

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

سیستم گرمایش کفی

(انتخاب، طراحی، نصب، راه اندازی، سرویس و نگهداری)

دکتر شهرام دلفانی

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

مهندس مریم کرمی

مهندس هادی پاسدارشهری

مهندس جعفر اسماعیلیان

شماره نشر: ک - ۵۷۸

چاپ اول: ۱۳۹۰

عنوان و نام پدیدآور	سیستم گرمایش کفی (انتخاب، طراحی، نصب، راه‌اندازی، سرویس و نگهداری) / شهرام دلفانی ... (و دیگران).
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	س. ۲۵۶ ص. مصور، جدول، نمودار.
فروست	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن: شماره نشر: ک - ۵۷۸.
شابک	978-600-113-061-8
وضعیت فهرست‌نویسی	فیفا
یادداشت	[مولفان] شهرام دلفانی، مریم کرمی، هادی پاسبان، شهرام جعفر اسماعیلیان.
موضوع	گرمایش تشعشعی.
موضوع	گرمایش با آب.
شناسه افزودن	دلفانی، شهرام، ۱۳۵۲ -
شناسه افزودن	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۰ س/۹۳۳۱ (QC)
رده‌بندی دیویی	۵۳۶/۳
شماره کتابخانه ملی	۲۳۲۸۱۰۴

مصوبه شماره ۹۰/۶۵۲ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

سیستم گرمایش کفی (انتخاب، طراحی، نصب، راه‌اندازی، سرویس و نگهداری)

دکتر شهرام دلفانی، مهندس مریم کرمی، مهندس هادی پاسبان، شهرام جعفر اسماعیلیان

شماره نشر: ک - ۵۷۸، چاپ اول، ۱۳۹۰

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۵۰۰۰۰ ریال (به همراه یک لوح فشرده)

طرح روی جلد: فرنام میرهاشمی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

شلفی: تهران، بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل.

خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت

صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

پیشگفتار

یکی از سیستم‌های تأسیساتی بسیار کارا در زمینه تامین گرمایش ساختمان‌های مختلف به‌ویژه در کاربری‌های مسکونی، اداری و تجاری، سیستم گرمایش کفی است که امروزه در ایران نیز بسیار رایج شده است. در این سیستم، سهم عمده انتقال حرارت، از نوع حرارت تابشی می‌باشد که به‌جای گرم کردن هوای محیط داخل (که ضریب جذب بسیار پایینی دارند)، افراد و ساکنین آن فضاها به دلیل دارا بودن ضریب جذب انرژی تابشی مناسب، این انرژی را جذب می‌کنند. به همین دلیل میزان مصرف انرژی در این سیستم کمتر از سیستم‌های گرمایی دیگری است که عموماً هوای محیط داخل را گرم می‌کنند.

از دیگر مزایای این سیستم می‌توان به ایجاد آسایش حرارتی بالا اشاره نمود. در این سیستم توزیع دما در ساختمان به‌گونه‌ای است که انسان احساس آسایش حرارتی بالایی می‌نماید. ولی در سایر سیستم‌های تهویه مطبوع به دلیل گرم نمودن هوا و بالا رفتن هوای گرم به سمت بالا، توزیع دمای مناسبی حاصل نشده و آسایش حرارتی اندکی به‌وجود می‌آید.

وجود این دو مزیت و نقش آن بر مشخصه‌هایی چون میزان مصرف انرژی و رسیدن به حداکثر آسایش در ساختمان، موجب گردیده که سیستم گرمایش کفی نسبت به سایر سیستم‌های گرمایی آبی و یا دیگر سیستم‌های تهویه مطبوعی نظیر سیستم‌های هوایی، آبی - هوایی یا سیستم‌های مستقل برتری محسوسی داشته باشد.

متأسفانه با وجود تمامی مزایای ذکر شده، در جامعه مهندسی تأسیسات ایران مدارکی فنی که بتواند نیاز طراحی، نصب، راه‌اندازی و ... این‌گونه سیستم‌ها را برآورده سازد، وجود نداشته و همین امر موجب استفاده ناصحیح از این سیستم شده به‌گونه‌ای که نیاز کاربران ساختمان، که همان رسیدن به آسایش حرارتی بیشتر و مصرف انرژی کمتر است، مرتفع نمی‌شود.

مجموعه‌ای که پیش‌رو است، حاصل تحقیقات و تجربیات محققان مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در این راستا بوده و سعی شده در قالب مجموعه‌ای منسجم در اختیار جامعه



مهندسی کشور قرار گیرد. امید است که این مجموعه بتواند نیازهای جامعه مهندسی کشور را در زمینه استفاده از سیستم‌های گرمایش کفی تأمین نماید.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

www.ketab.ir

۱	فصل اول: مقدمه
۶	۱-۱ ارزیابی مصرف انرژی سیستم گرمایش کفی
۹	فصل دوم: اصول و مبانی
۹	۱-۲ اصول تابش گرمایش کفی
۱۰	۱-۱-۲ انتقال حرارت از سطوح صفحه
۱۰	۱-۱-۲-۱ انتقال تابشی
۱۴	۲-۲-۲ انتقال حرارت مرکب (تابش و جابجایی)
۱۶	۲-۲ آسایش حرارتی
۱۹	۱-۲-۲ تاثیر سیستم‌های توزیع حرارت
۲۱	۱-۱-۲-۲ توزیع دمای اتاق
۱۲	۲-۱-۱-۲ انتقال جابجایی
۲۵	۲-۲-۲ کیفیت هوای داخل
۲۹	فصل سوم: طراحی
۲۹	۱-۳ ملاحظات عمومی طراحی
۲۹	۱-۱-۳ مقاومت حرارتی صفحه
۳۱	۲-۱-۳ تأثیر پوشش‌های کف
۳۲	۳-۱-۳ اتلاف حرارتی صفحه
۳۳	۴-۱-۳ طراحی صفحه‌ها
۳۶	۲-۳ طراحی صفحه‌های تابشی
۳۶	۳-۳ نحوه انتخاب لوله
۳۶	۱-۳-۳ جنس لوله
۳۷	۱-۱-۳-۳ PEX چیست؟
۳۸	۲-۱-۳-۳ نفوذ اکسیژن
۳۹	۳-۱-۳-۳ ممانعت از نفوذ اکسیژن
۴۰	۴-۱-۳-۳ لوله‌های تلفیقی

۴۱.....	۳-۱-۳-۵ تنش
۴۲.....	۳-۱-۳-۶ درجه بندی دما و فشار
۴۲.....	۳-۱-۳-۷ قطر و ظرفیت لوله
۴۲.....	۳-۱-۳-۸ اتصالات
۴۳.....	۳-۱-۳-۹ دیگر قطعات
۴۳.....	۳-۲-۲ قطر لوله
۴۴.....	۳-۲-۳ عمق نصب لوله
۴۵.....	۳-۲-۴ منطقه بندی حرارتی
۴۷.....	۳-۴-۱ اتاق نشیمن
۴۸.....	۳-۴-۲ اتاق خواب
۴۸.....	۳-۴-۳ حمام
۴۹.....	۳-۴-۴ اتاقهای خاص
۴۹.....	۳-۴-۵ گاراژ
۴۹.....	۳-۴-۶ آشپزخانه
۴۹.....	۳-۴-۷ فضای عمومی
۵۰.....	۳-۴-۸ محیط بیرون
۵۰.....	۳-۵-۵ چندراهه
۵۲.....	۳-۵-۱ محل نصب چندراهه
۵۵.....	۳-۶-۱ چگونگی آرایش لوله ها
۶۱.....	فصل چهارم: نصب و اجرا
۶۱.....	۴-۱ سیستم های لوله کشی
۶۱.....	۴-۱-۱ سیستم لوله کشی بستر بتنی
۶۶.....	۴-۱-۱-۱ معیار نصب
۶۸.....	۴-۱-۲ سیستم لوله کشی بستر نازک
۶۹.....	۴-۱-۲-۱ وزن کف
۶۹.....	۴-۱-۲-۲ افزایش ضخامت
۷۰.....	۴-۱-۲-۳ بتن سبک
۷۱.....	۴-۲-۱-۴ سیستم های با پایه گچی



- ۷۳..... ۵-۲-۱-۴ میزان استفاده از سیستم‌های بستر نازک
- ۷۳..... ۳-۱-۴ سیستم لوله‌کشی خشک
- ۷۴..... ۱-۳-۱-۴ صفحات پخش گرما
- ۷۷..... ۲-۳-۱-۴ نصب لوله آب گرم روی لایه زیرکف
- ۸۰..... ۳-۳-۱-۴ آزمایش‌های راه‌اندازی
- ۸۰..... ۱-۳-۳-۱-۴ آزمایش نشتی
- ۸۱..... ۲-۳-۳-۱-۴ آزمایش فشار
- ۸۲..... ۳-۳-۳-۱-۴ آزمایش پیش‌گرمایش
- ۸۲..... ۱-۲-۴ منابع تولید حرارت
- ۸۲..... ۱-۱-۲-۴ دیگ‌ها
- ۸۳..... ۱-۱-۱-۲-۴ دیگ‌های معمولی غیر تقطیری
- ۸۵..... ۱-۱-۱-۱-۲-۴ دیگ‌های چدنی
- ۸۶..... ۲-۱-۱-۱-۲-۴ دیگ‌های فولادی
- ۸۷..... ۲-۱-۱-۲-۴ دیگ‌های تقطیری
- ۹۰..... ۳-۱-۱-۲-۴ مقایسه دیگ‌های معمولی و تقطیری
- ۹۲..... ۴-۱-۱-۲-۴ انتخاب سوخت
- ۹۲..... ۵-۱-۱-۲-۴ منبع سوخت
- ۹۴..... ۶-۱-۱-۲-۴ مشعل‌ها
- ۹۴..... ۱-۶-۱-۱-۲-۴ مشعل‌های مایع‌سوز
- ۹۵..... ۲-۶-۱-۱-۲-۴ مشعل‌های گازسوز
- ۹۵..... ۷-۱-۱-۲-۴ انتخاب دیگ
- ۹۶..... ۸-۱-۱-۳-۴ بازده دیگ
- ۹۶..... ۹-۱-۱-۲-۴ دودکش
- ۹۷..... ۲-۱-۱-۲-۴ دیگ و مخزن الکتریکی
- ۹۷..... ۲-۱-۲-۴ پمپ گرمایی آبی
- ۹۸..... ۱-۲-۱-۲-۴ پمپ گرمایی با منبع مدار بسته
- ۱۰۰..... ۲-۲-۱-۲-۴ محدوده دامنه دمای پمپ گرمایی
- ۱۰۰..... ۳-۱-۲-۴ کلکتورهای خورشیدی



- ۱۰۱..... ۲-۲-۴ پمپ‌های سیرکولاسیون
- ۱۰۳..... ۱-۲-۲-۴ طراحی پمپ
- ۱۰۷..... ۲-۲-۲-۴ وضعیت قرارگیری پمپ
- ۱۰۹..... ۳-۲-۲-۴ نصب پمپ
- ۱۱۰..... ۴-۲-۲-۴ محل پمپ
- ۱۱۱..... ۵-۲-۲-۴ شناخت مشخصه هد پمپ
- ۱۱۲..... ۵-۲-۲-۴ منحنی عملکرد پمپ
- ۱۱۳..... ۶-۲-۲-۴ وجه تمایز پمپ‌ها
- ۱۱۴..... ۷-۲-۲-۴ پمپ‌های سری
- ۱۱۵..... ۸-۲-۲-۴ پمپ‌های موازی
- ۱۱۷..... ۹-۲-۲-۴ پمپ آماده بکار
- ۱۱۷..... ۱۰-۲-۲-۴ پمپ‌های ترکیبی
- ۱۱۸..... ۱۱-۲-۲-۴ کاویتاسیون
- ۱۲۰..... ۱۲-۲-۲-۴ انتخاب پمپ
- ۱۲۰..... ۳-۲-۴ شیرها
- ۱۲۱..... ۱-۳-۲-۴ شیر دروازه‌ای
- ۱۲۱..... ۲-۳-۲-۴ شیر بشقابی
- ۱۲۲..... ۳-۳-۲-۴ شیر توپی
- ۱۲۳..... ۴-۳-۲-۴ شیر یک‌طرفه
- ۱۲۴..... ۵-۳-۲-۴ شیر فشارشکن
- ۱۲۵..... ۶-۳-۲-۴ شیر اطمینان فشار
- ۱۲۶..... ۷-۳-۲-۴ ممانعت از برگشت جریان (جریان معکوس)
- ۱۲۷..... ۸-۳-۲-۴ تنظیم جریان
- ۱۲۸..... ۹-۳-۲-۴ شیر مخلوط
- ۱۳۱..... ۱۰-۳-۲-۴ شیر کنترل منطقه‌ای
- ۱۳۲..... ۱۱-۳-۲-۴ شیر اختلاف فشار کنارگذر
- ۱۳۳..... ۱۲-۳-۲-۴ شیرهای هواگیری
- ۱۳۴..... ۴-۲-۴ منبع انبساط



- ۱۳۵..... ۱-۴-۲-۴ منبع انبساط باز
- ۱۳۶..... ۲-۴-۲-۴ منبع انبساط بسته
- ۱۳۸..... ۳-۴-۲-۴ تطابق منبع با سیستم
- ۱۳۹..... ۴-۴-۲-۴ وسعت انتخاب
- ۱۳۹..... ۵-۴-۲-۴ محل نصب منبع
- ۱۴۱..... ۴-۲-۴ تامین آب گرم مصرفی
- ۱۴۲..... ۱-۴-۲-۴ کویل
- ۱۴۲..... ۲-۴-۲-۴ منبع دوجداره
- ۱۴۳..... ۳-۴-۲-۴ منبع کویلی
- ۱۴۴..... ۴-۴-۲-۴ بار حرارتی اضافی
- ۱۴۵..... ۵-۲-۴ کنترلها و سیستمهای کنترلی
- ۱۵۶..... ۳-۴ ترکیب سیستم گرمایش کفی با سیستمهای گرمایش آبی موجود
- ۱۵۷..... ۱-۳-۴ ازدیاد گرمایش ساختمان
- ۱۵۷..... ۲-۳-۴ مشکل دما
- ۱۵۸..... ۱-۲-۳-۴ مخلوط کردن به روش دستی
- ۱۵۹..... ۲-۲-۳-۴ مخازن اختلاط
- ۱۵۹..... ۳-۲-۳-۴ مبدلهای حرارتی
- ۱۶۰..... ۴-۳-۳-۴ شیرهای مخلوط
- ۱۶۲..... ۵-۳-۳-۴ مخلوط کردن با تزریق آب
- ۱۶۲..... ۱-۵-۳-۳-۴ شیر دوراوه ترموستاتیک
- ۱۶۳..... ۲-۵-۳-۳-۴ شیر دوراوه موتوردار
- ۱۶۳..... ۳-۵-۳-۳-۴ پمپ تزریق دور متغیر
- ۱۶۷..... فصل پنجم: نگهداری و تعمیر
- ۱۶۷..... ۱-۵-۵ دیگ
- ۱۶۹..... ۲-۵-۵ مشعل
- ۱۶۹..... ۱-۲-۵ مشعلهای گازی
- ۱۷۱..... ۲-۲-۵ مشعلهای گازوئیلی
- ۱۷۵..... ۳-۵-۵ پمپ

۱۸۰	۴-۵ آب گرمکن
۱۸۵	پیوست الف: اصول تابش گرمایی
۱۸۵	الف-۱ مفاهیم بنیادی تابش
۱۸۶	الف-۱-۱ شدت تابش
۱۸۷	الف-۱-۲ رابطه شدت تابش با صدور انرژی
۱۸۸	الف-۱-۳ رابطه تابش با شدت تابش ورودی
۱۸۸	الف-۱-۴ رابطه تابش با شدت تابش خروجی
۱۸۸	الف-۱-۵ تابش جسم سیاه
۱۸۹	الف-۱-۶ توزیع پلانک
۱۸۹	الف-۱-۷ قانون جابجایی وین
۱۸۹	الف-۱-۸ قانون استفان-بولتزمن
۱۹۰	الف-۱-۹ صدور تابش در طول موج محدود
۱۹۱	الف-۱-۱۰ خواص تابش
۱۹۲	الف-۱-۱۰-۱ صدور تابش از سطح
۱۹۲	الف-۱-۱۰-۲ ضریب جذب
۱۹۳	الف-۱-۱۰-۳ ضریب بازتابش
۱۹۴	الف-۱-۱۰-۴ ضریب عبور
۱۹۴	الف-۱-۱۱ محاسبه ضریب دید
۲۰۱	پیوست ب: دمای متوسط تابشی و کارکردی
۲۰۱	ب-۱ دمای متوسط تابشی
۲۰۲	ب-۱-۱ رابطه MRT با آسایش حرارتی
۲۰۳	ب-۱-۲ روش‌های محاسبه
۲۰۹	ب-۲ دمای کارکردی
۲۰۹	ب-۲-۱ رابطه با آسایش حرارتی
۲۰۹	ب-۲-۲ روش‌های اندازه‌گیری
۲۱۳	پیوست پ: نمونه طراحی سیستم گرمایش کفی

شکل ۱-۱	نمایی از یک ساختمان با سیستم گرمایش کفی	۲
شکل ۲-۱	استفاده از گرمایش کف در محیط‌های صنعتی	۳
شکل ۳-۱	استفاده از گرمایش کف در محیط‌های ورزشی	۳
شکل ۴-۱	استفاده از گرمایش کف در محیط‌های (الف) مذهبی و (ب) تاریخی	۴
شکل ۵-۱	استفاده از گرمایش کف برای ذوب برف و یخ	۴
شکل ۱-۲	انتقال گرمای تابشی از صفحه گرمایش سقفی، کفی و دیواری	۱۲
شکل ۲-۲	انتقال حرارت جابجایی طبیعی در سطوح صفحه سقفی، کفی و دیواری	۱۴
شکل ۳-۲	ارتباط دمای سطح داخلی با دمای هوای بیرون	۱۵
شکل ۴-۲	تصحیح دمای سطح داخلی دیوار در معرض با دماهای هوای غیر از 21°C	۱۶
شکل ۵-۲	نرخ تولید حرارت سوخت و سازی نمونه برای فعالیتهای مختلف	۱۷
جدول ۱-۲	رابطه تبادل انرژی ساکنان با متغیرهای آسایش حرارتی	۱۸
شکل ۶-۲	ارائه مصور دماهای هوا، متوسط تابشی و دمای کارکردی	۱۹
شکل ۷-۲	تفاوت‌های سیستم گرمایش	۲۰
شکل ۸-۲	توزیع دمای هوای ایده‌آل اتاق	۲۲
شکل ۹-۲	درصد نارضایتی افراد در اثر دمای کف	۲۳
شکل ۱۰-۲	مقایسه توزیع دمای هوای ایده‌آل اتاق با سیستم هوای اجباری	۲۳
شکل ۱۱-۲	مقایسه توزیع دمای هوای ایده‌آل اتاق با سیستم رادیاتور	۲۴
شکل ۱۲-۲	مقایسه توزیع دمای هوای ایده‌آل اتاق با سیستم گرمایش کفی	۲۴
شکل ۱۳-۲	مقایسه توزیع دمای هوای ایده‌آل اتاق با سیستم گرمایش سقفی	۲۵
شکل ۱-۳	ضریب اتلاف حرارتی پایین و لبه برای بسترهای بتنی در خاک	۳۳
شکل ۲-۳	نمودار طراحی برای گرمایش با پانلهای کفی	۳۵
شکل ۳-۳	افزایش مقاومت دمایی و شیمیایی لوله با ایجاد پیوندهای مشبک	۳۷
شکل ۴-۳	مبدل حرارتی	۴۰
شکل ۵-۳	لوله تلفیقی (PEX-AL-PEX)	۴۱



- شکل ۷-۲ سیستم گرمایش کفی با جرم بالا..... ۴۴
- شکل ۹-۲ تاثیر عمق لوله‌ها در گرمای حاصل شده (لوله‌ها در بستر بتنی)..... ۴۵
- شکل ۸-۲ تاثیر قطر لوله‌ها در گرمای حاصل شده (لوله‌ها در کف بتنی)..... ۴۴
- شکل ۱۰-۲ منطقه‌بندی با چندراهه‌های مجهز به تلسات و شیر منطقه‌ای..... ۴۶
- شکل ۱۱-۲ منطقه‌بندی با چندراهه‌های مجهز به پمپ..... ۴۷
- شکل ۱۲-۲ منطقه‌بندی با چندراهه‌های مجهز به شیر منطقه‌ای..... ۴۷
- شکل ۱۳-۲ منطقه‌بندی با یک چندراهه مجهز به تلسات..... ۴۸
- شکل ۱۴-۲ نمونه یک چندراهه مسی..... ۵۱
- شکل ۱۵-۲ طرحواره چندراهه‌های یک سیستم گرمایش کفی..... ۵۱
- شکل ۱۶-۲ بستهای تکیه‌گاهی و رابط‌های یک چندراهه..... ۵۳
- شکل ۱۷-۲ طرحواره یک چندراهه با رابط‌های متصل به آن..... ۵۳
- شکل ۱۸-۲ اجزای چندراهه..... ۵۴
- شکل ۱۹-۲ انتخاب محل چندراهه..... ۵۵
- شکل ۲۱-۲ ادغام لوله‌کشی اطراف و قسمت میانی ساختمان..... ۵۷
- شکل ۲۲-۲ لوله‌کشی مارپیچ با جریان مخالف..... ۵۸
- شکل ۲۳-۲ چگونگی لوله‌کشی در یک اتاق..... ۵۸
- شکل ۲۴-۲ چگونگی آرایش لوله‌ها در یک ساختمان با اتاقهای مختلف..... ۵۹
- شکل ۱-۴ لایه‌های مختلف سیستم گرمایش کفی بستر بتنی..... ۶۱
- شکل ۲-۴ عایقکاری کف با (الف) پلی‌استایرن و (ب) ورق خابیدار متالایز..... ۶۲
- شکل ۳-۴ حفاظت لوله‌ها با استفاده از بست پیچی..... ۶۳
- شکل ۴-۴ حفاظت لوله‌ها با استفاده از بست‌ها..... ۶۳
- شکل ۵-۴ جزئیات عایقکاری گوشه‌ها..... ۶۵
- شکل ۶-۴ نحوه عایقکاری نواحی نزدیک دیوار..... ۶۶
- شکل ۷-۴ لوله‌کشی زیر بستر هنگام استفاده از درز کنترلی..... ۶۷
- شکل ۹-۴ جزئیات سیستم بستر نازک..... ۷۱
- شکل ۱۰-۴ جزئیات یک سیستم بستر نازک با پایه گچی..... ۷۲
- شکل ۱۱-۴ طرحواره سیستم لوله‌کشی خشک..... ۷۴
- شکل ۱۲-۴ استفاده از صفحات آلومینیومی در سیستم لوله‌کشی خشک..... ۷۵



- شکل ۴-۱۳ استفاده از تیرهای چوبی مشبک برای جلوگیری از سر و صدا ۷۶
- شکل ۴-۱۴ زیرساخت ۷۷
- شکل ۴-۱۵ طرحواره نصب لوله‌های آب گرم روی لایه زیرکف ۷۸
- شکل ۴-۱۶ طرحواره نصب لوله آب گرم زیر لایه زیرکف با استفاده از گیره‌های محافظ لوله‌ها ۷۹
- شکل ۴-۱۷ حفاظت لوله‌های آب گرم بوسیله صفحات پخش گرما ۷۹
- شکل ۴-۱۸ دیگ غیرتقطیری ۸۴
- شکل ۴-۱۹ دیگ تقطیری ۸۴
- شکل ۴-۲۰ نمایی از دیگ قطعه‌قطعه چدنی ۸۵
- شکل ۴-۲۱ دیگ به صورت یکجای با کویل آب گرم ۸۶
- شکل ۴-۲۲ طرحواره دیگ چندمسیره ۸۷
- شکل ۴-۲۳ نمایی از مبدل حرارتی دیگ تقطیری ۸۸
- شکل ۴-۲۴ تاثیر دمای آب برگشتی بر بازده دیگهای تقطیری ۸۹
- شکل ۴-۲۵ رابطه بین دمای نقطه شبنم، دی‌اکسیدکربن و بازده احتراق گاز طبیعی ۹۰
- شکل ۴-۲۶ مقایسه تلفات حرارتی دیگ‌های غیرتقطیری و تقطیری ۹۱
- شکل ۴-۲۷ منبع سوخت معمولی ۹۳
- شکل ۴-۲۸ منبع سوخت زیرزمینی ۹۳
- شکل ۴-۲۹ سیکل تبرید پایه با پمپ گرمایی آب به آب ۹۸
- شکل ۴-۳۰ طرحواره مدار پمپ گرمایی ۹۹
- شکل ۴-۳۱ استفاده از منبع واسط در سیستم پمپ گرمایی آبی ۱۰۰
- شکل ۴-۳۲ استفاده از گرمایش خورشیدی مدار بسته برای گرم کردن ساختمان ۱۰۱
- شکل ۴-۳۳ منحنی مشخصه پمپ و سیستم توزیع ۱۰۲
- شکل ۴-۳۴ طرحواره پمپ سیرکولاسیون ۱۰۳
- شکل ۴-۳۵ پمپ خطی ۱۰۳
- شکل ۴-۳۶ پمپ مکش انتهایی ۱۰۴
- شکل ۴-۳۷ پمپ سه تکه‌ای ۱۰۶
- شکل ۴-۳۸ محل نصب پمپ ۱۰۸
- شکل ۴-۳۹ پمپ سیرکولاسیون فلنج‌دار ۱۱۰



- شکل ۴-۴۰ منحنی عملکرد یک پمپ ۱۱۳
- شکل ۴-۴۱ تغییر نقطه عملکرد در اثر عدم تعادل سیستم ۱۱۴
- شکل ۴-۴۲ عملکرد پمپ‌های سری ۱۱۵
- شکل ۴-۴۳ عملکرد پمپ‌های موازی ۱۱۶
- شکل ۴-۴۴ سیستم پمپ مرکب ۱۱۷
- شکل ۴-۴۵ مقطع و برش شیر دروازه‌ای ۱۲۱
- شکل ۴-۴۶ مقطع و برش شیر بشقابی ۱۲۲
- شکل ۴-۴۷ برشی از شیر توپی ۱۲۳
- شکل ۴-۴۸ برشی از انواع شیرهای یک طرفه ۱۲۴
- شکل ۴-۵۱ نحوه اتصال مجموعه شیرهای جلوگیری از برگشت جریان ۱۲۶
- شکل ۴-۵۲ انواع شیرهای تنظیم جریان ۱۲۷
- شکل ۴-۵۳ نحوه عملکرد شیر مخلوط‌کننده سه‌راهه ۱۲۸
- شکل ۴-۵۴ نحوه اتصال شیر سه‌راهه مخلوط در دو حالت راه‌اندازی ۱۲۹
- شکل ۴-۵۵ نحوه اتصال شیر چهارراهه مخلوط در دو حالت راه‌اندازی ۱۳۰
- شکل ۴-۵۶ نحوه اتصال شیر سه‌راهه ترموستاتیک ۱۳۱
- شکل ۴-۵۷ محل قرارگیری شکل منطقه‌ای در مدار گرمایشی ۱۳۲
- شکل ۴-۵۸ نحوه اتصال شیر اختلاف فشار کنار گذر در مدار گرمایش ۱۳۳
- شکل ۴-۵۹ انواع شیرهای هواگیری ۱۳۴
- شکل ۴-۶۰ طرحواره منبع انبساط بسته افقی و عمودی ۱۳۷
- شکل ۴-۶۱ تأسیسات با یک منبع انبساط ۱۴۰
- شکل ۴-۶۲ روش نصب افقی ۱۴۱
- شکل ۴-۶۳ تأسیسات با چند منبع انبساط ۱۴۱
- شکل ۴-۶۴ مخزن آب‌گرم دوجداره ۱۴۳
- شکل ۴-۶۵ منبع کویلی به صورت افقی و عمودی ۱۴۴
- شکل ۴-۶۶ طرحواره کنترل با پاسخ به دمای بیرون ۱۴۹
- شکل ۴-۶۷ کلیدها بر اساس تعداد پل و چند طرفه بودن ۱۵۰
- شکل ۴-۶۸ کارکرد رله در دو مدار با ولتاژهای متفاوت ۱۵۱
- شکل ۴-۶۹ رله آکوستات ۱۵۳



- شکل ۷۰-۴ جعبه کنترل برای مدیریت منطقه‌های گرمایش ۱۵۵
- شکل ۷۱-۴ طرحواره جعبه کنترل مدیریت منطقه‌های گرمایش ۱۵۶
- شکل ۷۲-۴ مخزن اختلاط ۱۵۹
- شکل ۷۳-۴ دیگ غیرتقطیری به همراه مبدل حرارتی ۱۶۰
- شکل ۷۴-۴ طرحواره استفاده از کنترل نوع دوم در دیگ‌های غیرتقطیری ۱۶۱
- شکل ۷۵-۴ طرحواره نحوه عملکرد شیر مخلوط چهارراهه ۱۶۲
- شکل ۷۶-۴ استفاده از شیر دوراهه ترموستاتیک برای مخلوط کردن به روش تزریقی ۱۶۳
- شکل ۷۷-۴ مخلوط کردن به روش تزریقی توسط پمپ دور متغیر ۱۶۴
- شکل الف-۱ صدور شدت تابش ۱۸۵
- شکل الف-۲ تعریف شدت تابش ۱۸۶
- شکل الف-۳ زاویه فضایی احاطه شده توسط dA_n از یک نقطه روی dA در دستگاه مختصات کروی ۱۸۷
- شکل الف-۴ تاثیر بهره حرارت خورشیدی از طریق پنجره ۱۹۰
- شکل الف-۵ موازنه انرژی تابش ۱۹۱
- شکل الف-۶ تبادل تابش مرزی ۱۹۵
- شکل الف-۷ ضریب دید مستطیل‌های موازی روبه‌روی هم ۱۹۸
- شکل الف-۸ ضریب دید مستطیل‌های عمود بر هم با لبه مشترک ۱۹۹
- شکل الف-۹ ضریب دید دیسک‌های موازی هم محور ۱۹۹
- شکل ب-۱ ارائه مصور دمای متوسط تابشی ۲۰۲
- شکل ب-۲ تحلیل آسایش حرارتی دو نقطه در یک اتاق ۲۰۳
- شکل ب-۳ مقدار متوسط ضریب دید میان یک شخص ساکن و یک صفحه افقی ۲۰۵
- شکل ب-۴ مقدار متوسط ضریب دید میان یک شخص ساکن و یک صفحه عمودی ۲۰۶

۲۷	جدول ۲-۲ حداقل تهویه و تعویض هوای اماکن مسکونی (CFM)
۳۱	جدول ۱-۳ ضریب هدایت گرمایی لوله‌های مختلف (از نظر جنس)
۳۲	جدول ۲-۳ مقاومت حرارتی پوشش‌های کف
۵۵	جدول ۳-۳ ابعاد کابینت چندراومه
۵۷	جدول ۴-۳ فاصله لوله‌ها
۵۸	جدول ۵-۳ حداکثر طول لوله یک مدار
۱۳۶	جدول ۱-۴ درصد افزایش حجم آب
۱۳۸	جدول ۲-۴ ظرفیت پیشنهادی منبع انبساط بسته بر حسب ظرفیت دیگ
۱۹۷	جدول الف-۱ ضریب دید برای اجسام دویعدی
۱۹۸	جدول الف-۲ ضریب دید برای اجسام سه‌بعدی

فصل اول

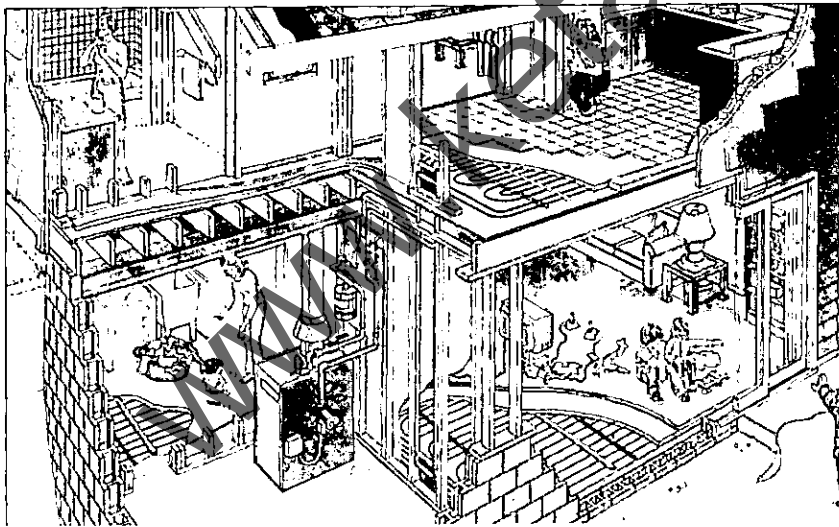
مقدمه

امروزه از روش گرمایش تابشی به صورت گسترده در کشورهای اروپایی و آمریکا استفاده می‌شود [۱]. تابش گرما قسمت قابل رویت و فروسرخ طیف امواج الکترومغناطیسی را دربرمی‌گیرد. این امواج هنگام برخورد به اجسام کدر از آنها عبور نمی‌کند؛ بلکه توسط آنها جذب شده و دمای آنها را افزایش می‌دهد. اساساً تمام تابشی که از اجسام با دمای کمتر از حدود 520°C ساطع می‌گردد، در محدوده فروسرخ قرار دارد. این امواج توسط انسانها قابل رویت نیست. در گرمایش توسط صفحه‌های تابشی، دما همواره از 520°C کمتر است، از این رو در این سیستم‌ها تابش همواره در محدوده فروسرخ است. خصوصیات تابش فروسرخ غیر از قابل رویت نبودن، مشابه نور مرئی است؛ بدین معنی که با سرعت نور در همه جهات حرکت می‌کند و برای حرکت خود نیاز به ماده واسط ندارد. این تابش تقریباً بدون آنکه توسط هوای اتاق جذب شود، توسط اجسام داخل اتاق جذب می‌شود. در واقع گرمای تابشی به جای آنکه اول هوای اتاق را گرم کند و سپس اجسام داخل اتاق را، ابتدا توسط اجسام داخل اتاق جذب شده و دمای آنها را بالا می‌برد. این تفاوت اصلی بین گرمایش تابشی و سایر روشهای گرمایش است. چنانچه دمای اجسام داخل اتاق بیشتر از دمای هوای داخل اتاق شود، به تدریج هوای اتاق نیز گرم می‌شود.

چنانچه دمای صفحه بوسیله آب گرمی که از داخل آن می‌گذرد، افزایش یابد، صفحه می‌تواند به صورت تابشی گرمادهی کند. حال اگر این میزان گرما بیش از ۵۰ درصد گرمای کل داده شده به محیط از طرف صفحه باشد، صفحه تابشی خوانده می‌شود.

روش‌های متعددی برای چگونگی اجرای صفحه‌های تابشی وجود دارد. می‌توان لوله‌های صفحه تابشی را از داخل مصالح کف، دیوار یا سقف عبور داد. می‌توان آنها را از فضای داخلی بین دوجداره دیوار یا کف و سقف عبور داد. نزدیکی محل سکونت به منبع گرما، سهم انتقال گرمای جابجایی و تابشی و نوع پوشش کف، همگی در انتخاب صفحه برای تحویل گرمای تابشی موثرند. در ایران با توجه چگونگی ساختمان‌های مسکونی اغلب بهتر است لوله‌ها را از داخل مصالح کف عبور داد. بدین صورت کف اتاق به صورت یک صفحه تابشی عمل می‌کند. از این‌رو در اینجا صرفاً این روش بررسی می‌گردد.

استفاده از گرم برای گرمایش ساختمان‌ها بسیار موثر می‌باشد. امروزه همگان بر این باورند که سیستم گرمایش کفی بهترین انتخاب از لحاظ آسایش می‌باشد. در چنین سیستم‌هایی گرد و خاک یا دیگر عوامل حساسیت‌زا در هوا گردش نمی‌کند و از لحاظ بازدهی از سیستم‌های گرمایشی معمولی پربازده‌تر می‌باشد. شکل ۱-۱ نمایی از یک ساختمان با سیستم گرمایش کفی را نشان می‌دهد.

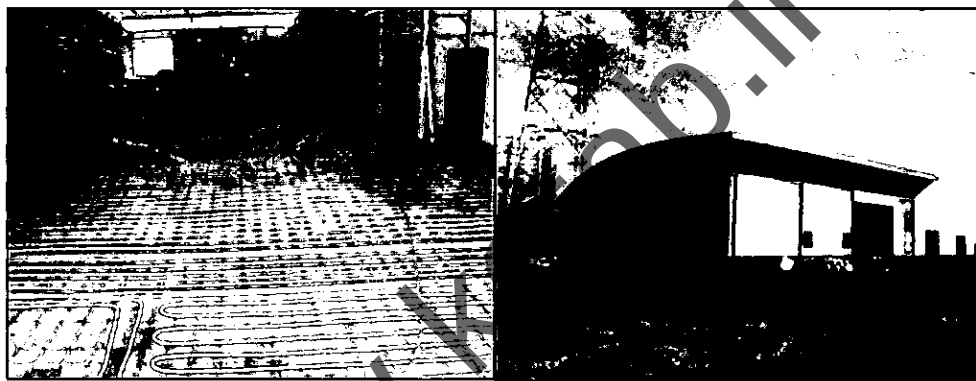


شکل ۱-۱ نمایی از یک ساختمان با سیستم گرمایش کفی

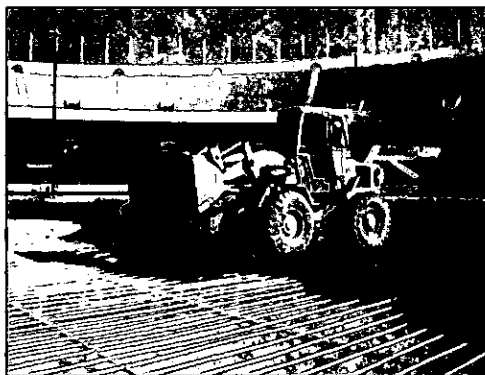
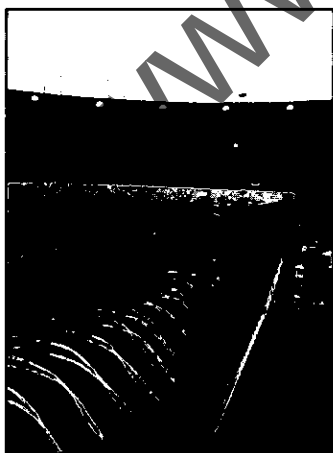
این سیستم‌ها (گرمایش کفی) انواع مختلفی دارند، اما یکی از پرکاربردترین و موثرترین آنها، سیستم‌های آبی^۱ می‌باشد. در این سیستم‌ها با استفاده از لوله‌کشی آب گرم، فضای خانه گرم می‌شود. اغلب صفحه‌های تابشی آبی، آب با دمای کمتر از 93°C را از خود عبور

می‌دهد. دمای میانگین آب داخل بسیاری از آنها نیز بین $26/5^{\circ}\text{C}$ - 71°C است. در این صورت دمای سطح کف در محدوده 24°C - 49°C قرار می‌گیرد.

صفحه‌های تابشی از نیمه قرن بیستم استفاده می‌شوند. در دو دهه اخیر استفاده از لوله‌های پلاستیکی و چندلایه مناسب، رونق زیادی گرفته است. اغلب لوله‌های پلاستیکی مورد استفاده از لوله‌های پلی اتیلن مشبک^۱ است. از لوله‌های چندلایه PEX-AL-PEX نیز زیاد استفاده می‌شود. امروزه از سیستم گرمایش کفی نه تنها در خانه‌های مسکونی، بلکه در بسیاری از فضاهای تجاری، صنعتی، ورزشی، مذهبی و تاریخی، همچنین برای ذوب برف و یخ در فصول سرد هم استفاده می‌شود (شکلهای ۱-۲ تا ۱-۵).



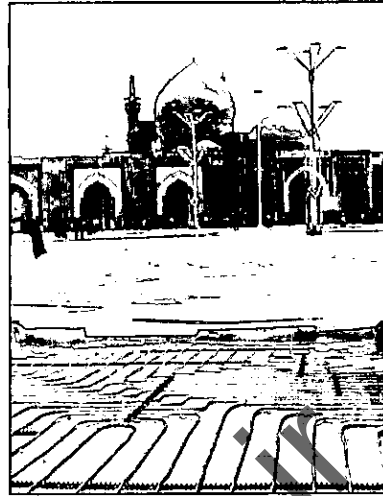
شکل ۱-۲ استفاده از گرمایش کف در محیط‌های صنعتی [۲]



شکل ۱-۳ استفاده از گرمایش کف در محیط‌های ورزشی

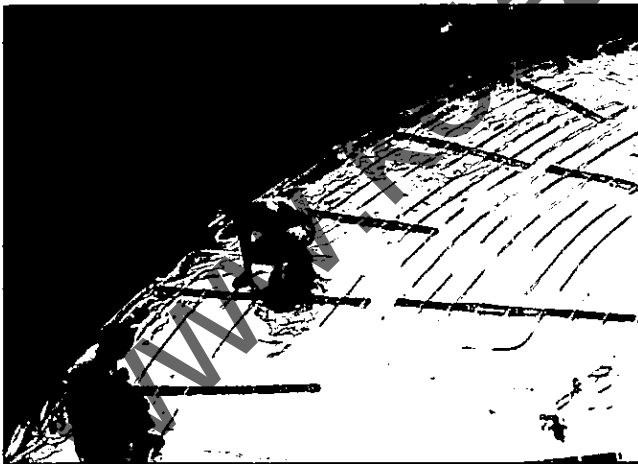


(ب)



(الف)

شکل ۱-۴ استفاده از گرمایش کف در محیط‌های (الف) مذهبی و (ب) تاریخی



شکل ۱-۵ استفاده از گرمایش کف برای ذوب برف و یخ

مزایای عمده سیستم‌های گرمایش کفی به شرح زیر است [۱]:

- سطح آسایش می‌تواند بهتر از سایر سیستم‌های گرمایشی باشد؛ زیرا بارهای تابشی مستقیماً تأمین شده و جریان هوا در اتاق در حد مورد نیاز برای تهویه می‌باشد.
- نیازی به تجهیزات تهویه مطبوع که در بیرون دیوار نصب می‌شوند، نیست و این باعث ساده‌تر شدن ساختار کف، دیوارها و اسکلت‌بندی می‌گردد.
- تقریباً تمامی تجهیزات مکانیکی امکان قرار گرفتن در موتورخانه و در نتیجه سادگی نگهداری و بهره‌برداری را دارد.



- هیچ فضایی از اتاق توسط تجهیزات مکانیکی اشغال نمی‌شود. این ویژگی، بخصوص برای بیمارستانها و اتاق بیماران و کاربردهای دیگری که در آن اشغال نشدن فضای اتاق یا حداکثر پاکیزگی مهم است و یا جاهایی که محدودیت‌های قانونی در این مورد وجود دارد بسیار ارزشمند است.
 - پرده‌ها و کرکره‌ها می‌توانند روی دیوار نصب شود؛ بدون اینکه مزاحمتی برای سیستم تهویه داشته باشد.
 - در صورتی که سیستم‌های ۴ لوله‌ای مورد استفاده قرار گیرد، بدون نیاز به منطقه‌بندی و یا تنظیم فصلی، گرمایش امکان‌پذیر است.
 - مقدار هوای ورودی معمولاً از مقدار موردنیاز برای تهویه و رطوبت‌زدایی تجاوز نمی‌کند.
 - استفاده از صفحه‌های مدولار باعث انعطاف و آزادی عمل در تغییر تقسیم‌بندی فضای داخل ساختمان می‌گردد.
 - از آنجا که مقدار هوای ورودی کاهش یافته است، استفاده از یک سیستم با ۱۰۰٪ هوای تازه، مضرات کمتری خواهد داشت.
 - یک سیستم هوایی مرکزی متداول می‌تواند هم برای نواحی مرکزی ساختمان و هم ناحیه پیرامونی بکار رود.
 - در ساختمان‌های مجهز به صفحه تابشی گرمایی، هوای داخل ساختمان تحت‌تاثیر انتقال حرارت از نوع جابجایی آزاد می‌باشد.
 - سر و صدای ناشی از فن‌کوئل یا واحدهای مکند هوا حذف می‌گردد.
 - با ذخیره انرژی گرمایی در بدنه صفحه، دیوارهای بیرونی و جداکننده، بیشینه بار کاهش می‌یابد.
 - برای متعادل کردن افت گرما در پنجره‌ها، کف‌ها و دیگر سطوح گرم یا سرد، می‌توان از ترکیب صفحه‌ها با دیگر سیستم‌های تهویه مطبوع استفاده کرد.
- معایب این سیستم، عبارتند از:
- اگر اجزاء گرم‌کننده یا کنترل‌کننده به درستی انتخاب یا نصب نشده باشد، زمان تاثیرگذاری می‌تواند کند شود.
 - نصب نادرست لوله یا فاصله‌گذاری نادرست اجزا و تعیین نادرست اندازه منبع حرارتی، می‌تواند باعث دماهای غیریکنواخت سطح و یا ظرفیت ناکافی گرمایشی شود.

۱-۱ ارزیابی مصرف انرژی سیستم گرمایش کفی

دمای پایین‌تر سیال عامل در سیستم گرمایش کفی نسبت به سایر سیستم‌های گرمایشی مانند سیستم گرمایش مرکزی و رادیاتور، به هزینه کارکرد کمتر آن منجر می‌شود. هزینه کارکردی پایین، بالا بودن حدود ۲۰-۳۰ درصدی هزینه اولیه و نصب این‌گونه سیستم‌ها را توجیه کرده و بازگشت کامل سرمایه اولیه را به دنبال خواهد داشت. به عنوان یک نمونه عملی، مصرف سوخت یک ساختمان مسکونی با زیربنای ۱۷۵ مترمربع در شمال شهر تهران به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است [۲]:

شرایط اولیه طرح

دمای طرح بیرون: $-6/7^{\circ}\text{C}$

ضریب هدایت حرارت دیوارهای خارجی: $1/25 \text{ W/m}^2\text{K}$

ضریب هدایت حرارت سقف: $1/02 \text{ W/m}^2\text{K}$

ضریب هدایت حرارت شیشه: $6/4 \text{ W/m}^2\text{K}$

ضریب هدایت حرارت کف: $1/14 \text{ W/m}^2\text{K}$

شرایط طرح داخل در گرمایش با رادیاتور

دمای داخل اتاق‌ها در سیستم رادیاتور: $22/2^{\circ}\text{C}$

دمای داخل سرویس‌های بهداشتی در سیستم رادیاتور: $22/2^{\circ}\text{C}$

بار حرارتی کل موردنیاز ساختمان برای سیستم رادیاتور با استفاده از روش‌های استاندارد موجود در مراجع بدست می‌آید:

$$Q_{\text{design}} = 28971/5 \text{ W}$$

میزان مصرف سالیانه سوخت به صورت زیر است:

$$E_{\text{annual}} = \frac{Q_{\text{design}} \times DD_n \times 24 \times Cd}{E \times \Delta T_{m,v}} = \frac{28971/5 \times 1810 \times 24 \times 0/77}{(22/2 - (-6/7)) \times 0/55} = 60/2 \text{ Mw/year}$$

ارزش حرارتی گاز: 3902 MJ/kg

میزان مصرف سالانه سوخت: $2778/8 \text{ m}^3$



- شرایط طرح داخل در گرمایش با سیستم گرمایش کفی

دمای داخل اتاق ها در سیستم گرمایش کفی: 20°C

دمای داخل سرویس های بهداشتی در سیستم گرمایش کفی: $24/4^{\circ}\text{C}$

بار حرارتی کل مورد نیاز ساختمان برای سیستم گرمایش کفی با استفاده از روش های استاندارد موجود در مراجع بدست می آید:

$$Q_{\text{design}} = 19277/2 \text{ W}$$

مشابه سیستم رادیاتور، میزان مصرف سالیانه سوخت به صورت زیر است:

$$E_{\text{annual}} = \frac{Q_{\text{design}} \times DD_{\text{h}} \times 24 \times Cd}{E \times \Delta T_{\text{max}}} = \frac{19277/2 \times 1810 \times 24 \times 0.77}{(20 - (-6/7)) \times 0.55} = 42/2 \text{ Mw/year}$$

میزان مصرف سالانه سوخت $= 2722/9 \text{ m}^3$

مقایسه مصرف سالیانه سوخت دو سیستم نشان می دهد که سیستم گرمایش کفی حدود ۳۹ درصد در مصرف سوخت صرفه جویی می کند.

www.ketabdor.ir