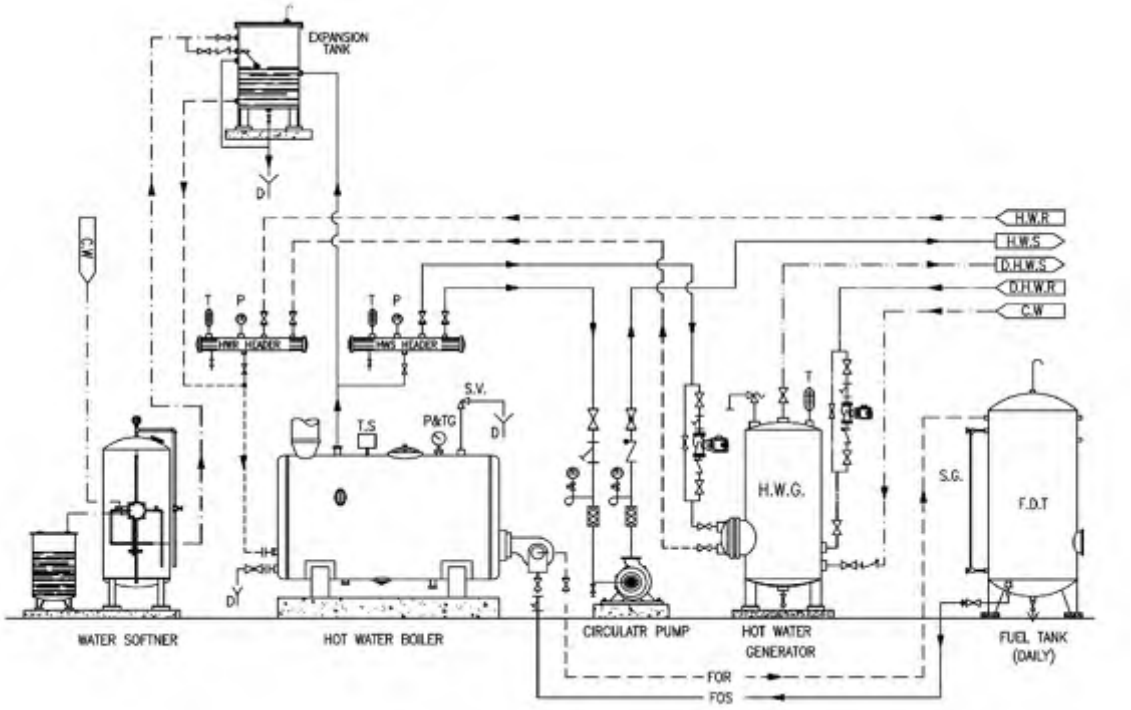
www.noavarpub.com

بسم الله الرحمن الرحیم

راهنمای طرح و اجرای

موتورخانه

(آب گرم)



قابل استفاده مهندسان طراح و ناظر، دانشجویان ، مجریان و کلیه علاقمندان و دست اندرکاران تأسیسات مکانیکی

مؤلف:

مهندس داریوش هادی‌زاده

سرشناسه	: هادی‌زاده، داریوش، ۱۳۴۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: راهنمای طرح و اجرای موتورخانه (آب گرم) : قابل استفاده مهندسان طراح و ناظر ، دانشـجویان .../ مولـف داریوش هادی‌زاده.
مشخصات نشر	: تهران : نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۲۹۲ ص.: مصور، جدول؛ س‌م.۲۹×۲۲
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۹۴-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۹۱ - ۲۹۲.
موضوع	: تأسیسات -- طرح و ساختمان
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۳ ۲ر۲ه/۶۰۲۱ TH
رده بندی دیویی	: ۶۹۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۴۹۷۹۸۱

راهنمای طرح و اجرای موتورخانه (آب‌گرم)

مؤلف: مهندس داریوش هادی‌زاده

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

مدیر تولید: محمدرضا نصیرنیا

نوبت چاپ:

شابک: ۹۷۸ ـ ۶۰۰ ـ ۱۶۸ ـ ۱۹۴ ـ ۳

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران ـ خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نبش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی الیاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴

فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتـنبرگ تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸-۶۶۴۰۲۵۷۹

فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵

فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۰۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفـوظ و منحصـراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتـاب (از قبیـل هـر نـوع چـاپ، فتـوکپی، اسـکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بـدون اجـازه کتبـی از نشـر نـوآور ممنـوع بـوده و شـرعـاً حـرام است و متخلفین تحت پیگرد قانـونی قرار می‌گیـرند.

فهرست مطالب

مقدمه

فصل اول: تلفات و بارهای گرمایی ساختمان

۱- مقدمه

۲- تلفات و بارهای گرمایی ساختمان

۳ـ محاسبه تلفات حرارتی جدارها

۴ـ تلفات حرارتی جدارها

۵- محاسبه تلفات حرارتی نفوذ و تعویض هوا

۶- محاسبه بار حرارتی ابگرم مصرفی

۷- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل دوم: دیاگرام جریان گرمایش

۱- مقدمه

۲- نقشه‌ها، مقررات و آشنایی

۳-آیکون‌ها و علائم تاسیساتی

۴ـ شرح فلودیاگرام

۶- ترسیم فلودیاگرام

۷- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل سوم: موتورخانه

۱- مقدمه

۲- موقعیت موتورخانه

۳- مساحت موتورخانه

۳- مساحت موتورخانه

۴- تأمین هوای احتراق دیگ‌ها

۵- چیدمان تجهیزات

۶- ملزومات موتورخانه

۷-چک لیست موتورخانه

۸- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل چهارم: آب و سختی‌گیری آب

۱- مقدمه

۲- سختی آب

۳- انواع سختی‌گیری و رسوب‌گیری آب

۴ـ انتخاب

۵- چک لیست سختی‌گیر رزینی

۶- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل پنجم: دیگ‌های آب گرم

۱- مقدمه

۲- انواع دیگ‌ها

۳- محاسبه و انتخاب دیگ‌ها

۴- استانداردهای ساخت دیگ‌ها

۵- تست‌های دیگ

۶- ساختمان و اجزای دیگ‌های فولادی آتش در لوله

۷- کیفیت آب و آزمایشات آب ودود دیگ

۸- نصب و راه‌اندازی و نگهداری دیگ

۹- نگهداری دیگ

۱۰- تصحیحات جوی ظرفیت دیگ‌ها

۱۱- چک لیست بازرسی، نظارت و تحویل‌گیری

۱۲- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل ششم: منابع انبساط

۱ـ مقدمه

۲- آب

۳- منابع انبساط و انواع آن

۴- موقعیت نصب منابع انبساط

۵- محاسبه ضخامت عایق منبع انبساط
۶- مقایسه منابع انبساط
۷- نکات اجرایی
۸ـ انتخاب منبع انبساط
۹- چک لیست‌های منابع انبساط
۱۰- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل هفتم: الکترو پمپ‌های سیرکولاتور

۱- مقدمه
۲- پمپ‌ها
۳ـ محاسبه پمپ‌ها
۴- منحنی‌های مشخصه پمپ و سیستم
۵- به هم بستن موازی پمپ‌ها
۶- روابط تشابه پمپ‌ها
۷- هد مکش مثبت خالص
۸- موقعیت نصب پمپ‌های سیرکولاتور
۹- کاویتاسیون
۱۰- ضربه قوچ
۱۱- نکات اجرایی
۱۲- جدول مشخصات پمپ‌ها
۱۴- چک لیست پمپ‌های سانتریفوژ
۱۵- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل هشتم: لوله‌کشی

۱- مقدمه
۲- لوله، انواع و استانداردها
۳- مبانی طراحی لوله کشی
۴- سیستم‌های لوله کشی
۵-تعیین قطر لوله‌ها
۶- انبساط و انقباض لوله‌ها
۷- عایق کاری
۸- تکیه گاه
۹- تست و آزمایش
۱۰- اجرای لوله‌کشی
۱۱ـ انتخاب جنس لوله
۱۲- چک لیست لوله کشی
۱۳- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل نهم: شیرها

۱- مقدمه
۲- شیرهای دروازه‌ای(کشویی)
۳- شیرهای بشقابی(کف فلزی)
۴- شیرهای پروانه‌ای
۵- شیرهای یکطرفه
۶- شیرهای اطمینان
۷- شیرهای سوزنی
۸- شیرهای کنترلی
۹- نوع و اتصال شیرها
۱۰ـ نصب شیر
۱۱ـ انتخاب شیر
۱۲- چک لیست شیرها
۱۳- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل دهم: جداکننده‌های هوا

۱- مقدمه
۲ـ اجزای کنترل هوای سیستم

فصل یازدهم: مبدلهای حرارتی

۱ـ دستگاه‌های پخش کننده گرما
۲-فیلتر(Filter)
۳-کویلهای گرمایش و سرمایش(Heating&Cooling Coils)
۴-تجهیزات کنترلی(Controllers)
۵- محفظه‌ی مخلوط شدن (Mixing Chamber)
۶- رطوبت ساز(Humidifier)

۷- دستگاه بازیابی حرارت(Heat Recover Device)
۸-کنترل‌ها (Controls)
۹- جداساز لرزش (Isolators Vibration)

فصل دوازدهم: مبدلهای تأمین آب گرم مصرفی

۱- مقدمه
۲- منابع کویل‌دار
۳- مبدلهای لوله و پوسته‌ای
۴- منابع دو جداره
۵- مبدلهای صفحه‌ای
۶- مقایسه مبدلهای حرارتی
۷- محاسبات پمپ برگشت (سیستم‌های تأمین آب گرم مصرفی)
۸ـ انتخاب نوع مبدل تأمین آب گرم مصرفی
۹ـ چک لیست مبدلهای تأمین آب گرم مصرفی
۱۰- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل سیزدهم: سوخت و انتقال سوخت

۱- مقدمه
۲- سوخت‌های مایع
۳- سوخت‌های گازی
۴- خلاصه فصل و نتیجه‌گیری
فصل چهاردهم: عایق‌کاری
۱ـ مقدمه
۲ـ انواع عایق‌ها
۳ـ نکاتی در مورد عایق‌ها
۴- عایق کاری حرارتی
۵ـ خلاصه فصل و نتیجه‌گیری

فصل پانزدهم: پروژه‌های نمونه

پروژه نمونه یک:
۱- بار حرارتی ساختمان
۳- محاسبه و انتخاب دیگ
۴- محاسبه و انتخاب مشعل دیگ
۶- محاسبات موتورخانه
۷- محاسبه و انتخاب لوله‌ها
۸- محاسبه و انتخاب منبع (های)انبساط دیگ باز
۹- محاسبه و انتخاب مبدل کویلدار تأمین آبگرم مصرفی و پمپ برگشت آبگرم مصرفی
۱۰- محاسبه حجم مخزن مخزن روزانه و حجم مخزن ذخیره سوخت اصلی برای ۵ روز ذخیره
۱۱- محاسبه پمپ(های) سیرکولاتور
۱۲- محاسبه و انتخاب سختی گیر
پروژه نمونه دو
پروژه نمونه سه

منابع

نشر نوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

مقدمه

در کتاب پیش‌رو به طراحی و محاسبه موتورخانه‌های مرکزی آب گرم ساختمان‌ها با دمای پایین پرداخته شده است و سعی شده کلیه المان‌های موتورخانه‌های متعارف مورد بحث قرار گیرند. حتی‌الامکان تلاش شده که مطالب مطابق و هماهنگ با مقررات ملی ساختمان (مبحث چهاردهم و شانزدهم، هفدهم، نوزدهم و بیست و یکم). این باشد کتاب علاوه بر اینکه محاسبات مربوطه را آورده، سعی نموده با شکل و در ادامه با مثال، مطالب را برای خواننده ملموس‌تر نماید.

به منظور گرم کردن و ایجاد شرایط مطلوب حرارتی ساختمان‌های مسکونی، اداری، صنعتی، تجاری و... روش‌های گوناگونی وجود دارد. انتخاب سیستم مناسب گرمایش ساختمان ممکن است براساس معیارهای مختلفی صورت پذیرد پس باید سیستم مناسب را تعریف نمود که این سیستم ممکن است متأثر از یکی از موارد و یا مجموعه‌ای از عواملی همچون، هزینه اولیه و راهبری کمتر، استقلال و کنترل‌پذیری، صرفه‌جویی انرژی، ایجاد شرایط بهینه، ایمنی و سلامتی کاربر و .... باشد.

در گرمایش مرکزی با آب گرم، یک موتورخانه مرکزی وجود دارد که آب گرم دیگ جهت تأمین گرمایش ساختمان توسط پمپ به درون مبدلهای حرارتی همچون رادیاتورها، فن‌کویل‌ها و یا کویل‌های هواسازها و یونیت هیترها و یا لوله‌های گرمایش کفی به گردش در می‌آید. از محاسن این روش آب گرم مصرفی ساختمان است که توسط مبدل کویل‌دار، مبدل صفحه‌ای، منبع دو جداره و یا مبدل لوله، پوسته‌ای در موتورخانه انجام می‌شود. ساختمان باید فضای مناسب برای ساخت و احداث موتورخانه داشته باشد از آنجایی که در موتورخانه مرکزی، آب گرم باعث ایجاد گرمایش می‌شود و سوخت مستقیماً جهت گرمایش به داخل ساختمان وارد نمی‌شود، بنابراین احتمال نشت گاز و نیز گاز مونواکسیدکربن را نداریم و از طرفی با کمبود اکسیژن بواسطه احتراق (پکیج، بخاری،آب گرم‌کن و...) مواجه نیستیم. بنابراین ایمنی ساختمان بالاتر است و با توجه به مباحث مقررات ملی ساختمان چنین استنباط می‌شود که موتورخانه مرکزی برای ساختمان‌های مسکونی با تعداد آپارتمان‌های ۱۰ واحد و بیشتر الزامیست. از دیگر مزایای موتورخانه مرکزی در مجتمع‌های مسکونی می‌توان به هزینه اولیه کمتر در مقایسه با پکیج، تعداد دودکش‌های کمتر، مصرف سوخت و انرژی کمتر اشاره کرد. آب گرم سیرکولاسیون توسط موتورخانه مرکزی می‌تواند توسط رادیاتور، فن‌کویل، لوله‌های گرمایش از کف، یونیت هیتر و هواساز باعث گرم کردن فضای موردنظر شود که از این نظر روش‌های گوناگونی جهت گرمایش وجود دارد که در جدول الف برخی از آن‌ها بر مبنای نقطه نظرات مختلفی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱

جدول الف ــ مقایسه سیستمهای مختلف گرمایشی

جدول مقایسه سیستمهای مختلف گرمایشی												
نوع سیستم	حرارت مرکزی					حرارت موضعی						
آیتم	رادیاتور	فن کویل	گرمایش از کف	یونیت هیتر	هواساز	پمپ حرارتی	پکیج: رادیاتور	پکیج: گرمایش از کف	بخاری	شومینه	دستگاههای تابشی	کوره هوای گرم
هزینه اولیه	متوسط	متوسط	کمی زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	کمی زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	کم
هزینه بهره برداری	خیلی کم	نسبتاً کم	کم	نسبتاً کم	نسبتاً کم	زیاد	کم	کم	کم	کم	کم	کم
نحوه توزیع حرارت	مناسب	مناسب	عالی	مناسب	مناسب	نامناسب	مناسب	عالی	نا مناسب	نا مناسب	مناسب	نا مناسب
نیاز به تأمین هوا جهت احتراق	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد
نیاز به تأمین هوای تهویه برای نفرات	دارد	بستگی دارد	دارد	دارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
خطر نشت گاز خام سیستم	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	بستگی دارد
خطر گاز گرفتگی توسط دستگاه یا سیستم	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	بستگی دارد	بستگی دارد
کاهش اکسیژن توسط دستگاه یا سیستم	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	بستگی دارد	بستگی دارد
امکان تأمین ابگرم مصرفی	دارد		دارد	دارد	دارد	ندارد	دارد	دارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
نوع کاربری	م–ا–ع	م–ا–ع	م–ا–ع	ص	ص	م– ا– ت–ع	م– ا– ت–ع	م	م	م	ص	ص–ع
اشغال بخشی ازفضای مفید	آری	آری	خیر	آری	خیر	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	بستگی دارد
امکان استفاده برای خنک‌کاری	خیر	آری	خیر	آری	آری	دارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
امکان استفاده از سوخت مایع	آری	آری	آری	آری	آری	خیر	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد
استقلال کاربری بصورت دلخواه	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	-------	ندارد
ا = اداری، م = مسکونی، ع = عمومی، ص = صنعتی												

در کتاب حاضر هر جا که ایجاب کرده مباحث اجرایی و نکات مربوطه آمده است و نیز برای آن دسته از افرادی که در حوزه نظارت تأسیسات فعالیت دارند تقریباً برای هر تجهیز و المان تأسیساتی یک چک لیست آورده شده تا بتوانند از آن استفاده کنند.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از مدیریت محترم انتشارات آقای مهندس علی نصیرنیا و مجموعه دست‌اندرکاران از جمله سرکار خانم بیگلی و سرکار خانم رسولی کمال تشکر را به عمل آورم.

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فصل اول

تلفات و بارهای گرمایی ساختمان

- ☑ تلفات حرارتی جدارها
- ☑ تلفات حرارتی هوای نفوذی
- ☑ بار حرارتی آب گرم مصرفی

۱– مقدمه

می‌دانیم که بواسطه اختلاف دما انتقال حرارت صورت می‌گیرد و انتقال حرارت در ساختمان از داخل به بیرون و از روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که اکثر آن از طریق جداره‌ها (دیوار، پنجره، کف، سقف و درب) و نیز نفوذ و جایگزینی هوای تازه بیرون می‌باشد که به حرارت‌های تلف شده، تلفات حرارتی ساختمان یا بارهای حرارتی گفته می‌شود علاوه بر این تأمین آب گرم مصرفی نیز مستلزم صرف حرارت می‌باشد که باید توسط دیگ تأمین شود.

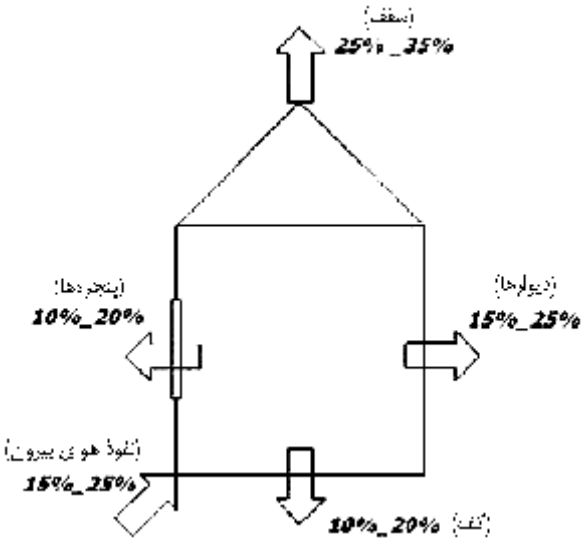
بخش زیادی از سوخت تولیدی کشور در بخش مسکونی مصرف می‌شود بنابراین اگر راههای انتقال حرارت به درستی شناخته شود و با توصیه‌های مناسب مهندسی رفتار شود می‌توان در مصرف سوخت و انرژی صرفه‌جویی عظیمی انجام داد. استفاده از عایق‌های حرارتی در دیوارهای خارجی ساختمان و سقف و کف خارجی، دو جداره کردن پنجره‌ها از راههای کاهش انتقال حرارت می‌باشد.

۲– تلفات و بارهای گرمایی ساختمان

گرما در ساختمان به طرق مختلفی تلف می‌شود و برای گرم نگهداشتن ساختمان باید گرماهای هدر رفته را جایگزین کرد.

در تأسیسات گرمایی، مهمترین پارامتر محاسبه و بدست آوردن بارهای حرارتی است که اگر بتوان بارهای حرارتی را بدست آورد می‌توان سایرتجهیزات مانند دیگ و متعلقات آن (مشتمل بر مشعل، دودکش)، مخزن سوخت، پمپ سیرکولاتور، اندازه لوله‌های مربوط، منبع انبساط، سختی‌گیر و... را محاسبه و انتخاب کرد.

در محاسبه بارهای گرمایی، موارد زیادی همچون نوع کاربری فضا، دمای طرح داخل، دمای طرح خارج، رطوبت نسبی بایستی مورد ملاحظه قرار بگیرند. علاوه بر این اطلاعات دیگری مانند، کیفیت و آنالیز دیوارها و جداره‌ها، ارتفاع از سطح دریا و... نیز مورد نیاز می باشند.



شکل ۱ـ درصد تقریبی تلفات گرمایی یک ساختمان ویلایی

برای محاسبه بارهای حرارتی دو روش وجود دارد: ۱– محاسبه دقیق ۲– محاسبه به روش تجربی (سریع)

در محاسبه دقیق باید حرارتی را که از روش‌های مختلف هدر می‌رود (تلفات حرارتی) محاسبه کرد.

در زمستان و فصول سرد انتقال حرارت عمدتاً از سه طریق زیر صورت می‌گیرد که باید آنها را به دقت محاسبه کرد:

الف– انتقال حرارت از طریق جداره‌ها

ب– انتقال حرارت ازطریق نفوذ و تعویض هوا

ج– انتقال حرارت بواسطه تامین ابگرم مصرفی

محاسبه به روش تجربی (سریع) مبتنی بر تجربه و اعداد و ارقام بدست آمده از پروژه‌هایی است که در یک محل خاص انجام شده، می‌باشد که دارای دقت پایین بوده و نمی‌تواند مبنایی برای طراحی باشد ولی محدوده‌ای را برای طراح مشخص می‌کند مثلاً برای مناطق معتدل گفته می‌شود:

برای ساختمانهای تا سه طبقه: ۱۲۰ کیلو کالری برساعت برای هر متر مربع تا سه متر ارتفاع (بدون احتساب ابگرم مصرفی)

بیش از سه طبقه ۱۵۰ کیلو کالری برساعت برای هر متر مربع تا سه متر ارتفاع (بدون احتساب ابگرم مصرفی)

برای ساختمانهای ویلایی با احتساب ابگرم مصرفی:۲۵۰ کیلو کالری برساعت برای هر متر مربع تا سه متر ارتفاع

۳ـ محاسبه تلفات حرارتی جدارها

۳ـ ۱ـ روش محاسبه انتقال حرارت

میدانیم که اختلاف دمای بین دو سطح باعث انتقال حرارت از قسمت گرم به قسمت سرد می‌شود فرمول انتقال حرارت بدین صورت است:

$$Q = \frac{K \times A \times \Delta T}{X} \qquad (۱)$$

که Q، K، A، ΔT و X به ترتیب مقدار حرارت انتقال حرارت، ضریب هدایت حرارتی جدار، سطح جدار، اختلاف دمای طرفین و ضخامت جدار می‌باشد.

از آنجایی که همواره یک لایه نازک (فیلم) هوای ساکن در مجاورت هر جدار وجود دارد که آنهم دارای مقاومت می‌باشد پس می‌توان گفت که عملاً در طبیعت هیچ سطح منفرد و تکی وجود ندارد و در محاسبات انتقال حرارت می‌بایست حداقل تعداد لایه‌های یک جدار را سه لایه در نظر گرفت. مثلاً یک پنجره از یک لایه شیشه و دو لایه هوای داخل و بیرون تشکیل شده است

بنابراین بجای فرمول (۱) از فرمول (۲) استفاده می‌کنیم:

$$Q = U \times A \times \Delta T \times (T_{in} - T_{out}) \qquad (۲)$$

بدین منظور باید سطح دیوار (A) مشخص باشد و ضریب انتقال حرارت کلی (U) و اختلاف دمای طرح داخل و خارج (T_{in}-T_{out}) را بدست آورد.

۳ـ ۲ـ محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی (U)

برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت کلی (U) باید مقاومت حرارتی کلی (R) که عکس U می‌باشد را محاسبه نمود که بدین منظور به صورت زیر عمل می‌شود:

- آنالیز جداره‌های دیوارها (عمدتاً دیوارهای خارجی) با توجه به نقشه‌های سازه‌ای و معماری و لیست نمودن آنها.
- بدست آوردن ضخامت و سپس ضریب هدایت حرارتی لایه‌های مختلف از جدول (۱).
- محاسبه مقاومت تک تک لایه‌های جدار از فرمول (۳).

$$R = \frac{X}{K} \qquad (۳)$$

- اگر لایه‌های جدار سری بود مانند سری بودن مقاومت‌ها در الکتریسیته (شکل ۲) از فرمول (۵) استفاده می‌گردد بطوریکه مقاومت فیلم هوای داخل و خارج را که در بند (۵) بدست آمده، با آن جمع می‌شود.

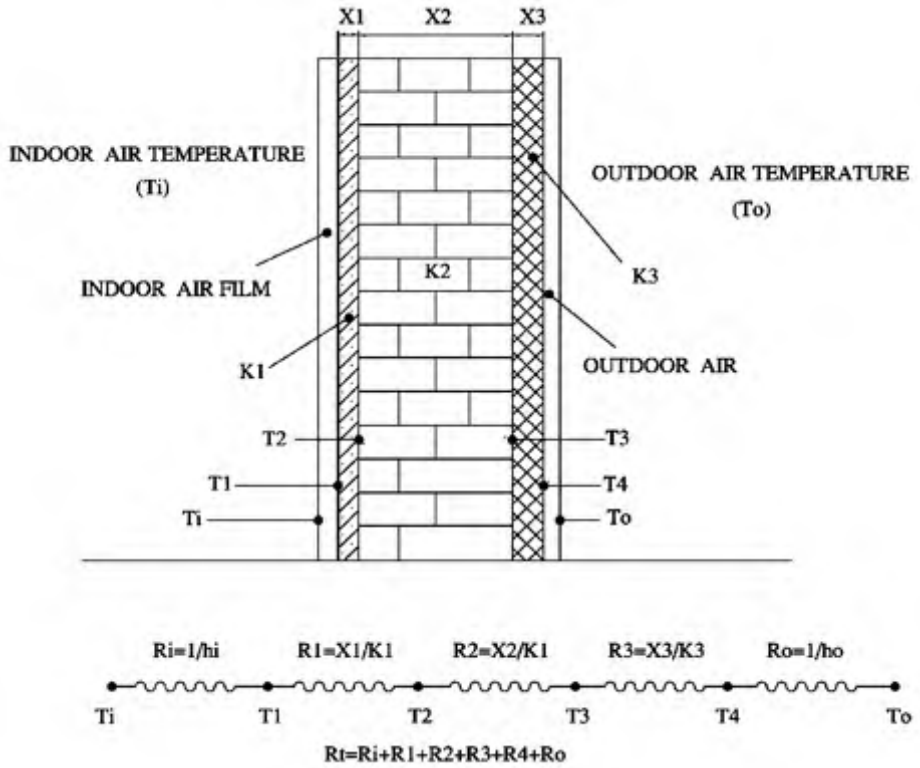
$$U = \frac{۱}{\Sigma R} \qquad (۴)$$

$$\Sigma R = R_{in} + R_۱ + R_۲ + R_۳ + R_۴ + R_{out} = R_{in} + \frac{X_۱}{K_۱} + \frac{X_۲}{K_۲} + \frac{X_۳}{K_۳} + R_{out} \qquad (۵)$$

- اگر جدار از لایه‌های سری و موازی تشکیل شده باشد از فرمول‌های زیر استفاده می‌شود:

$$\Sigma R = R_{in} + R_۱ + R_{EQ} + R_۴ + R_{out} = R_{in} + R_۱ + \frac{R_۲ \times R_۳}{R_۲ + R_۳} + R_۴ + R_{out} \qquad (۶)$$

$$\Rightarrow \Sigma R = R_{in} + \frac{X_۲ + X_۳}{X_۲ \times K_۳ + X_۳ \times K_۲} + \frac{X_۴}{K_۴} + R_{out} \qquad (۷)$$



شکل ۲- جدار مرکب با لایه‌های سری و نحوه محاسبه مقاومت حرارتی آن