکیک مصرف سالیانه گاز طبیعی و تولید CO_2 در جدول ۱۷ آورده شده است.

جدول ۱۷- میزان مصرف گاز طبیعی و تولید CO_2 سیستم‌های رادیاتور و گرمایش از کف در اقلیم‌های تبریز و تهران

سیستم گرمایشی / فاکتور مورد محاسبه		اقلیم تبریز	اقلیم تهران
رادیاتور	گاز مصرفی سالیانه (m^3)	۷۳,۱۹۳	۵۷,۹۷۶/۷
	گاز مصرفی سالیانه (kg)	۵۶,۸۷۱	۴۵,۰۴۸
	CO_2تولیدی سالیانه (kg)	۱۵۶,۳۹۵/۲	۱۲۳,۸۸۲
گرمایش از کف	گاز مصرفی سالیانه (m^3)	۵۷,۰۵۳/۲	۴۶,۶۵۲/۵
	گاز مصرفی سالیانه (kg)	۴۴,۳۳۰/۳	۳۶,۲۴۹
	Co_2تولیدی سالیانه (kg)	۱۲۱,۹۰۸/۳	۹۹,۶۸۴/۷
درصد صرفه جویی		۲۲	۱۹/۵

تولید گرما با هزینه‌های اجتماعی همراه است که عمدتاً این نوع هزینه، بر افرادی تحمیل می‌گردد که نقشی در تولید آن ندارند. بر اساس پیوست ۱ از ترازنامه انرژی سال۱۳۹۱هزینه اجتماعی انتشار هرتن CO2 بر اساس مطالعه بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ۸۰,۰۰۰ ریال در نظر گرفته می‌شود [۱۸].

پس از انتخاب بهترین تعداد گردآورنده گرمایشی در اقلیم مورد نظر کارایی سیستم گرمایشی از کف خورشیدی برای آن اقلیم مشخص شده و نتایج در قالب جداول منتشر می گردد و در نهایت، آورده اقتصادی طرح، ناشی از صرفه جویی در مصرف گاز طبیعی با احتساب قیمت های داخلی و جهانی گاز طبیعی مورد محاسبه قرار گرفته، آثار مثبت زیست محیطی اجرای پروژه و کاهش هزینه های اجتماعی حاصل از بهره‌برداری سیستم در اقلیم مورد نظر مشخص خواهد شد.

مطابق اطلاعات جدول ۱۸، سیستم گرمایشی ترکیبی طراحی شده برای ساختمان مورد مطالعه در اقلیم تهران کارایی بالایی داشته و در صورت اجرا، صرفه جویی ۵۷/۹ درصدی در مصرف انرژی را به همراه خواهد داشت (جدول ۱۹). میزان گاز مصرفی و CO_2 تولیدی سیستم گرمایش از کف ساختمان مورد مطالعه در دوره سه ماهه زمستان با استفاده از رابطه (۱) و مطالب مندرج در بخش ۲ بشرح جدول ۲۰ می‌باشد. با تاثیر دادن میزان صرفه جویی بدست آمده در اطلاعات جدول ۱۵، میزان گاز مصرفی و CO_2 تولیدی در دوره سه ماهه به شرح جدول ۲۱ خواهد شد. همچنین مزیت اقتصادی سیستم در جدول ۲۲ ذکر شده است.

جدول ۱۸- هزینه اجتماعی برحسب میلیون ریال بر تن

نوع گاز	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
هزینه	۴/۸	۱۴/۶	۱/۵	۳۴/۴	۰/۰۸	۱/۶۸

جدول ۱۹- بررسی کارایی سیستم گرمایش از کف خورشیدی در اقلیم‌های تبریز و تهران

طول دوره	اقلیم تبریز			اقلیم تهران		
۲۱۱۲	D	E	F	D	E	F
ساعت*	۱۱	۰/۵۲	×	۱۲۲۳	۵۷/۹	✓

* اطلاعات روز اول دوره، بدلیل نوسانات زیاد در محاسبات وارد نشده است.

جدول ۲۱- اطلاعات بدست آمده برای سیستم گرمایش از کف تابشی اقلیم تهران در طول دوره

فاکتور محاسبه شده / واحد	مقدار
گاز مصرفی سه ماهه (m^3)	۶۷۵۳
گاز مصرفی سه ماهه (kg)	۵۲۴۷
CO_2 تولیدی سه ماهه (kg)	۱۴۴۲۹/۳۵

جدول ۲۲- صرفه اقتصادی بدست آمده از اجرای سیستم گرمایش از کف خورشیدی در اقلیم تهران

پارامترها	واحد	مقادیر
قیمت گاز طبیعی در کشور [۱۴]	ریال/ مترمکعب	۶۹۹
قیمت جهانی گاز طبیعی [۱۶]	سنت/ مترمکعب	۴۸/۷
صرفه جویی دوره با قیمت داخلی	ریال	۳,۴۳۲,۱۷۴
صرفه جویی دوره با قیمت جهانی	ریال	۷۱,۷۳۶,۸۵۳

مضاف براینکه مطابق مطالب مندرج پیرامون محاسبه هزینه اجتماعی ناشی از انتشار گازهای آلاینده، در صورت استفاده از سیستم گرمایش از کف خورشیدی طراحی شده، با جلوگیری از ورود ۱۰/۵ تن دی اکسید کربن به هوا، هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن به مقدار ۸۳۹,۳۶۰ ریال کاهش می‌یابد.

این هزینه ها زمانی شکل می‌گیرد که فعالیت های اقتصادی یک یا چند گروه، با ایجاد اثراتی چون آثار سوء زیست محیطی مستقیم (نظیر انتشار آلاینده ها)، بر گروه های دیگر اثر منفی بگذارد. به عبارت دیگر در علم محیط زیست برای کمی نمودن اثرات سوءزیست محیطی و بهداشتی از این واژه استفاده می‌شود. برای محاسبه دقیق هزینه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

اجتماعی باید ارزش واحدهای زیست محیطی شناخته شود و میزان تاثیر انواع آلاینده‌ها بر واحدهای زیست محیطی برآورد گردد که در کارهای آینده جای مطالعه دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با طراحی بهینه سیستم گرمایش از کف بعنوان یکی از به روز ترین و کارآمد ترین سیستم‌های گرمایش محیط برای ساختمان مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی تبریز در اقلیم‌های تبریز (سردسیر) و تهران (معتدل)، صرفه جویی ۲۲٪ مصرف گاز طبیعی در طول دوره زمستان برای اقلیم تبریز و ۱۹/۵٪ برای اقلیم تهران حاصل شد. در ادامه با توجه به قابلیت ویژه سیستم گرمایش از کف در استفاده از آب با دمای پایین نسبت به سایر سیستم‌های موجود گرمایش با آب، با طراحی بهینه گردآورنده‌های صفحه تخت خورشیدی در اقلیم‌های تبریز و تهران کارایی سیستم گرمایش خورشیدی در صورت اتصال به سیستم گرمایش کفی در هر یک از اقلیم‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. بنا به نتایج بدست آمده، سیستم ترکیبی طراحی شده در اقلیم تبریز ۰/۵۲ درصد و در اقلیم تهران ۵۷/۹ درصد کارایی خواهد داشت که طبیعتاً اجرای سیستم طراحی شده به لحاظ پتانسیل تابشی در اقلیم تبریز امکان‌پذیر نخواهد بود.

با اجرای این سیستم برای ساختمانی با مشخصات مشابه در اقلیم تهران، ۴،۹۱۰ متر مکعب در مصرف گاز طبیعی در طول دوره زمستان صرفه جویی شده و از خروج ۲،۳۹۱ دلار ارز از کشور جلوگیری خواهد شد. جلوگیری از ورود بیش از ۱۰ تن CO_2 به هوای تهران از نتایج مهم دیگر طرح می‌باشد.

۵- سپاسگزاری

نویسندگان با کمال احترام از راهنمایی‌های پیوسته و بی‌دریغ جناب آقای دکتر علیرضا الهامی عضو هیئت علمی و مساعدت‌های ارزشمند و تشویق‌های مثمر ثمر جناب آقای دکتر محمدحسین صادقی ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین‌المللی جلفا در راستای انجام این تحقیق قدردانی و سپاس بعمل می‌آورند.

۶- نمادها

A	تعداد گردآورنده
B	بهبود نسبت به گردآورنده اول (٪)
C	بهبود نسبت به گردآورنده قبل (٪)
D	پاسخگویی گرمایش خورشیدی (ساعت)
E	صرفه جویی سیستم ترکیبی گرمایشی (٪)
F	کارایی

۷- مراجع

[1] Bellos E., Tzivanidis C., Prassas A., and Antonopoulos K. A., *Modelling of a Solar Assisted Floor Heating System with TRNSYS.* Springer International Publishing, Energy, Transportation and Global Warming Part of the series Green Energy and Technology, pp 355-369, 2016.

[2] Fantidis, J. G., Bandekas, D. V., Potolias, C., and Vordos, N., Cost of PV Electricity - Case Study of Greece. *Solar Energy*, No. 91, pp. 120–130, 2013.

[3] Asimakopoulos D. A., Santamouris M., Farrou I., Laskari, M., Saliari M., Zanis G., Giannakidis G., Tigas K., Kapsomenakis J., Douvis C., Zerefos, S. C., Antonakaki T., and Giannakopoulos C., Modelling the Energy Demand Projection of the Building Sector in Greece in the 21st Century. *Energy and Buildings*, No. 49, pp. 488–498, 2012.

[۴] مالکی پور محمدصادق، زاهدی محمد، شیخ زاده قنبرعلی، کاهش مصرف انرژی برای تامین گرمایش و آبگرم ساختمان با بکارگیری سیستم گرمایش از کف خورشیدی در شهر کاشان. *اولین کنفرانس ملی خانه سبز*، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۲.

[5] Gao R., Li A., Zhang O., and Zhang H., Comparison of Indoor Air Temperatures of Different Under-Foor Heating Pipe Layouts. *Energy Conversion and Management*, No. 52, pp. 1295–1304, 2011.

[۶] حلاجی محسن، حدیدی امین، نوروزی چمران، سرورالدین آبادی امیر، طراحی سیستم ترکیبی گرمایش خورشیدی-گرمایش از کف برای گرمایش سالن‌های صنعتی در شرایط اقلیمی ایران. *سومین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع*، تهران، ایران، ۱۳۹۰.

[۷] اشرفی زاده سیدعلی، فرخی حبیب اله، فرخی زینب، سیستم گرمایش ازکف سالن مرغداری با استفاده از انرژی خورشیدی. *اولین همایش ملی مدیریت انرژی های نو و پاک*، دانشگاه شهید مفتح همدان، ۱۳۹۳.

[۸] پسته سید مهدی، آذریون یونس، حسن‌زاده سیامند، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از آبگرم‌کن‌های خورشیدی و سیستم گرمایش کفی. *چهارمین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان*، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، تهران، ۱۳۸۴.

[9] Avenir Software Inc., LoopCAD 2012 professional.

[10] Guntermann A., A Simplified Degree-Day Method for Commercial and Industrial Buildings. *ASHRAE JOURNAL*, No. 24, pp. 29-32, 1982.

[۱۱] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان تاسیسات گرمایی تعویض هوا و تهویه مطبوع. *دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان*، تهران، ۱۳۹۳.

[12] Walsh B., Seasonal Efficiency. *Hamworthy Building Regulations (Amendment) Part L Compliance*, No. B500002507, pp. 1-2, 2014.

[۱۳] نهاوندی آرش، صرفه‌جویی در مصرف انرژی با سیستم گرمایش از کف. *همشهری آنلاین*، ۱۳۸۹.

[14] US Department Of Energy, EnergyPlus V8-0 Software.

[15] Gunn E., How Do You Properly Size The Storage Tank For A Solar Thermal System. *SunMaxxSolar Hot Water Solution*, 2015, Available at: http://www.sunmaxxsolar.com/sizing-the-storage-tank.php.

[16] Mehalic B., Flat-Plate and Evacuated-Tube Solar Thermal Collectors. *home power Magazine*, No. Issue #132, pp. 1, 2009.

[۱۷] دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱. *معاونت امور برق و انرژی*، تهران، ۱۳۹۳.

[۱۸] خلجی اسدی مرتضی، عابدی زهرا، شرعی نیما، سیستم‌های ترکیبی خورشیدی راه حلی نوین برای گرمایش در ساختمان‌ها. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، شماره سه، صفحات ۲۶-۲۴، پاییز ۱۳۸۸.

www.SID.ir