



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۲۳۴-۲

چاپ اول

۱۳۹۲

INSO

18234-2

1st.Edition

2014

طراحی محیط ساختمان - طراحی،
ابعادگذاری، نصب و کنترل سیستم‌های
گرمایش و سرمایش تابشی توکار - قسمت
۲: تعیین ظرفیت طراحی گرمایشی و
سرمایشی

**Building environment design — Design,
dimensioning, installation and control of
embedded radiant heating and cooling
systems — Part 2: Determination of the
design heating and cooling capacity**

ICS:91.040.01

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۱۳۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر یافته و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۱۳۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود. پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«طراحی محیط ساختمان - طراحی، ابعادگذاری، نصب و کنترل سیستم‌های گرمایش و سرمایش تابشی توکار -

قسمت ۲: تعیین ظرفیت طراحی گرمایشی و سرمایشی»

رئیس:

روا، افشین

(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

سمت و / یا نمایندگی

اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

دبیر:

قدیمی کلجاهی، نیما

(کارشناس مهندسی عمران)

شرکت پیشگامان کیفیت هستی آذر

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

آسا، بهجت

(دانشجوی دکترای آموزش زبان انگلیسی)

موسسه آموزشی گلدیس

ارشد شبخانه، بهمن

(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

امیری، احمد

(کارشناس مهندسی عمران)

شرکت بنیاد بتن آذرآبادگان

تقی‌زادیه، نادر

(کارشناس ارشد زمین شناسی)

آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

جدیری صباغ، محمدعلی

(کارشناس مهندسی عمران)

شرکت پیشگامان کیفیت هستی آذر

جلالی سردرود، حسن

(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

شرکت جهاد نصر

جودی، تورج

(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

نظام مهندسی استان آذربایجان شرقی

کارشناس آزاد	دماوندی، حسن (کارشناس مهندسی عمران)
عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد مراغه	فتح‌العلومی، بهرنگ (کارشناس ارشد معماری)
کارشناس آزاد	فرشاهین، علیرضا (کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری)
اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی	قدیمی کلجاهی، فریده (کارشناس ارشد شیمی)
شرکت خدمات مهندسی صنعتی سرمد تبریز	قیصری اردهائی، تقی (کارشناس ارشد مهندسی مکانیک)
شرکت آذریت	ملک محمدپور، محمد حسین (کارشناس زمین شناسی)
کارشناس آزاد	یعقوب‌دوست، فرزاد (کارشناس مهندسی عمران)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ نمادها و اختصارات
۴	۵ مفهوم تعیین ظرفیت گرمایشی و سرمایشی
۵	۶ ضریب تبادل گرمایی بین سطح و فضا
۷	۷ روش‌های محاسبه ساده برای تعیین ظرفیت گرمایش و سرمایش یا دمای سطح
۱۴	۸ استفاده از برنامه‌های محاسباتی ساده
۱۴	۹ محاسبه ظرفیت گرمایش و سرمایش
۱۶	پیوست الف (الزامی) محاسبه شار گرمایی
۴۳	پیوست ب (الزامی) روش مقاومت کلی
۴۹	پیوست پ (الزامی) لوله‌های توکار در سازه چوبی
۵۷	پیوست ت (الزامی) روش تصدیق برنامه محاسبه FEM و FDM
۶۱	پیوست ث (الزامی) مقادیر رسانایی گرمایی مواد و لایه‌های هوا
۶۳	پیوست ج (اطلاعاتی) کتابنامه

پیش گفتار

استاندارد «طراحی محیط ساختمان- طراحی، ابعادگذاری، نصب و کنترل سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی تابشی توکار-قسمت ۲: تعیین ظرفیت طراحی گرمایشی و سرمایشی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت پیشگامان کیفیت هستی آذر تهیه و تدوین شده است و در چهار صد و هفتاد و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۲/۱۲/۱۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 11855-2:2012, Building environment design — Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems —Part 2: Determination of the design heating and cooling capacity

طراحی محیط ساختمان - طراحی، ابعادگذاری، نصب و کنترل سیستم‌های گرمایش و سرمایش تابشی توکار - قسمت ۲: تعیین ظرفیت طراحی گرمایشی و سرمایشی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش‌ها و شرایطی است که امکان تعیین دبی گرما در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی آبی را نسبت به دمای تفاضلی سیال، برای سیستم‌ها فراهم می‌کنند. تعیین عملکرد گرمایی آب بر پایه سیستم‌های گرمایش و سرمایش از سطح و انطباق آنها با این استاندارد از طریق محاسبه طبق مستندات طراحی و یک مدل محاسبه می‌شود. به این ترتیب، امکان ارزیابی یکنواخت و محاسبه سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی از سطح با ماده‌ی گردشی آب فراهم می‌شود.

دمای سطح و یکنواختی دمای سطح گرم / سرد شده، دمای اسمی تفاضلی ماده‌ی واسط، چگالی اسمی جریان گرمایی بین آب و محیط، و زمینه‌ی نمودارهای مشخصه برای نشان دادن رابطه‌ی میان چگالی جریان گرما و متغیرهای تعیین کننده به عنوان نتیجه ارائه شده است.

این استاندارد دربرگیرنده یک روش کلی مبتنی بر روش‌های تفاضل محدود یا اِلمان محدود و روش‌های محاسبه ساده شده بر اساس موقعیت لوله‌ها و نوع سازه‌ی ساختمان است.

این استاندارد و قسمت‌های دیگر آن، برای سیستم‌های گرمایش و سرمایش از سطح به صورت توکار در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی کاربرد دارد. این روش‌ها در سیستم‌های یک‌پارچه در داخل دیوار، کف یا سقف ساختمان بدون هیچ گونه فاصله‌ی هوایی کاربرد دارد و برای سیستم‌های پانلی با فاصله‌ی هوایی که در داخل سازه‌ی ساختمان یکپارچه نیستند، کاربرد ندارد.

این استاندارد و قسمت‌های دیگر آن، در صورت مقتضی، برای استفاده سیالات دیگر غیر از آب به عنوان ماده‌ی واسط گرمایش یا سرمایش، نیز کاربرد دارد اما برای آزمون سیستم‌ها به کار نمی‌رود. این روش‌ها برای گرمایش یا سرمایش از طریق پانل‌ها یا تیرهای سقفی کاربرد ندارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مرجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 11855-1:2012, Building environment design — Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems — Part 1: Definition, symbols, and comfort criteria

2-2 EN 1264-2, Water based surface embedded heating and cooling systems — Part 2: Floor heating: Prove methods for the determination of the thermal output using calculation and test methods

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ISO 11855-1 به کار می‌رود.

۴ نمادها و اختصارات

در این استاندارد، نمادها و اختصارات ارائه شده در جدول ۱ کاربرد دارد.

جدول ۱- نمادها و اختصارات

نماد	واحد	کمیت
a_i	—	ضرایب پارامتر برای محاسبه نمودارهای مشخصه
A_A	m^2	مساحت ناحیه اشغال شده
A_F	m^2	مساحت سطح گرمایش/سرمایش
A_R	m^2	مساحت سطوح پیرامونی
b_u	—	ضریب محاسبه بسته به فاصله لوله‌ها
B, B_G, B_0	$W/(m^2 \cdot K)$	ضرایب بسته به سیستم
D	m	قطر خارجی لوله، شامل مصالح مخصوص پوشش در صورت استفاده
d_a	m	قطر خارجی لوله
d_i	m	قطر داخلی لوله
d_M	m	قطر مصالح پوششی
c_W	$kJ/(kg \cdot K)$	ظرفیت گرمایی ویژه آب
h_t	$W/(m^2 \cdot K)$	ضریب انتقال حرارت کلی (همرفت + تابش) مابین سطح و محیط
k_H	$W/(m^2 \cdot K)$	ضریب انتقال حرارت معادل
K_{WL}	—	پارامتر برای وسایل رسانای گرما
K_{fin}	—	پارامتر برای وسایل رسانای گرما
k_{CL}	—	پارامتر برای لایه رسانای گرما
L_{WL}	m	پهنای وسایل رسانای گرما
L_{fin}	m	پهنای پره (قسمت افقی وسیله رسانای گرما به عنوان یک پره گرمایشی در نظر گرفته می‌شود)
L_R	m	طول لوله‌های نصب شده

جدول ۱- ادامه

نماد	واحد	کمیت
m	—	توان برای تعیین نمودارهای مشخصه
m_H	kg/s	دبی طراحی ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش
n, n_G	—	توان
q	W/m ²	شار گرمایی در سطح
q_A	W/m ²	شار گرمایی در ناحیه اشغال شده
q_{des}	W/m ²	شار گرمایی طراحی
q_G	W/m ²	شار گرمایی حدی
q_N	W/m ²	شار گرمایی اسمی
q_R	W/m ²	شار گرمایی در سطوح پیرامونی
q_u	W/m ²	شار گرمایی بیرون‌سو
R_O	m ² . K/W	مقدار جزئی ^۱ مقاومت سازه‌ی سطح انتقال گرمای درون‌سو
R_u	m ² . K/W	مقدار جزئی مقاومت سازه‌ی سطح انتقال گرمای برون‌سو
$R_{\lambda,B}$	m ² . K/W	مقاومت گرمایی پوشش سطح
$R_{\lambda,ins}$	m ² . K/W	مقاومت گرمایی عایق گرمایی
s_h	m	در سیستم‌های نوع B، ضخامت عایق گرمایی از لبه بیرونی عایق به لبه داخلی لوله‌ها (به شکل ۲ مراجعه کنید)
s_l	m	در سیستم‌های نوع B، ضخامت عایق گرمایی از لبه داخلی عایق به لبه بیرونی لوله‌ها (به شکل ۲ مراجعه کنید)
s_{ins}	m	ضخامت عایق گرمایی
s_R	m	ضخامت دیواره لوله
s_u	m	ضخامت لایه بالای لوله
s_{WL}	m	ضخامت وسیله رسانای گرمایی
S	m	ضخامت اندود(به استثنای لوله‌ها در سیستم‌های نوع A)
W	m	فاصله لوله‌ها
α	W/(m ² . K)	ضریب انتقال گرما
$\theta_{s,max}$	°C	بیشینه دمای سطح
$\theta_{s,min}$	°C	کمینه دمای سطح
θ_i	°C	دمای داخلی طراحی
θ_m	°C	دمای ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش
θ_R	°C	دمای ماده‌ی واسط برگشتی گرمایش/سرمایش
θ_V	°C	دمای ترمین ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش

جدول ۱- ادامه

نماد	واحد	کمیت
θ_u	°C	دمای داخلی در فضای مجاور
$\Delta\theta_H$	K	تفاضل دمای ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش
$\Delta\theta_{H,des}$	K	تفاضل دمای ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش طراحی
$\Delta\theta_{H,G}$	K	حد تفاضل دمای ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش
$\Delta\theta_N$	K	تفاضل دمای ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش اسمی
$\Delta\theta_V$	K	تفاضل دمای تامین ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش
$\Delta\theta_{V,des}$	K	تفاضل دمای تامین طراحی ماده‌ی واسط گرمایش/سرمایش
λ	W/(m. K)	رسانایی گرمایی
σ	K	افت دما ($\theta_V - \theta_R$)
φ	-	ضریب تبدیل دماها
ψ	-	حجم شاخک‌های نصب پنل‌ها در داخل مصالح پوششی دیوار، کف، یا سقف

۵ مفهوم روش تعیین ظرفیت گرمایش و سرمایش

هر سطح معین (کف، دیوار، سقف)، در دمای میانگین معینی از سطح و دمای فضاهاى داخلی (دمای عملیاتی θ_i)، شار حرارتی یکسانی را در هر فضایی، مستقل از نوع سیستم توکار تحویل می‌دهد. بنابراین امکان تعیین یک فرمول پایه یا نمودار مشخصه برای سرمایش و یک فرمول پایه یا نمودار مشخصه برای گرمایش، برای هر یک از انواع سطح (کف، دیوار، سقف)، مستقل از سیستم توکار، که برای تمامی سطوح گرمایش و سرمایش قابل اعمال باشد وجود دارد (به بند ۶ مراجعه کنید).

در این استاندارد دو روش ارائه شده است:

الف- روش‌های محاسبه ساده بسته به نوع سیستم (به بند ۷ مراجعه کنید)؛

ب- روش المان محدود و روش تفاضل محدود (به بند ۸ مراجعه کنید).

روش‌های مختلف محاسباتی در بند ۷ برای محاسبه دمای سطح (دمای میانگین، بیشینه و کمینه) بسته به ساختار (نوع لوله، قطر لوله، فاصله لوله‌ها، نصب لوله، وسایل رسانای گرما، لایه توزیع) و ساختار کف/دیوار/سقف (پوشش، لایه عایق، لایه هوای محبوس و غیره) ارائه شده است. روش‌های محاسبه ساده برای نوع سیستم ارائه شده و شرایط مرزی قید شده در بند ۷، باید برآورده شود. در دفترچه‌ی محاسبات، روش محاسبه به‌کار رفته باید به‌وضوح بیان شود.

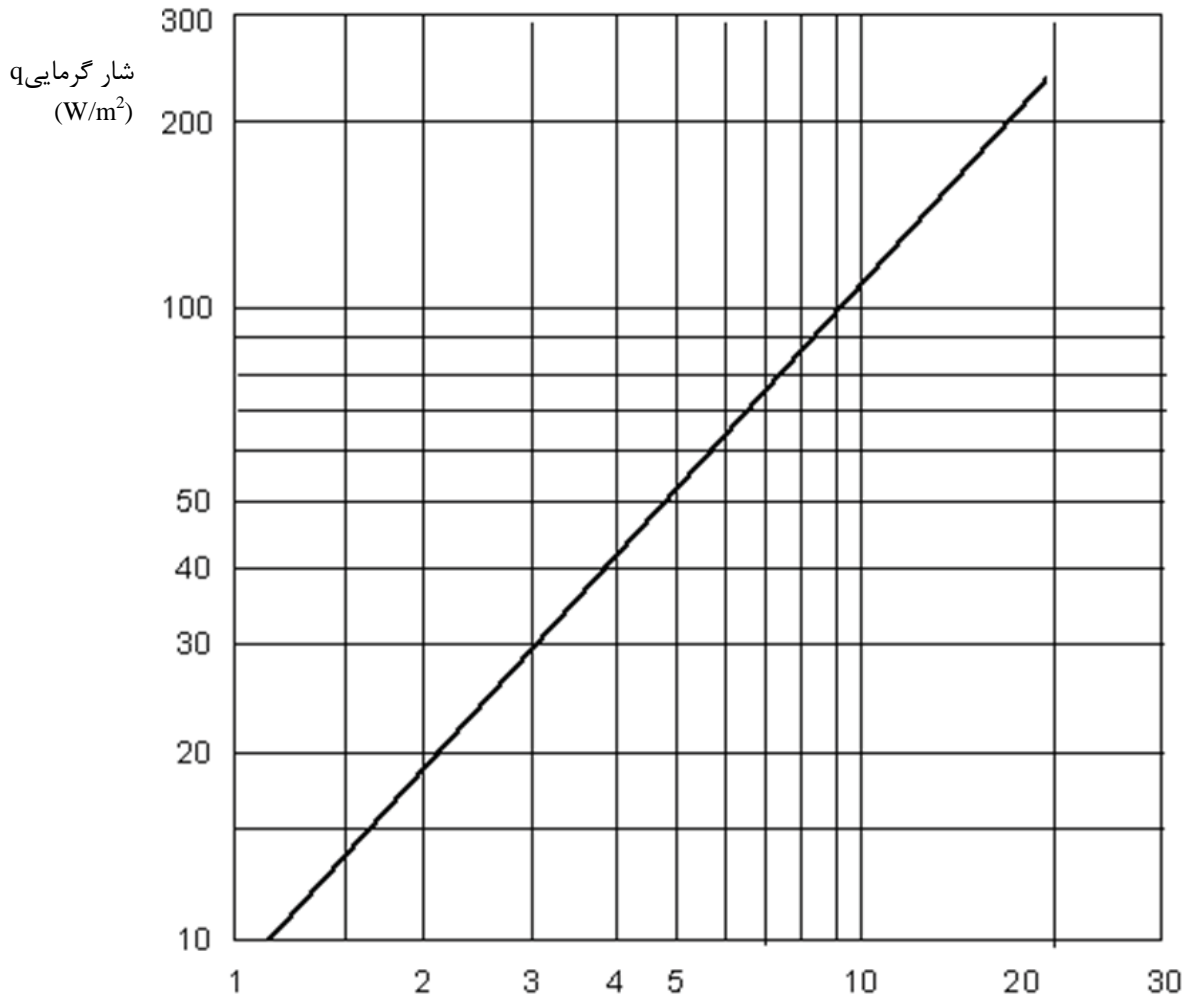
در حالتی که روش محاسبه ساده برای یک نوع سیستم ارائه شده، در دسترس نباشد، می‌توان روش محاسبه پایه با استفاده از روش المان محدود دو یا سه بعدی یا روش تفاضل محدود را به‌کار گرفت (به بند ۸ و پیوست ت مراجعه کنید).

یادآوری - علاوه بر این، می‌توان از آزمون آزمایشگاهی (به عنوان مثال: EN 1264-2، بند ۹) نیز استفاده کرد.

بر پایه دمای میانگین اندازه‌گیری شده سطح در ترکیب معینی از دمای ماده‌ی واسط (آب) و دمای محیط، امکان تعیین ظرفیت گرمایش و سرمایش حالت پایا وجود دارد (به بند ۹ مراجعه کنید).

۶ ضریب تبادل گرمایی بین سطح و فضا

ارتباط بین شار گرمایی و میانگین دمای تفاضلی سطح [به شکل ۱ و معادلات (۱) تا (۴) مراجعه کنید] به نوع سطح (کف، دیوار، سقف) و این که دمای سطح کمتر (سرمایش) یا بیشتر (گرمایش) از دمای محیط باشد، بستگی دارد.



میانگین دمای تفاضلی سطح
 $(\theta_{s,m} - \theta_i)$ بر حسب کلونین

شکل ۱- نمودار مشخصه پایه برای گرمایش از کف و سرمایش سقف

برای گرمایش از کف و سرمایش سقف در شکل ۱، چگالی جریان گرما، q با معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$q = 8.92(\theta_{s,m} - \theta_i)^{1.1} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

که در آن:

$\theta_{s,m}$ دمای میانگین سطح بر حسب درجه سلسیوس؛

θ_i دمای داخلی اسمی به کار رفته بر حسب درجه سلسیوس.

برای انواع دیگر سیستم‌های گرمایش و سرمایش سطح، شار گرمایی q با معادله (۲) بیان می‌شود:

$$q = 8(|\theta_{s,m} - \theta_i|) \quad (\text{W/m}^2) \quad \text{گرمایش دیوار و سرمایش دیوار} \quad (2)$$

$$q = 6(|\theta_{s,m} - \theta_i|) \quad (\text{W/m}^2) \quad \text{گرمایش سقف} \quad (3)$$

$$q = 7(|\theta_{s,m} - \theta_i|) \quad (\text{W/m}^2) \quad \text{سرمایش کف} \quad (4)$$

ضریب انتقال گرما ترکیبی از همرفت و تابش است.

یادآوری- در بسیاری از شبیه‌سازی‌های سیستم‌های ساختمانی با استفاده از مدل‌های کامپیوتری دینامیکی، انتقال گرما اغلب به سهم همرفت (مابین سطح گرم شده/ سرد شده و هوای فضا) و سهم تابشی (مابین سطح گرم شده/ سرد شده و سطوح محیط اطراف یا منابع) تقسیم می‌شود. ضریب انتقال گرمای همرفت به نوع سطح، گرمایش یا سرمایش، سرعت هوا (همرفت اجباری) یا اختلاف دما بین سطح و هوا (همرفت طبیعی) بستگی دارد.

برای استفاده از روش محاسبه ساده در پیوست الف، نمودارهای مشخصه، شار گرمایی را به صورت تابعی از اختلاف بین دمای متوسط گرمایش/سرمایش و دمای داخلی نشان می‌دهند. برای کاربر پیوست الف، این بدین معنا نیست که هیچ‌گونه محاسبات مستقیم با استفاده از مقادیر ضرایب تبادل گرما انجام نشود. در نتیجه، در پیوست الف مقادیر لازم برای چنین کاربردی یا جزئیات ویژه یا معادلات مربوط به ضرایب تبادل گرمایی در مورد سطوح گرمایش یا سرمایش داده نشده است.

به این ترتیب، مقادیر α در جدول الف-۱۲ پیوست الف برای محاسبه مستقیم شار گرمایی در نظر گرفته نشده است. در واقع آنها منحصرًا برای تبدیل نمودارهای مشخصه مطابق با معادله (الف-۳۲) در بند الف-۳ تهیه شده‌اند. این محاسبات، برای ساده‌سازی بر پایه ضرایب تبادل گرمای برابری برای سرمایش کف و گرمایش سقف، $\text{W}/6.5\text{m}^2\text{K}$ مبتنی هستند.

برای هر سطح سیستم گرمایش/سرمایش، یک بیشینه شار گرمایی مجاز، شار گرمایی حد، q_G وجود دارد. این مقدار انتخاب شده به ازای دمای داخلی طراحی اتاق θ_1 (برای گرمایش اغلب 20°C و برای سرمایش اغلب 26°C) در بیشینه یا کمینه دمای سطح $\theta_{F,max}$ و افت دما $\sigma = 0\text{K}$ تعیین شده است.

برای محاسبات، مرکز سطح ناحیه گرمایش یا سرمایش، صرف‌نظر از نوع سیستم، به عنوان نقطه مرجع برای $\theta_{s,max}$ به کار می‌رود.

دمای میانگین سطح، $\theta_{s,m}$ که چگالی جریان گرما (به نمودار مشخصه پایه مراجعه کنید) را معین می‌کند، با بیشینه یا کمینه دمای سطح: $\theta_{s,m} < \theta_{s,max}$ مرتبط و رابطه‌ی $\theta_{s,m} > \theta_{s,min}$ همیشه برقرار است.

مقدار در دسترس، $\theta_{s,m}$ ، نه فقط به نوع سیستم، بلکه به شرایط کارکردی همبستگی دارد (افت دما $\sigma = \theta_V - \theta_R$ ، جریان برون‌سوی گرما q_u و مقاومت گرمایی پوشش $R_{\lambda,B}$).

پیش‌فرض‌های زیر پایه محاسبات شار گرمایی را تشکیل می‌دهد:

الف-تبادل گرما مابین سطح گرم کننده یا سرد کننده و محیط مطابق با نمودار مشخصه پایه روی می‌دهد؛

ب- افت گرما برابر صفر است ($\sigma = 0$). وابستگی نمودار مشخصه به افت گرما با استفاده از میانگین دمای تفاضلی گرمایش تعیین شده (تابع لگاریتمی) $\Delta\theta_H$ تعیین می‌شود (به معادله ۱ مراجعه کنید).

پ- جریان آشفته در لوله: $\frac{m_H}{d_i} > 4000 \frac{kg}{h.m}$ ؛

ت-جریان جانبی گرما وجود ندارد.

۷ روش‌های محاسبه ساده برای تعیین ظرفیت گرمایش و سرمایش یا دمای سطح

طبق این استاندارد، می‌توان از دو نوع روش محاسبه ساده استفاده کرد:

الف- یک روش مبتنی بر حاصل ضرب تابع قدرت تکین منفرد همه پارامترهای مرتبط - که به روش المان محدود (FEM) فرمول‌بندی شده است؛

ب- روش دیگر مبتنی بر محاسبه مقاومت گرمایی معادل مابین دمای محیط گرمایش یا سرمایش و دمای سطح (یا دمای اتاق).

ساختار هر سیستم معین را می‌توان با یکی از روش‌های ساده محاسبه کرد. روش صحیح اعمال هر یک از این روش‌ها بستگی به نوع سیستم A تا G (موقعیت لوله‌ها، ساختار بتنی یا چوبی) و شرایط مرزی قید شده در جدول ۲ دارد.

جدول ۲- معیار انتخاب روش محاسبه ساده شده

مرجع روش	شرایط مرزی	شکل	نوع سیستم	موقعیت لوله
۱-۷ الف-۲-۲	$W \geq 0,050 \text{ m}$ $s_u \geq 0,01 \text{ m}$ $0,008 \text{ m} \leq d \leq 0,03 \text{ m}$ $s_u/\lambda_e \geq 0,01$	الف-۲	A, C	در اندود انقطاع گرمایی از پایه ساختاری ساختمان با عایق گرمایی
۱-۷ الف-۲-۳	$0,05 \text{ m} \leq W \leq 0,45 \text{ m}$ $0,014 \text{ m} \leq d \leq 0,022 \text{ m}$ $0,01 \text{ m} \leq s_u/\lambda_e \leq 0,18$	ب-۲	B	در وسایل عایق، رسانا در سازه‌های غیرچوبی به استثنای لایه‌های باربردار و لایه گرمابخش
۱-۷ الف-۲-۴		پ-۲	D	سیستم با مقطع ساده
۲-۷ ب-۱	$S_T/W \geq 0,3$	۴	E	در دال بتنی
۲-۷ ب-۲	$d_a/W \leq 0,2$	۵	F	لوله‌های مویین در سطح بتنی
۲-۷ پیوست پ	$\lambda_{WL} \geq 10\lambda_{\text{surroundingmaterial}}$ $S_{WL} \lambda \geq 0,01$	۶	G	ساختارهای چوبی، لوله‌ها در زیر کف یا پایین‌تر از زیر کف، وسایل رسانا

۱-۷ تابع قدرت تکین عمومی

شار گرمایی مابین لوله‌های توکار (دمای محیط گرمایش یا سرمایش) و محیط با معادله (۵) محاسبه می‌شود:

$$q = B \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot \Delta\theta_H \quad (\text{W/m}^2) \quad (5)$$

که در آن:

B ضریب وابسته به سیستم بر حسب $(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$ است. این مقدار به نوع سیستم بستگی دارد؛

$\prod_i (a_i^{m_i})$ حاصل ضرب قدرت است که پارامترهای ساختمان (پوشش سطح، فاصله لوله، قطر لوله و پوشش لوله) به هم ارتباط می‌دهد.

روش محاسبه در پیوست الف برای چهار نوع سیستم زیر ارائه شده است:

الف- نوع A با لوله‌های توکار در اندود یا بتن (به شکل ۲ و بند الف-۲-۲ مراجعه کنید)؛

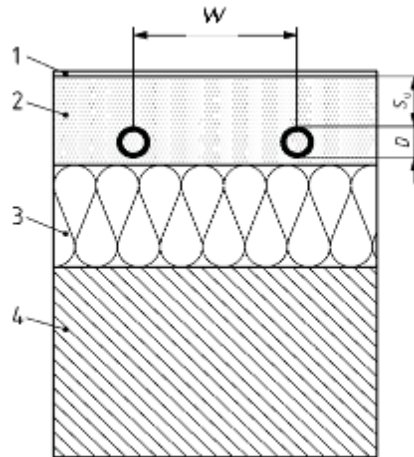
ب- نوع B با لوله‌های توکار خارج از اندود (به شکل ۲ و بند الف-۲-۳ مراجعه کنید)؛

پ- نوع C با لوله‌های توکار در اندود (به شکل ۲ و بند الف-۲-۴ مراجعه کنید)؛

ت- نوع D سیستم‌های مقطع مسطح (به بند الف-۲-۴ مراجعه کنید)؛

شکل ۲ انواع سیستم‌های توکار در کف را نشان می‌دهد، اما این روش‌ها را می‌توان برای سیستم دیوار و سقف، با موقعیت متناظر لوله‌ها نیز به کار برد.

این روش فقط باید برای پیکربندی‌های سیستمی که در شرایط مرزی ارائه شده برای انواع مختلف سیستم‌ها در پیوست الف صدق می‌کند، استفاده شود.



الف- نوع A و C

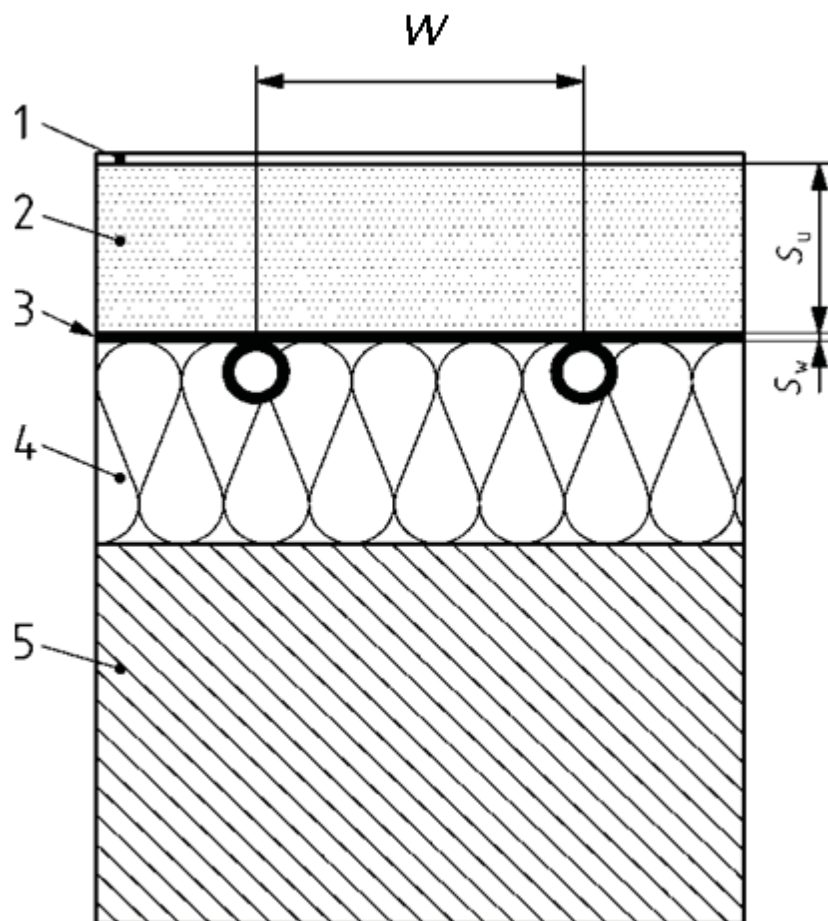
راهنما:

۱ پوشش کف

۲ سطح باربردار و لایه‌ی گرمایش (اندود سیمانی، انیدریتی، قیری)

۳ عایق گرمایی

۴ بستر سازه‌ای



ب- نوع B

راهنما:

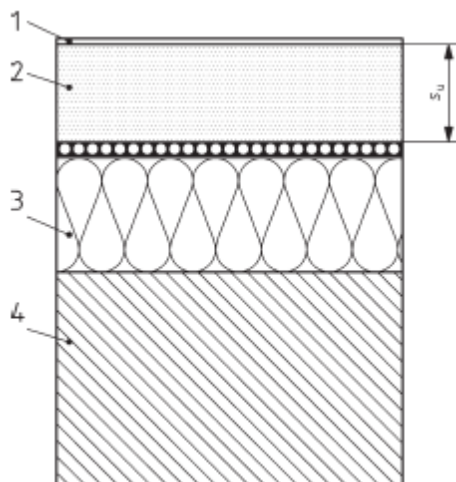
۱ پوشش کف

۲ سطح باربردار و لایه‌ی گرمایش (اندود سیمانی، انیدریتی، قیری)

۳ وسایل نفوذ گرمایی

۴ عایق گرمایی

۵ بستر سازه‌ای



پ- نوع D

راهنما:

۱ پوشش کف، $R_{\lambda, B}$

۲ سطح باربردار و لایه‌ی گرمابخش (اندود سیمانی، انیدریتی، قیری)

۳ عایق گرمایی

۴ بستر سازه‌ای

شکل ۲- سیستم‌های نوع A، B و C تحت پوشش روش پیوست الف

۲-۷ روش‌های مقاومت گرمایی

شار گرمایی بین لوله‌های توکار (دمای محیط گرمایش یا سرمایش) و فضای یا سطح با استفاده از مقاومت‌های گرمایی محاسبه می‌شود.

مفهوم آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

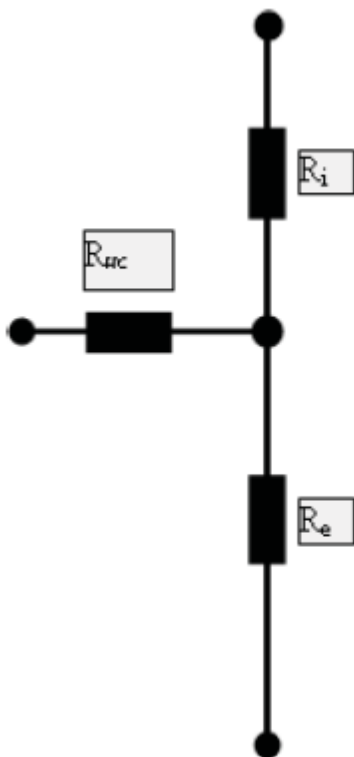
مقاومت معادلی، R_{HC} ، مابین محیط گرمایش یا سرمایش برای هسته فرضی (یا لایه رسانای گرما) در موقعیت لوله‌ها تعیین شده است. این مقاومت شامل تاثیر نوع لوله، فاصله لوله و روش نصب لوله (در سازه‌های بتنی، چوبی و غیره) است. به این روش، دمای هسته فرضی محاسبه می‌شود. انتقال گرما بین این لایه فرضی و سطوح R_i و R_e (یا فضا و فضای مجاور) با استفاده از مقاومت‌های خطی (اضافه کردن مقاومت لایه‌های بالا و پایین لایه رسانای گرما) محاسبه می‌شود.

مقاومت معادل لایه رسانای گرما به روش‌های مختلفی بسته به نوع سیستم‌ها محاسبه می‌شود.

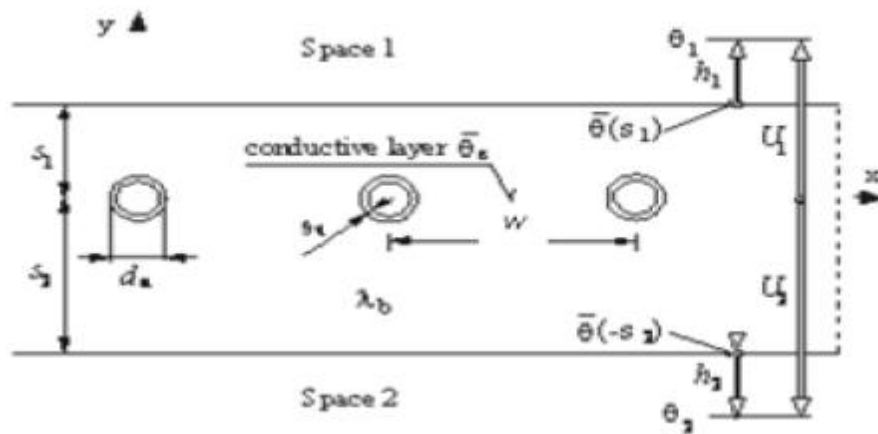
روش محاسبه با استفاده از مفهوم کلی مقاومت، در پیوست ب برای دو نوع سیستم زیر ارائه شده است:

الف- نوع E با لوله‌های تعبیه شده در دال‌های بتنی حجیم (به شکل ۴ و بند ب-۱ مراجعه کنید)؛

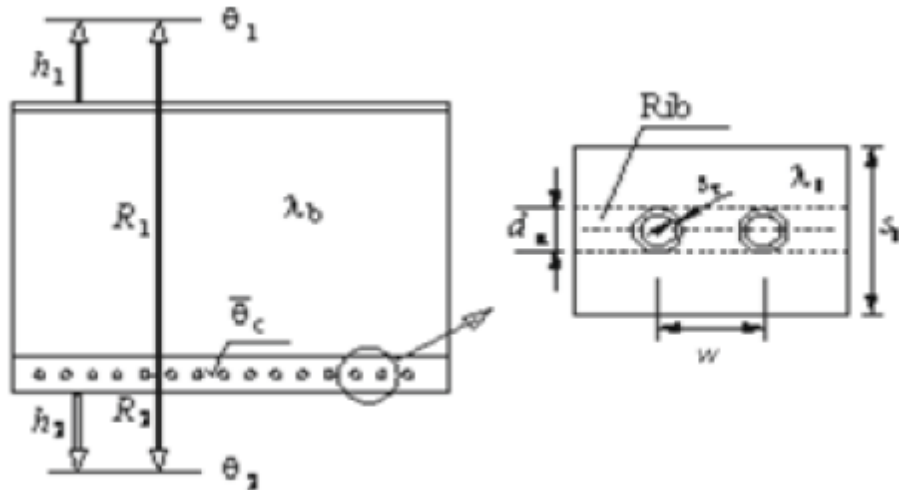
ب- نوع F با لوله‌های موئین تعبیه شده در یک لایه در سطح درونی (به شکل ۵ و بند ب-۲ مراجعه کنید)؛



شکل ۳- شبکه نمادین مقاومت گرمایی

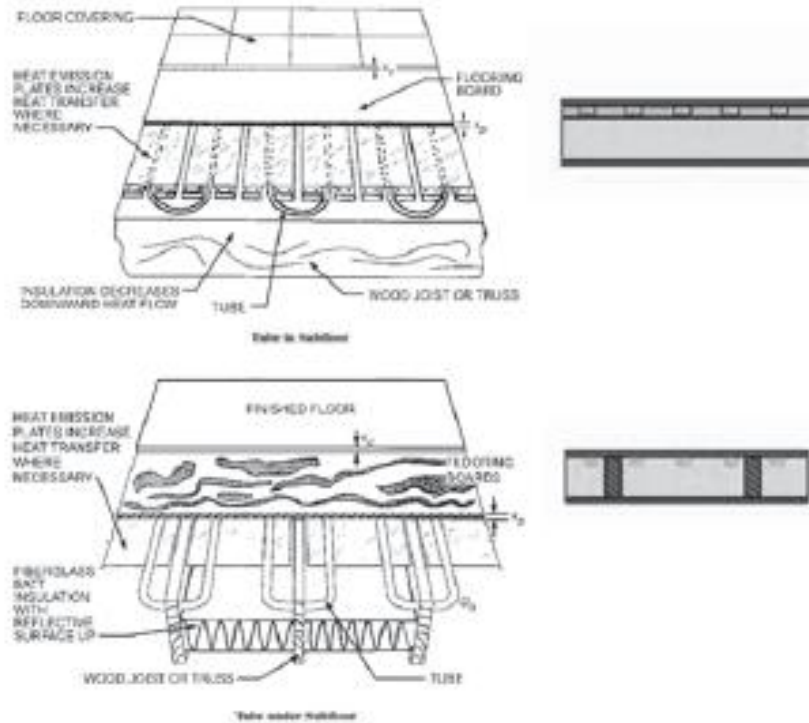


شکل ۴- لوله‌های تعبیه شده در لایه بتنی حجیم، نوع E



شکل ۵- لوله‌های مویین تعبیه شده در یک لایه در سطوح درونی، نوع F

این روش محاسبه، با استفاده از مفهوم کلی مقاومت، در پیوست پ برای لوله‌های توکار در ساختمان‌های با کف چوبی با استفاده از صفحات رسانای گرما نشان داده شده است (به شکل ۶ مراجعه کنید).



شکل ۶- لوله‌ها در ساختمان‌های چوبی، نوع G

مقاومت معادل لایه رسانا را می‌توان با محاسبه از طریق آنالیز روش المان محدود یا روش تفاضل محدود (به بند ۸ مراجعه کنید) یا با آزمون آزمایشگاهی (پیوست ب استاندارد EN 1264-2) نیز تعیین کرد.

۸ استفاده از برنامه‌های محاسباتی ساده

۸-۱ برنامه‌های محاسباتی ساده

برای سهولت تصدیق، آنالیز عددی با روش المان محدود یا با روش تفاضل محدود باید بر طبق به‌روزترین روش‌ها و مقررات قابل اعمال انجام گیرند. برنامه محاسبه مورد استفاده باید مطابق پیوست ت تصدیق شود.

آنالیز عددی ممکن است برای محاسبه ظرفیت گرمایش و سرمایش یا مقاومت‌های معادل مورد استفاده قرار گیرند. بر پایه مقاومت‌های معادل، ظرفیت گرمایش و سرمایش برای اختلاف دماهای مختلف مابین سطح و اتاق محاسبه می‌شود.

۸-۲ اقلام وارد شده در یک مستندسازی محاسبه کامل

موارد زیر در یک مستندسازی محاسبه کامل وارد می‌شوند:

الف- ارائه و مستندسازی ساختار مورد آنالیز، به وسیله نقشه، نمودار و رسم فنی؛

ب- نمایش داده‌های ماده استفاده شده به عنوان مبنا و منابع داده‌های ضروری؛

پ- توصیف حالت‌های بار استفاده شده به عنوان مبنا، شامل ارجاع به مقررات فنی و استانداردها؛

ت- توصیف و ارائه مدل عددی به کار رفته، نمایش پایه‌های ریاضی و فیزیکی، به عنوان مثال نوع المان، توابع شکل، تعداد المان‌ها، گره‌ها و درجه‌های آزادی؛

ث- نام، تصدیق، اگر در دسترس باشد، و منشاء برنامه محاسباتی؛

ج- توصیفی از فرضیات فنی، ساده‌سازی‌ها و قیود مورد استفاده در مدل.

۹ محاسبه ظرفیت گرمایش و سرمایش

در برخی روش‌های محاسبه شده توصیف شده، ظرفیت گرمایش و سرمایش به طور مستقیم تعیین می‌شوند (به پیوست الف مراجعه کنید).

در روش‌های محاسبه دیگر توصیف شده، میانگین دمای سطح تعیین می‌شود و ظرفیت گرمایش و سرمایش به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$q_{des} = h_c(|\theta_{s,m} - \theta_i|)$$

برای ارزیابی عملکرد سیستم - و به هنگام محاسبه قدرت گرمایش و سرمایش کل مورد نیاز از سیستم ایجاد کننده انرژی (دیگ بخار، مبادله گر گرمایی، چیلر و غیره) - تبادل گرمایی برون سو (سمت عقب) نیز باید در نظر گرفته شود. اگر جهت این تبادل گرمایی به بیرون، یک فضای بدون گرمایش یا سرمایش، یا هر فضای دیگری از ساختمان قرار گیرد، چنین تبادل گرمایی بستگی به اختلاف دمای بین لایه استقرار لوله مانند مقاومت انتقال گرما به فضای مجاور یا بیرون و دمای آن دارد و افت محسوب می شود.

پیوست الف

(الزامی)

محاسبه شار گرمایی

الف-۱ کلیات

محاسبه پایه برای سیستم‌های گرمایشی مرجع انجام شده است (به بند الف-۲ مراجعه کنید).

این نتایج برای سیستم‌های گرمایشی به طور مستقیم اعمال می‌شود.

روش توصیف شده در بند الف-۳، تبدیل این نتایج را به نتایجی برای سطوح دیگر اتاق (گرمایش سقف و دیوار) امکان‌پذیر می‌کند. این روش برای سرمایش سطوح (سرمایش کف، سقف، دیوار) نیز کاربرد دارد. این روش محاسبه بر پایه نتایج حاصل از بندهای الف-۲-۲، الف-۲-۳ و الف-۲-۴ مبتنی است. تغییر در مقاومت گرمایی سطح $\Delta R_{\alpha} = \Delta(1/\alpha)$ ، میدان گرمایی در سیستم را به همان ترتیب تغییر در مقاومت گرمایی سطح پوشش دهنده $\Delta R_{\lambda,B}$ تحت تاثیر قرار می‌دهد.

الف-۲ سیستم‌های گرمایش مرجع

الف-۲-۱ کلیات

شار گرمایی q در سطح با پارامترهای زیر تعیین می‌شود.

الف-فاصله‌ی لوله‌ها؛ W

ب- ضخامت s_u و رسانایی گرمایی λ_E لایه بالای لوله؛

پ- مقاومت رسانش گرمایی $R_{\lambda,B}$ پوشش؛

ت- قطر بیرونی لوله $D=d_a$ شامل مصالح پوشش $D=d_M$ در صورت لزوم و رسانایی گرمایی لوله λ_R و/یا مصالح پوشش λ_M . در لوله‌های غیرمدور می‌باید قطر معادل لوله‌های مدوراز طریق محیط مقطع برابر محاسبه شود (اندود پوشش دهنده باید بدون تغییر مورد استفاده قرار گیرد). ضخامت و مقاومت رسانایی گرمایی لایه‌های عایق با چسبندگی قوی با ضخامت 0.30 mm نباید در نظر گرفته شوند. در این حالت، باید $D=d_a$ در نظر گرفته شود.

ث- وسایل رسانای گرما، مشخص شده با مقدار K_{WL} مطابق با بند الف-۳؛

ج- تماس بین لوله‌ها و وسایل یا اندود رسانای گرما، که با α_K نشان داده می‌شود؛

چ- لایه رسانای گرمای سیستم گرمایش توسط عایق گرمایی از ساختار پایه ساختمان منقطع می‌شود.

شار گرمایی با n ($\Delta\theta_H$) متناسب است، که در آن تفاضل دما بین ماده‌ی واسط گرمایش و دمای اتاق برابر با مقدار زیر است:

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln \frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}} \quad (\text{الف-۱})$$

و بررسی‌های نظری و تجربی نشان می‌دهد که در آن توان n به صورت $1.0 < n < 1.5$ است.

برای حدود دقت قابل حصول، $n=1$ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شار گرمایی q با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$q = B \cdot \prod_i a_i^{m_i} \cdot \Delta\theta_H \quad (\text{الف-۲})$$

که در آن:

B ضریب وابسته به سیستم بر حسب $W/(m^2.K)$ است و به نوع سیستم بستگی دارد؛

$\prod_i (a_i^{m_i})$ حاصل ضرب قدرت است که پارامترهای سازه را تجمیع می‌کند (به بند الف-۲-۲، الف-۲-۳ و الف-۲-۴ مراجعه کنید).

بین سیستم‌هایی با لوله‌های اندود داخلی، سیستم‌هایی با لوله‌های زیر اندود و سیستم‌های با مقطع ساده باید تمایز قائل بود. معادله (الف-۲) مستقیماً برای ساختمان‌های متداول به کار می‌رود.

الف-۲-۲ سیستم‌هایی با لوله‌های داخل اندود (نوع A و نوع B)

برای این سیستم‌ها (به شکل الف-۱ مراجعه کنید)، نمودارهای مشخصه با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$q = B \cdot a_B \cdot a_W^{m_W} \cdot a_U^{m_U} \cdot a_D^{m_D} \cdot \Delta\theta_H \quad (\text{الف-۳})$$

که در آن:

$$B = B_0 = 6.7 W/(m^2.K)$$

مقادیر B برای رسانایی گرمایی $\lambda_R = \lambda_{R,0} = 0.35 W/(m.K)$ لوله‌ها و ضخامت دیوار لوله برابر با $s_R = s_{R,0} = (d_a - d_i)/2 = 0.02 m$ معتبر هستند.

برای مواد دیگر با رسانایی گرمایی متفاوت یا ضخامت دیوار متفاوت یا لوله‌های پوشش‌دار، B باید مطابق بند الف-۲-۶ محاسبه شود.

برای اندود سیمانی گرمایشی، با رطوبت پایین، $\lambda_E = 1.2 W/(m.K)$ باید مورد استفاده قرار گیرد. این مقدار را برای لایه‌های اندود نرمه نیز می‌توان به کار برد. اگر مقدار متفاوتی استفاده شود، اعتبار آن باید بررسی شود.

ضریب پوشش α_B سطح مطابق با معادله زیر محاسبه می‌شود

$$\alpha_B = \frac{\frac{1}{a} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{a} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}} \quad (\text{الف-۴})$$

که در آن:

$$\alpha = 10,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\lambda_{u,0} = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$s_{u,0} = 0,045 \text{ m}$$

$R_{\lambda,B}$ مقاومت رسانایی گرمایی پوشش دهنده کف، بر حسب $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ؛

λ_E رسانایی گرمایی اندود بر حسب $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ؛

$\alpha_W = f(R_{\lambda,B})$ ؛ ۱- ضریب فاصله گذاری لوله مطابق با جدول الف-۱؛

$\alpha_U = f(W, R_{\lambda,B})$ ؛ ۲- ضریب پوشش دهی مطابق با جدول الف-۲؛

$\alpha_D = f(W, R_{\lambda,B})$ ؛ ۳- ضریب قطر بیرونی لوله مطابق با جدول الف-۳؛

$$m_W = 1 - \frac{W}{0,075} \quad (\text{الف-۵})$$

که در آن:

$$0,050\text{m} \leq W \leq 0,375\text{m} \quad (\text{که } W \text{ فاصله ی بین لوله ها است})؛$$

$$m_u = 100(0,045 - s_u) \quad (\text{الف-۶})$$

که در آن:

$$s_u \geq 0,010 \text{ m} \quad (\text{که } s_u \text{ ضخامت لایه بالای لوله است})؛$$

$$m_D = 250(D - 0,020) \quad (\text{الف-۷})$$

هنگامی اعمال می شود که $0,008\text{m} \leq D \leq 0,030\text{m}$ (که در آن D قطر بیرونی لوله، و نیز پوشش در صورت اعمال است).

معادلات (الف-۴) تا (الف-۷) برای ضخامت لایه بالای لوله (درون سو) برای $s_u \leq s_u^*$ و $0,065\text{m} < s_u$ معتبر است که در آن $s_u^* = 0,100\text{m}$ برای حالتی که فواصل بین لوله ها $W < 0,200\text{m}$ و $s_u^* = 0,05\text{m}$ برای فواصل بین لوله ها $W > 0,200\text{m}$ است.

همچنین اگر $W > 0,375$ ، فاصله واقعی W باید برای محاسبه s_u مورد استفاده قرار گیرد. برای $s_u > s_u^*$ ، ضریب انتقال گرما برابر است با:

$$K_H = \frac{1}{\frac{1}{K_{H,S_u=S_u^*}} + \frac{S_u - S_u^*}{\lambda_E}} \quad (\text{الف-۸})$$

در معادله (الف-۸)، $K_{H,S_u=S_u^*}$ حاصل قدرت از معادله (الف-۳)، محاسبه شده برای پوشش S_u^* بالای لوله است. شار گرمایی برابر است با:

$$q = K_H \cdot \Delta\theta_H \quad (\text{الف-۹})$$

اگر فاصله بین لوله‌ها $W > 0,375 \text{ m}$ باشد، شار گرمایی تقریباً برابر با مقدار زیر است:

$$q = q_{0,375} \cdot \frac{0,375}{W} \quad (\text{الف-۱۰})$$

که در آن:

$q_{0,375}$ شار گرمایی برای فاصله بین لوله‌ها $W = 0,375 \text{ m}$ است.

نمودارهای حدی مطابق با معادله (الف-۱۸) محاسبه می‌شوند (به بند الف-۲-۵ مراجعه کنید). محدودیت روش:

موقعیت لوله‌ها

$$W \geq 0,05 \text{ m}$$

$$S_u \geq 0,10 \text{ m}$$

$$0,008 \text{ m} \leq D \leq 0,030 \text{ m}$$

$$0,1 \leq S_u / \lambda_E \leq 0,792$$

الف-۲-۳ سیستم‌هایی با لوله‌های زیر اندود یا کف تیر چوبی (نوع B)

برای این سیستم‌ها (به شکل الف-۲ مراجعه کنید)، ضخامت متغیر S_U لایه سطح اتکای وزن و رسانایی گرمایی متغیر λ_E با یک ضریب α_U نمایش داده شده‌اند. قطر لوله تاثیری ندارد. با این وجود، تماس بین لوله گرمایش و وسیله رسانای گرما یا هر وسیله دیگر توزیع گرما، یک پارامتر مهم است. نمودار مشخصه با معادله زیر محاسبه می‌شود

$$q = B \cdot \alpha_B \cdot \alpha_W^{mW} \cdot \alpha_U \cdot \alpha_{WL} \cdot \alpha_K \cdot \Delta\theta_H \quad (\text{الف-۱۱})$$

$$B = B_0 = 6,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \text{ که}$$

مقادیر B برای رسانایی گرمایی $\lambda_{R,0} = 0,35 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ لوله‌ها و ضخامت دیوار لوله برابر با $S_R = S_{R,0} = (d_a - d_i) / 2 = 0,02 \text{ m}$ معتبر هستند.

α_B ضریب پوشش سطح:

$$\alpha_B = \frac{1}{1+B.\alpha_U.\alpha_W^{mW}.\alpha_{WL}.\alpha_K.R_{\lambda,B}.\bar{f}(W)} \quad (\text{الف-۱۲})$$

$$\bar{f}(W) = 1 + 0.44\sqrt{W}$$

$\alpha_T = f\left(\frac{S_u}{\lambda_E}\right)$ ؛ α_T ضریب فاصله گذاری لوله مطابق با جدول الف-۶؛

α_U ضریب پوشش که با معادله زیر محاسبه می شود:

$$\alpha_U = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_u}{\lambda_E}} \quad (\text{الف-۱۲-الف})$$

که در آن:

$$\alpha = 10.8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$\lambda_{u,0} = 1 \text{ W}/(\text{m.K})$$

$$S_{u,0} = 0.45 \text{ m}$$

$\alpha_{WL} = f(K_{WL}, W, D)$ ؛ α_{WL} ضریب وسیله رسانایی گرما مطابق جدول الف-۸؛

$\alpha_K = f(W)$ ؛ α_K ضریب تصحیح برای تماس مطابق جدول الف-۹؛

(الف-۱۳) $m_W = 1 - \frac{W}{0.075}$ برای $0.45 \text{ m} \leq W \leq 0.5 \text{ m}$ به کار می رود که W فاصله گذاری لوله است.

مقدار مشخصه K_{WL} برابر است با:

$$K_{WL} = \frac{s_{WL}.\lambda_{WL} + b_u.S_u.\lambda_E}{0.125} \quad (\text{الف-۱۴})$$

که در آن:

$$b_u = f(W) \quad \text{مطابق جدول الف-۷؛}$$

$s_{WL}.\lambda_{WL}$ حاصل ضرب ضخامت و رسانایی گرمایی ماده رسانای گرما؛

$S_u.\lambda_E$ حاصل ضرب ضخامت و رسانایی گرمایی اندود.

اگر پهنای L_{WL} وسیله رسانای گرما کوچکتر از فاصله لوله ها، W ، باشد، مقدار تعیین شده برای α_{WL} مطابق با جدول الف-۸ باید برابر باشد با:

(الف-۱۵)

$$\alpha_{WL} = a_{WL, L_{WL}=W} - (a_{WL, L_{WL}=W} - a_{WL, L_{WL}=0}) \cdot [1 - 3.2(L_{WL}/W) + 3.4(L_{WL}/W)^2 - 1.2(L_{WL}/W)^3]$$

ضرایب وسیله رسانای گرما $a_{WL, L_{WL}=W}$ و $a_{WL, L_{WL}=0}$ باید از جدول الف-۸ برداشته شود.

طبق معادله (الف-۱۴)، به ازای $L_{WL}=W$ ، جداول مقدار مشخصه K_{WL} به طور مستقیم قابل اعمال هستند. به ازای $L_{WL}=0$ ، در تعیین مقدار K_{WL} باید $s_{WL}=0$ در نظر گرفته شود.

ضریب تصحیح برای تماس، α_K ، به منظور وارد کردن مقاومت انتقال گرمای اضافی حاصل از تماس نقطه‌ای یا خطی بین لوله و وسیله رسانای گرما در محاسبه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ضریب به رواداری‌های ساخت لوله‌ها و وسایل رسانا در هنگام نصب بستگی دارد و بسته به وضعیت هر پروژه می‌تواند تغییر کند. به این ترتیب، در جدول الف-۹، مقادیر میانگین α_K ارائه شده است.

نمودارهای حدی طبق معادله (الف-۱۸) محاسبه می‌شوند (به بند الف-۲-۵ مراجعه کنید).

محدودیت روش:

موقعیت لوله‌ها

$$0.450 \text{ m} \leq W \leq 0.50 \text{ m}$$

$$0.1 \leq s_U/\lambda_E \leq 0.0792$$

الف-۲-۴ سیستم‌های با مقطع ساده

معادله زیر برای سطوحی اعمال می‌شود که به طور کامل با عناصر گرمایش یا سرمایش توکار پوشانده می‌شوند (به شکل الف-۳ مراجعه کنید):

$$q = B \cdot a_B \cdot \alpha_W^{mW} \cdot a_U \cdot \Delta\theta_H \quad (\text{الف-۱۶})$$

$$B = B_0 = 6.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \text{ که در آن}$$

مقادیر B برای رسانایی گرمایی $\lambda_R = \lambda_{R,0} = 0.35 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ لوله‌ها و ضخامت دیوار لوله برابر با $s_R = s_{R,0} = (d_a - d_i)/2 = 0.02 \text{ m}$ معتبر هستند.

α_B ضریب پوشش سطح:

$$a_B = \frac{1}{1 + B \cdot a_U \cdot a_T^{mT} \cdot R_{\lambda,B}} \quad (\text{الف-۱۷})$$

$$\alpha_W^{mW} = 1.06$$

a_U ضریب پوشش طبق معادله (الف-۱۲-الف) است.

الف-۲-۵ حدود شار گرمایی

روش تعیین حدود شار گرمایی در اصل در شکل الف-۴ ارائه شده است.

نمودار حدی (به شکل الف-۴ مراجعه کنید) ارتباط بین برون داد گرمای ویژه و تفاضل دما بین وسیله گرمایش و اتاق را برای حالاتی که بیشترین اختلاف مجاز بین دمای سطح و دمای داخل اتاق (به ترتیب ۹ K یا ۱۵ K؛ به جدول الف-۱۳ مراجعه کنید) به دست می آید، نشان می دهد.

نمودار حدی به صورت حاصل ضرب عبارت زیر محاسبه می شود:

نمودارهای حدی به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$q_G = \phi \cdot B_G \cdot \left[\frac{\Delta\theta_H}{\phi} \right]^{n_G} \quad (\text{الف-۱۸})$$

که در آن:

B_G ضریبی است طبق شرایط زیر:

برای سیستم های نوع A و نوع C: جدول الف-۴ یا جدول الف-۴-۲ بسته به نسبت s_u/λ_E

برای سیستم های نوع B: جدول الف-۱۰

برای سیستم های مقطع مسطح: $B_G = 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

n_G توانی است طبق شرایط زیر:

برای سیستم های نوع A و نوع C: جدول الف-۵ یا جدول الف-۵-۲ بسته به نسبت s_u/λ_E

برای سیستم های نوع B: جدول الف-۱۱

برای سیستم های مقطع مسطح: $n_G = \text{صفر}$

ϕ ضریبی برای تبدیل همه مقادیر دمای θ_i و $\theta_{F,\max}$

$$\Delta\theta_0 = 9\text{K} \text{ با } \phi = \left[\frac{\theta_{F,\max} - \theta_i}{\Delta\theta_0} \right]^{1,1} \quad (\text{الف-۱۹})$$

فصل مشترک نمودار مشخصه با نمودار حدی با معادله زیر محاسبه می شود:

$$\Delta\theta_{H,G} = \phi \left[\frac{B_G}{B \cdot \prod_i \alpha_i m_i} \right]^{\frac{1}{1-n_G}} \quad (\text{الف-۲۰})$$

نمودارهای حدی برای سیستم های نوع A و نوع C، به ازای $m > 0.375$ ، به شرح زیر محاسبه می شوند:

$$q_G = q_{G,0.375} \frac{0.375 m}{W} \cdot f_G \quad (\text{الف-۲۱})$$

$$\Delta\theta_{H,G} = \Delta\theta_{H,G,0.375} \cdot f_G \quad (\text{الف-۲۲})$$

که در آن:

$q_{G,0.375}$ شار گرمای حد، محاسبه شده به ازای فاصله $W = 0,375$ m

□ اختلاف دمای حدی بین وسیله گرمایش و اتاق، محاسبه شده به ازای فاصله لوله‌ها برابر $H_{G,0.375}$
 $W = 0,375$ m

و $f_G = 1,0$ به ازای $s_u/W \leq 0,173$

$$f_G = \frac{q_{G,max} - \left[q_{G,max} - q_{G,0.375} \cdot \frac{0,375m}{W} \right] \cdot e^{-20(s_u/W - 0,173)^2}}{q_{G,0.375} \cdot \frac{0,375m}{W}} \quad \text{(الف-۲۳) به ازای } s_u/W > 0,173$$

که در آن:

$q_{G,max}$ بیشترین شار گرمایی مجاز طبق جدول الف-۱۳ است که برای توزیع گرمای همدمای سطح با استفاده از نمودار مشخصه پایه محاسبه شده است (شکل الف-۱)، با $(\theta_{F,max} - \theta_i) = (\theta_{F,m} - \theta_i)$

برای سیستم‌های نوع B، وقتی فاصله لوله‌ها W و پهنای وسیله گرمایش، L_{WL} برابر باشند، معادلات (الف-۱۱) و (الف-۱۲) به طور مستقیم اعمال می‌شوند. اگر $L_{WL} < W$ باشد، مقدار شار گرمایی $q_{G, L_{WL}=W}$ محاسبه شده با معادله (الف-۱۱)، باید با استفاده از معادله زیر تصحیح شود:

$$q_G = \frac{\alpha_{WL}}{\alpha_{WL, L_{WL}=W}} \cdot q_{G, L_{WL}=W} = W \quad \text{(الف-۲۴)}$$

که در آن:

$\alpha_{WL, L_{WL}=W}$ ضریب رسانایی گرمایی مطابق با جدول الف-۸؛

α_{WL} ضریب رسانایی گرمایی محاسبه شده طبق معادله (الف-۱۵).

اختلاف دمای حدی بین وسیله گرمایش و اتاق، $\Delta\theta_{H,G}$ به صورت $L_{WT}=W$ بدون تغییر باقی می‌ماند.

وقتی $\Delta\theta_H = \theta_{F,max} - \theta_i = 9K$ و $\varphi = 1$ و $R_{\lambda,B} = 0$ ، شار گرمایی حدی، q_G به عنوان شار گرمایی، q_N تعیین می‌شود و دمای تفاضلی وسیله گرمایش $\Delta\theta_H$ به عنوان دمای تفاضلی وسیله گرمایش اسمی، $\Delta\theta_N$ نشان داده می‌شود.

بیشترین مقدار ممکن شار گرمایی، $q_{G,max}$ برای توزیع دمایی همدمای سطح بر روی نمودار مشخصه‌ی پایه قرار می‌گیرد (به بند ۶ و شکل ۱ مراجعه کنید، که $\theta_{F,m} = \theta_{F,max} = \theta_{S,max}$).

اگر مطابق معادله (الف-۱۸)، به دلیل نادرستی محاسبات، مقادیر q_G بزرگتر از $q_{G,max}$ تعیین شوند، باید از روش درون‌یابی و خطی‌سازی، $q_G = q_{G,max}$ استفاده شود.

الف-۲-۶ تاثیر جنس لوله، ضخامت دیوار لوله و مصالح پوشش لوله بر شار گرمایی

مقادیر ضریب B_0 ارائه شده بالا برای معادلات (الف-۳) و (الف-۱۱) به ازای رسانایی گرمای لوله برابر با $\lambda_{R,0} = 0,35$ W/(m.K) و ضخامت دیوار برابر با $s_{R,0} = 0,02$ m و ضریب تبادل گرمای داخل لوله مطابق با

جریان آشفته برابر با $\alpha_{\text{turb}} = 2200 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ معتبر است. برای مواد دیگر (به جدول ث-۱ مراجعه کنید) با مقادیر متفاوتی از رسانایی گرمایی جنس لوله λ_R یا ضخامت دیوار s_R ضریب B باید به شکل زیر تعیین شود:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot W \cdot \left[\frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_R} - \frac{1}{2\lambda_{R,0}} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_{R,0}} \right] \quad (\text{الف-۲۵})$$

اگر لوله دارای پوشش اضافی با قطر بیرونی d_M و قطر درونی d_a و رسانایی گرمایی پوشش λ_M باشد، معادله زیر اعمال می‌شود:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot W \cdot \left[\frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_M}{d_a} + \frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_R} - \frac{1}{2\lambda_{R,0}} \ln \frac{d_M}{d_M - 2s_{R,0}} \right] \quad (\text{الف-۲۶})$$

اگر لایه‌هایی با چسبندگی قوی موجود باشد، نیازی به در نظر گرفتن تبدیل به ضخامت $0,3 \text{ mm} \leq$ نیست. در این حالت، معادله (الف-۲۵) باید مورد استفاده قرار گیرد. اگر پوشش دارای جدالایی هوا باشد، معادله (الف-۲۶) فقط وقتی اعمال می‌شود که مقدار میانگین معتبر λ_M شامل فاصله‌ی هوایی، در دسترس باشد.

در گستره جریان‌های آشفته در داخل لوله شامل ناحیه گذرا، نیازی به در نظر گرفتن تغییرات محدود ضریب تبادل گرما نیست اما در موارد نادر که فرض جریان لایه‌ای در لوله معتبر است باید تصحیح انجام شود. در چنین حالتی که ضریب تبادل گرما برابر، α_{lam} است باید از نسخه بسط داده شده معادله بالا استفاده شود:

(الف-۲۵-الف)

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot W \cdot \left[\frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_R} - \frac{1}{2\lambda_{R,0}} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_{R,0}} + \frac{1}{\alpha_{\text{lam}}(d_a - 2s_R)} - \frac{1}{\alpha_{\text{turb}}(d_a - 2s_{R,0})} \right]$$

(الف-۲۶-الف)

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot W \cdot \left[\frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_M}{d_a} + \frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_R} - \frac{1}{2\lambda_{R,0}} \ln \frac{d_M}{d_M - 2s_{R,0}} + \frac{1}{\alpha_{\text{lam}}(d_a - 2s_R)} - \frac{1}{\alpha_{\text{turb}}(d_M - 2s_{R,0})} \right]$$

در این معادلات، $\alpha_{\text{turb}} = 2200 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ و $\alpha_{\text{lam}} = 200 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. هر دو مقدار، میانگین هستند. برای مشخص کردن این که جریان آشفته است یا لایه‌ای، می‌توان از معادلات رینولدز استفاده کرد $\text{Re} = w \cdot d / \nu$ که در آن d قطر درونی لوله، w سرعت میانگین جریان و ν سرعت سینتیکی آب با مقدار میانگین $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ است. اگر $\text{Re} < 2320$ اعمال شود، جریان لایه‌ای شناسایی می‌شود.

الف-۲-۷ رسانایی گرمایی اندود با شاخک‌های ثابت کننده

در سیستم نوع A، رسانایی گرمایی در اندود، بسته به مشخصات شاخک‌های نصب مانند پیچ‌میله‌های کمکی^۱ که در اندود کار گذاشته می‌شوند یا قطعات مشابه تغییر می‌کند. اگر درصد حجمی آن‌ها در اندود برابر ۵٪ $\psi \geq 15\%$ باشد، رسانایی گرمایی موثر قطعه، λ_E باید برای محاسبات مورد استفاده قرار گیرد:

$$\lambda_E = (1 - \psi) \cdot \lambda_E + \psi \cdot \lambda_W \quad (\text{الف-۲۷})$$

که در آن:

λ_E رسانایی گرمایی اندود؛

λ_W رسانایی گرمایی پیچ‌میله؛

ψ نسبت حجمی پیچ‌میله‌های کمکی در اندود.

الف-۲-۸ اتلاف گرمایی پایین سو

اتلاف گرمای ویژه پایین سو در سیستم‌های گرمایش از کف به طرف اتاق‌ها طبقات زیرین سیستم، طبق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$q_U = \frac{1}{R_u} \cdot (R_0 \cdot q + \theta_i - \theta_u) \quad (\text{الف-۲۸})$$

که در آن:

q_U اتلاف گرمایی ویژه پایین سو؛

q شار گرمایی سیستم گرمایش از کف؛

R_u مقاومت انتقال گرمای جزئی پایین سوی ساختار کف؛

R_0 مقاومت انتقال گرمای جزئی بالاسوی ساختار کف؛

θ_i دمای استاندارد داخلی اتاق در اتاق گرم شده از کف؛

θ_u دمای داخلی اتاق در اتاق گرم شده از کف.

$$R_0 = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda B} + \frac{s_u}{\lambda_u} \quad (\text{الف-۲۹})$$

که در آن:

$$\frac{1}{\alpha} = 0,0926 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_u = R_{\lambda,ins} + R_{\lambda,ceiling} + R_{\lambda,plaster} + R_{\alpha,ceiling} \quad (\text{الف-۳۰})$$

$$R_{\alpha,ceiling} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad \text{که}$$

در حالت خاص $\theta_i = \theta_U$ ، معادله ساده (الف-۳۱) به کار می‌رود.

$$q_U = q \cdot \frac{R_O}{R_u} \quad (\text{الف-۳۱})$$

الف-۳ سطوح گرمایش و سرمایش توکار در کف‌ها، سقف‌ها و دیوارها

روش محاسبه بر پایه نتایج حاصل از بندهای الف-۲-۲، الف-۲-۳ و الف-۲-۴ این استاندارد مبتنی هستند. این روش‌ها امکان تبدیل این نتایج به نتایج سطوح دیگر اتاق (گرمایش از سقف و دیوار) را فراهم می‌کنند. این روش‌ها را برای تمامی سطوح سرمایش (سرمایش از کف، سقف، دیوار) نیز می‌توان به کار برد. تغییرات مقاومت گرمایی سطح $\Delta R_\alpha = \Delta(\frac{1}{\alpha})$ ، به روشی مشابه تغییرات مقاومت گرمایی پوشش سطح $\Delta R_{\lambda,B}$ حوزه گرمایی سیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این رابطه بر این فرض مبتنی است که تمامی شرایط مرزی دیگر بدون تغییر هستند و نقطه شبنم نامعلوم است.

$$K_H = K_H(\Delta R_\alpha, R_{\lambda,B}) = \frac{K_{H,\text{Floor}}}{1 + \frac{\Delta R_\alpha + R_{\lambda,B}}{R_{\lambda,B}^*} \left(\frac{K_{H,\text{Floor}}}{K_{H,\text{Floor}}^*} - 1 \right)} \quad (\text{الف-۳۲})$$

گرادیان نمودار مشخصه K_H (معادله (الف-۳۳)) ضریب انتقال گرمای معادل نیز نامیده می‌شود. نمودار مشخصه (به شکل‌های الف-۵ و الف-۶ مراجعه کنید) رابطه بین شار گرمایی q و تفاضل دمای $\Delta\theta_H$ بین وسیله گرمایش و اتاق (سیستم گرمایش) یا تفاضل بین اتاق و وسیله سرمایش (سیستم سرمایش) را نشان می‌دهد.

$$q = K_H \cdot \Delta\theta_H \quad (\text{الف-۳۳})$$

که در آن:

گرادیان نمودار مشخصه [معادله (الف-۳۳)] سیستم گرمایش /
 $K_H = K_H(\Delta R_\alpha, R_{\lambda,B})$
 سرمایش است که باید بر اساس مقاومت گرمایی پوشش $R_{\lambda,B} \geq 0$ و
 مقدار متناظر ΔR_α محاسبه شود (جدول الف-۱۲)؛

گرادیان نمودار مشخصه همان سیستم بر اساس مقاومت گرمایی
 $K_{H,\text{Floor}} = K_{H,\text{Floor}}(R_{\lambda,B} = 0)$
 پوشش $R_{\lambda,B} = 0$ حاصل از بندهای الف-۲-۲، الف-۲-۳ و الف-۲-۴
 است؛

گرادیان نمودار مشخصه همان سیستم بر اساس مقاومت گرمایی بالاتر
 $K_{H,\text{Floor}}^* = K_{H,\text{Floor}}^*(R_{\lambda,B}^*)$
 پوشش $R_{\lambda,B}^* > R_{\lambda,B}$ حاصل از بندهای الف-۲-۲، الف-۲-۳ و الف-
 ۲-۴ است. در این پیوست، معمولا $R_{\lambda,B}^* = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ اعمال می-

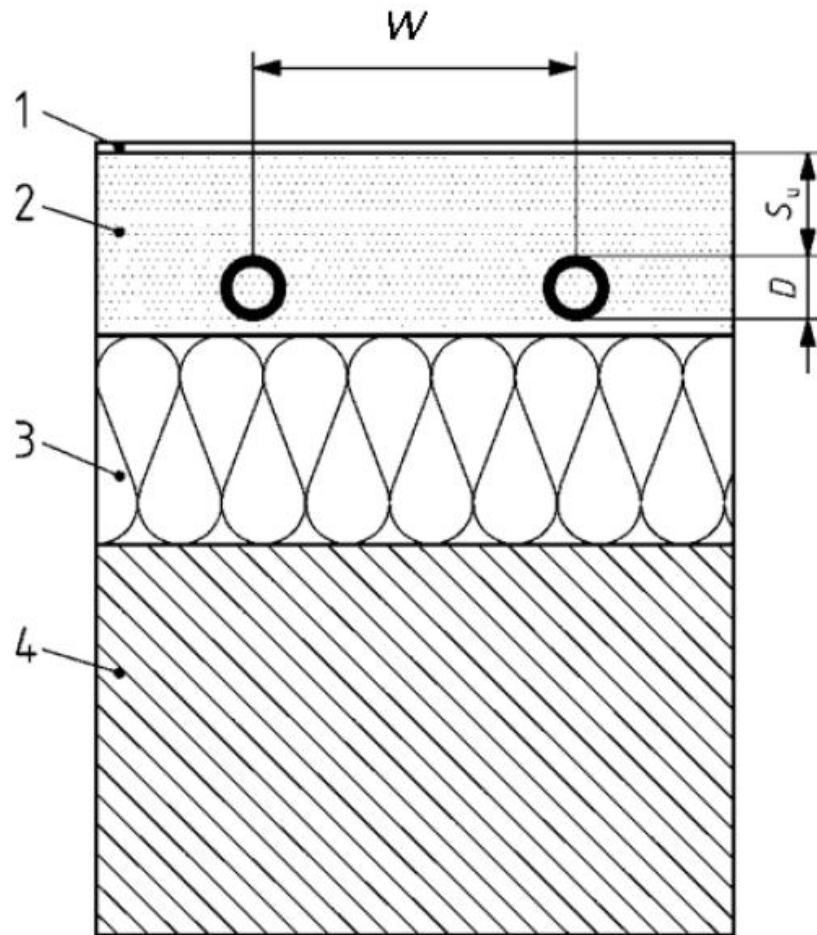
شود.

ΔR_{α} مقاومت انتقال گرمای اضافی محاسبه شده برای سطح مورد بررسی است (به معادله (الف-۳۴) و جدول الف-۱۲ مراجعه کنید).

$$\Delta R_{\alpha} = 1/\alpha - 1/10,8\text{m}^2\text{K/W} \quad (\text{الف-۳۴})$$

در حالت سیستم‌های گرمایش و سرمایش از دیوار، نتایج حاصل از روش محاسبه توصیف شده در بالا به طور کاملاً دقیق فقط برای سطوح گرمایش یا سرمایشی معتبر هستند که به طور کامل دیوار مربوط را بپوشاند. اما برای دیواری که به طور جزئی پوشانده شود، نیز درستی کافی دارد.

الف-۴ شکل‌ها و جداول



راهنما:

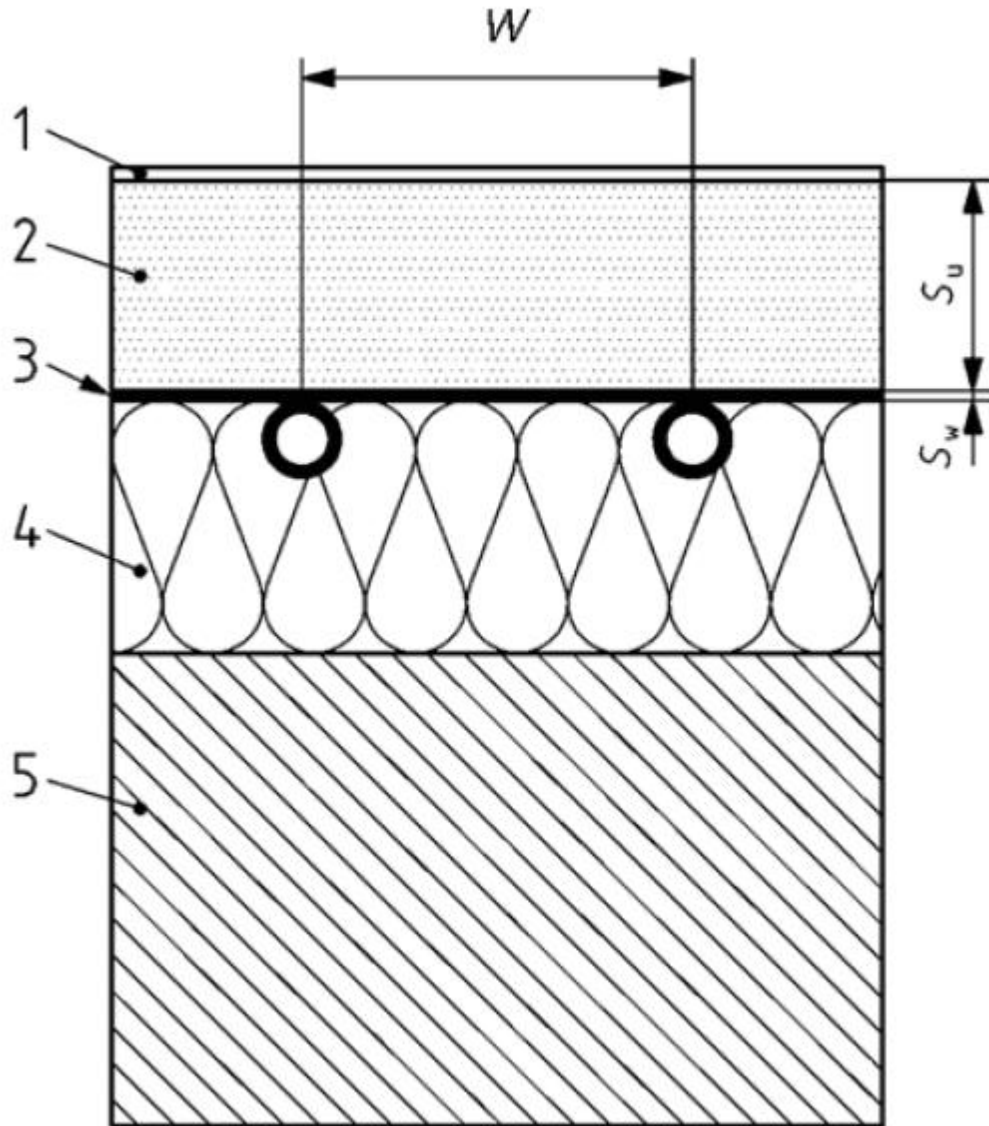
۱ پوشش کف $R_{\lambda,B}$

۲ لایه باربردار و گرم‌پخش λ_E (اندود سیمانی، اندود انیدریتی، اندود قیری). ضخامت بین لوله‌ها و لایه عایق در گستره ۰ mm تا ۱۰ mm است.

۳ عایق گرمایی

۴ سازه بستر

شکل الف-۱ - سیستم‌هایی با لوله‌های درون اندود (نوع A و نوع C)



راهنما:

۱ پوشش کف $R_{\lambda,B}$

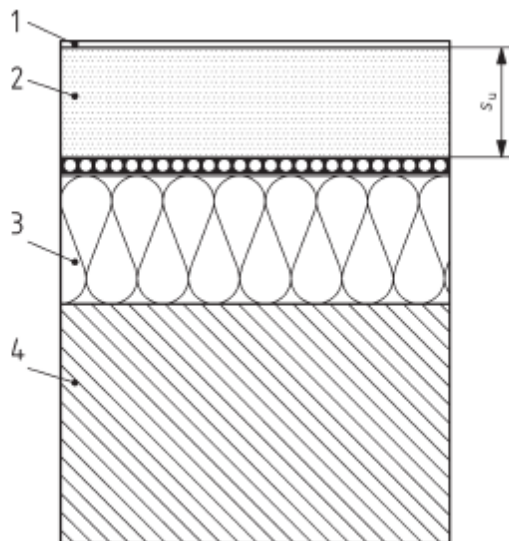
۲ لایه باربردار λ_E (اندود سیمانی، اندود انیدریتی، اندود قیری، الوار)

۳ وسیله گرماپخش

۴ عایق گرمایی

۵ سازه بستر

شکل الف ۲- سیستم با لوله‌های واقع در زیراندود (نوع B)



راهنما:

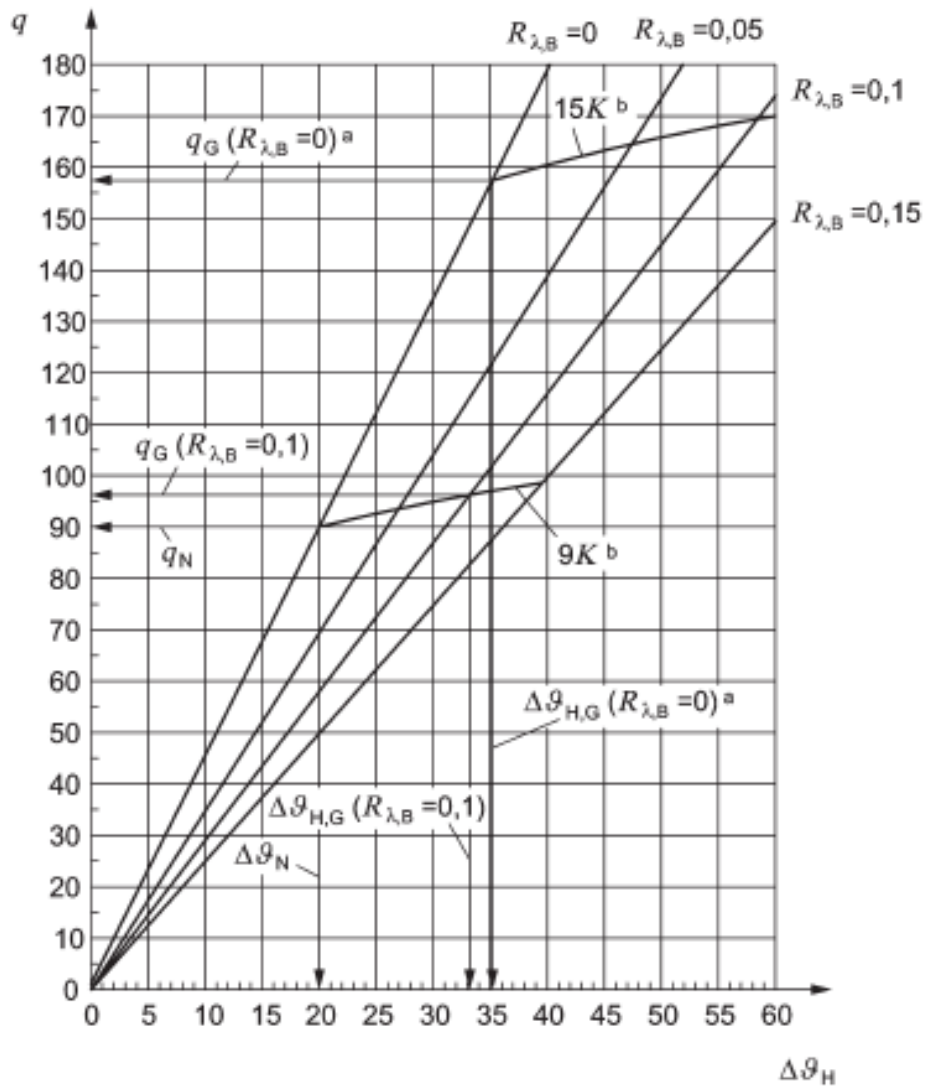
۱ پوشش کف $R_{\lambda,B}$

۲ لایه‌ی باربردار و گرماپخش λ_E (اندود سیمانی، اندود انیدریتی، اندود قیری، الوار)

۳ عایق گرمایی

۴ سازه بستر

شکل الف ۳- سیستم‌هایی با المان‌های سطحی (سیستم‌های با مقطع ساده، نوع D)



راهنما:

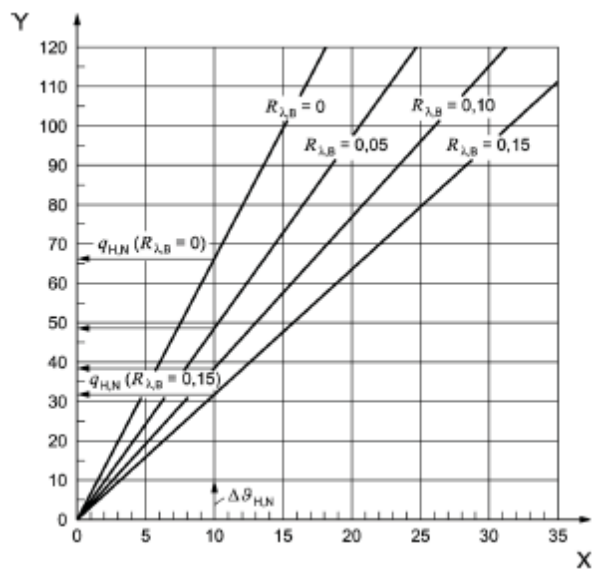
q شار گرمایی بر حسب W/m^2

$\Delta\theta_H$ تفاضل دما بین وسیله گرمایش و اتاق بر حسب K

^a سطح پیرامونی

^b نمودارهای حدی

شکل الف ۴ - روش کلی برای تعیین حدود شار گرمایی

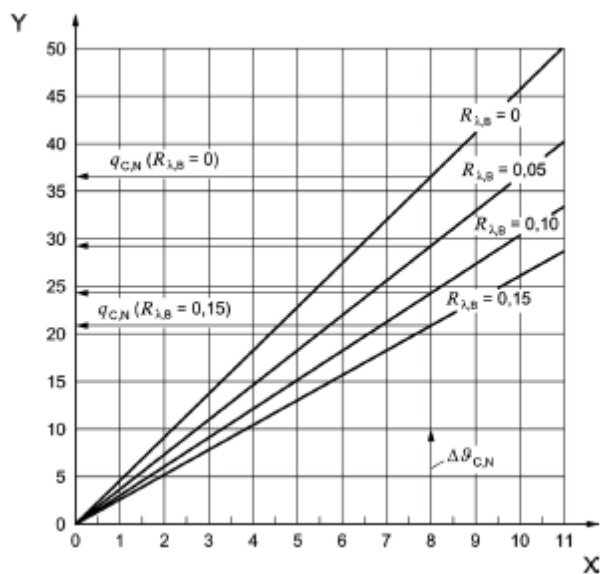


راهنما:

Y شار گرمایی q_H بر حسب W/m^2

X تفاضل دما بین وسیله گرمایش و اتاق $\Delta\theta_H$ بر حسب K

شکل الف ۵- حوزه نمودارهای مشخصه سیستم گرمایش



راهنما:

Y شار گرمایی q_H بر حسب W/m^2

X تفاضل دما بین وسیله گرمایش و اتاق $\Delta\theta_H$ بر حسب K

شکل الف ۶- حوزه نمودارهای مشخصه یک سیستم گرمایش

در همه جداول، مقادیر حدواسط باید به کمک تابع چندجمله‌ای طبیعی از درجه‌ی سوم درونیابی شود.

جدول الف ۱ - ضریب فاصله لوله‌ها α_w برای سیستم‌های نوع A و نوع C

$R_{\lambda,B}$ (m^2K/W)	۰	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۵
α_w	۱/۲۳	۱/۱۸۸	۱/۱۵۶	۱/۱۳۴

جدول الف ۲ - ضریب پوشش α_U بسته به فاصله لوله‌ها W و مقاومت گرمایی $R_{\lambda,B}$ سطح پوشش دهنده سیستم‌های نوع A

و نوع C

$R_{\lambda,B}$ (m^2K/W)	۰	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۵
W (m)	ضریب پوشش α_U			
۰/۰۵	۱/۰۶۹	۱/۰۶۵	۱/۰۴۳	۱/۰۳۷
۰/۰۷۵	۱/۰۶۶	۱/۰۵۳	۱/۰۴۱	۱/۰۳۵
۰/۱	۱/۰۶۳	۱/۰۵	۱/۰۳۹	۱/۰۳۳۵
۰/۱۵	۱/۰۵۷	۱/۰۴۶	۱/۰۳۵	۱/۰۳۰۵
۰/۲	۱/۰۵۱	۱/۰۴۱	۱/۰۳۱۵	۱/۰۲۷۵
۰/۲۲۵	۱/۰۴۸	۱/۰۳۸	۱/۰۲۹۵	۱/۰۲۶
۰/۳	۱/۰۳۹۵	۱/۰۳۱	۱/۰۲۴	۱/۰۲۱
۰/۳۷۵	۱/۰۳	۱/۰۲۲۱	۱/۰۱۸	۱/۰۱۵

جدول الف ۳ - ضریب قطر بیرونی لوله α_D بسته به مقاومت گرمایی $R_{\lambda,B}$ پوشش کف و فاصله لوله‌ها W برای سیستم‌های

نوع A و نوع C

$R_{\lambda,B}$ (m^2K/W)	۰	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۵
W (m)	ضریب قطر بیرونی لوله α_D			
۰/۰۵	۱/۰۱۳	۱/۰۱۳	۱/۰۱۲	۱/۰۱۱
۰/۰۷۵	۱/۰۲۱	۱/۰۱۹	۱/۰۱۶	۱/۰۱۴
۰/۱	۱/۰۲۹	۱/۰۲۵	۱/۰۲۲	۱/۰۱۸
۰/۱۵	۱/۰۴	۱/۰۳۴	۱/۰۲۹	۱/۰۲۴
۰/۲	۱/۰۴۶	۱/۰۴	۱/۰۳۵	۱/۰۳
۰/۲۲۵	۱/۰۴۹	۱/۰۴۳	۱/۰۳۸	۱/۰۳۳
۰/۳	۱/۰۵۳	۱/۰۴۹	۱/۰۴۴	۱/۰۳۹
۰/۳۷۵	۱/۰۵۶	۱/۰۵۱	۱/۰۴۶	۱/۰۴۲

جدول الف ۴ - ضریب BG بسته به ضخامت s_u و فاصله‌گذاری لوله W برای سیستم‌های نوع A و نوع C

این جدول بسته به نسبت s_u/λ_E به دو جدول تقسیم می‌شود

جدول الف ۴-۱ ضریب B_G برای حالتی که $s_u/\lambda_E \leq 0.0792$

0.0792	0.0708	0.0625	0.0542	0.0458	0.0375	0.0292	0.0208	0.01	s_u/λ_E ($m^2, K/W$)
$B_G(W/m^2K)$									W (m)
100	100	100	100	100	100	96.8	91.5	85.0	0.05
100	100	100	100	99.5	96.3	89.9	83.5	75.3	0.075
100	100	100	98.8	95.5	89.3	82.9	75.4	66.0	0.1
97.8	95.1	91.8	87.5	82.7	76.3	69.2	61.1	51.0	0.15
90.0	86.4	81.3	74.5	69.1	63.1	56.2	48.2	38.5	0.2
86.1	81.6	75.3	67.5	62	56.5	49.5	42.5	33.0	0.225
72.4	65.3	57.5	47.5	41.5	36.4	31.6	26.8	20.5	0.3
58.3	49.1	40.0	27.5	21.5	18.2	15.5	13.7	11.5	0.375

جدول الف ۴-۲ ضریب B_G برای حالتی که $s_u/\lambda_E > 0.0792$

$B_G(W/m^2K)$	s_u/W
27.5	0.173
40.0	0.20
57.5	0.25
69.5	0.30
78.2	0.35
84.4	0.40
88.3	0.45
91.6	0.50
94.0	0.55
96.3	0.60
98.6	0.65
99.8	0.70
100	>0.70

جدول الف-۵- توان n_G بسته به ضخامت s_u و فاصله لوله‌ها W برای سیستم‌های نوع A و نوع C

این جدول بسته به نسبت s_u/λ_E به دو جدول تقسیم می‌شود

جدول الف-۵-۱- ضریب n_G برای حالتی که $s_u/\lambda_E \leq 0.0792$

0.0792	0.0708	0.0625	0.0542	0.0458	0.0375	0.0292	0.0208	0.01	+
n_G									W (m)
.	0.002	0.005	0.008	0.05
.	.	.	.	0.002	0.011	0.018	0.021	0.024	0.075
.	.	.	0.005	0.014	0.033	0.041	0.043	0.046	0.1
0.006	0.014	0.024	0.038	0.055	0.076	0.082	0.085	0.088	0.15
0.028	0.040	0.057	0.083	0.105	0.123	0.129	0.13	0.131	0.2
0.041	0.056	0.077	0.11	0.13	0.146	0.153	0.154	0.155	0.225
0.062	0.083	0.110	0.15	0.173	0.19	0.196	0.196	0.197	0.2625
0.086	0.114	0.145	0.195	0.228	0.245	0.253	0.253	0.254	0.3
0.115	0.148	0.187	0.260	0.293	0.31	0.321	0.321	0.322	0.3375
0.142	0.183	0.230	0.325	0.385	0.405	0.421	0.421	0.422	0.375

جدول الف-۵-۲- توان n_G برای حالتی که $s_u/\lambda_E > 0.0792$

n_G	s_u/W
0.320	0.173
0.230	0.20
0.145	0.25
0.097	0.30
0.067	0.35
0.048	0.40
0.033	0.45
0.023	0.50
0.015	0.55
0.009	0.60
0.005	0.65
0.002	0.70
.	>0.70

جدول الف ۶ - ضریب فاصله لوله‌ها α_{W} برای سیستم‌های نوع B

۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	s_u/λ_E (m^2K/W)
۱/۰۵۹	۱/۰۶۴	۱/۰۷۵	۱/۰۸۲	۱/۰۸۸	۱/۰۹۱	۱/۰۹۳	۱/۰۹۷	۱/۱	۱/۱۰۳	a_w

جدول الف ۷ - ضریب b_u بسته به فاصله لوله‌ها W برای سیستم‌های نوع B

۰/۴۵	۰/۳۷۵	۰/۳	۰/۲۲۵	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۷۵	۰/۰۵	W (m)
۰	۰/۱	۰/۲۵	۰/۴۳	۰/۵	۰/۷	۱	۱	۱	b_u

جدول الف ۸ - ضریب وسیله رسانای گرما α_{WL} بسته به فاصله لوله‌ها W ، قطر بیرونی لوله D و مقدار مشخصه K_{WL} برای سیستم‌های نوع B (این جدول برای مقادیر مختلف K_{WL} به شش قسمت تقسیم می‌شود)

جدول الف ۸-۱ - ضریب وسیله رسانای گرما α_{WL} برای مقدار مشخصه $K_{WL}=0$

۰/۰۱۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۲۰	۰/۰۲۲	D (m)
α_{WL}					W (m)
۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۹	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۰۵
۰/۵۹	۰/۶۴۴	۰/۷	۰/۷۵۴	۰/۸	۰/۰۷۵
۰/۴۸۸	۰/۵۳۳	۰/۵۷۶	۰/۶۱۷	۰/۶۵۸	۰/۱
۰/۳۸۷	۰/۴۱۵	۰/۴۴۴	۰/۴۷	۰/۵۰۵	۰/۱۵
۰/۳۳۷	۰/۳۵۷	۰/۳۷۹	۰/۴	۰/۴۲۲	۰/۲
۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۵۷	۰/۳۷۶	۰/۳۹۶	۰/۲۲۵
۰/۲۸۸	۰/۳	۰/۳۱۵	۰/۳۳	۰/۳۴۴	۰/۳
۰/۲۶۶	۰/۲۷۸	۰/۲۹	۰/۳	۰/۳۱۲	۰/۳۷۵
۰/۲۵	۰/۲۶۴	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۳	۰/۴۵

جدول الف ۸-۲ ضریب وسیله رسانای گرما α_{WL} برای مقدار مشخصه $K_{WL}=0.1$

D (m)	۰.۰۲۲	۰.۰۲۰	۰.۰۱۸	۰.۰۱۶	۰.۰۱۴
W (m)	α_{WL}				
۰.۰۵	۰.۹۷۵	۰.۹۵۵	۰.۹۳۰	۰.۹۰۵	۰.۸۸
۰.۰۷۵	۰.۸۵۹	۰.۸۳۶	۰.۸۱۲	۰.۷۷۶	۰.۷۴
۰.۱	۰.۷۷	۰.۷۶	۰.۷۲۶	۰.۶۹۳	۰.۶۶
۰.۱۵	۰.۶۴۲	۰.۶۲۱	۰.۶	۰.۵۸	۰.۵۶۱
۰.۲	۰.۵۷	۰.۵۵	۰.۵۳	۰.۵۱	۰.۴۹
۰.۲۲۵	۰.۵۴	۰.۵۲۲	۰.۵۰۴	۰.۴۸۵	۰.۴۶۷
۰.۳	۰.۴۷۲	۰.۴۶۲	۰.۴۵۳	۰.۴۴۴	۰.۴۳۵
۰.۳۷۵	۰.۴۶	۰.۴۴۶	۰.۴۳۴	۰.۴۲۱	۰.۴۱۱
۰.۴۵	۰.۴۵	۰.۴۴	۰.۴۳	۰.۴۲	۰.۴۱

جدول الف ۸-۳ ضریب وسیله رسانای گرما α_{WL} برای مقدار مشخصه $K_{WL}=0.2$

D (m)	۰.۰۲۲	۰.۰۲۰	۰.۰۱۸	۰.۰۱۶	۰.۰۱۴
W (m)	α_{WL}				
۰.۰۵	۰.۹۸۵	۰.۹۷	۰.۹۵۵	۰.۹۳۷	۰.۹۲
۰.۰۷۵	۰.۹۰۲	۰.۸۹۳	۰.۸۸۵	۰.۸۶۵	۰.۸۴۵
۰.۱	۰.۸۵۵	۰.۸۴۳	۰.۸۳۲	۰.۸۲۱	۰.۸۱
۰.۱۵	۰.۷۷۵	۰.۷۶۵	۰.۷۵۵	۰.۷۴۵	۰.۷۳۵
۰.۲	۰.۷۱	۰.۷۰۳	۰.۶۹۵	۰.۶۸۸	۰.۶۸
۰.۲۲۵	۰.۶۸۵	۰.۶۷۵	۰.۶۷	۰.۶۶۳	۰.۶۵۵
۰.۳	۰.۶۱۵	۰.۶۰۸	۰.۶	۰.۵۹۲	۰.۵۸۵
۰.۳۷۵	۰.۵۸	۰.۵۷۳	۰.۵۶۵	۰.۵۵۸	۰.۵۵
۰.۴۵	۰.۵۷	۰.۵۶۵	۰.۵۶	۰.۵۵۵	۰.۵۵

جدول الف ۸-۴- ضریب وسیله رسانای گرما α_{WL} برای مقدار مشخصه $K_{WL}=0.3$

0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	D (m)
α_{WL}					W (m)
0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.5
0.92	0.925	0.93	0.935	0.94	0.75
0.9	0.905	0.91	0.915	0.92	1
0.855	0.855	0.855	0.855	0.855	1.5
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	2
0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	2.25
0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	3
0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	3.75
0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	4.5

جدول الف ۸-۵- ضریب وسیله رسانای گرما α_{WL} برای مقدار مشخصه $K_{WL}=0.4$

0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	D (m)
α_{WL}					W (m)
0.97	0.978	0.985	0.99	0.995	0.5
0.965	0.964	0.963	0.962	0.96	0.75
0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	1
0.895	0.895	0.895	0.895	0.895	1.5
0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	2
0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	2.25
0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	3
0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	3.75
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	4.5

جدول الف ۸-۶- ضریب وسیله رسانای گرما α_{WL} برای مقدار مشخصه $K_{WL} \geq 0.5$ (α_{WL} دیگر به D بستگی ندارد)

∞	۱٫۰	۰٫۹	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۶	۰٫۵	K_{WL}
α_{WL}							W (m)
۱	۱	۱	۱	۱	۰٫۹۹۸	۰٫۹۹۵	۰٫۰۵
۱٫۰۱	۱	۰٫۹۹۸	۰٫۹۹۵	۰٫۹۹	۰٫۹۸۴	۰٫۹۷۹	۰٫۰۷۵
۱٫۰۲	۱	۰٫۹۹۵	۰٫۹۸۸	۰٫۹۸	۰٫۹۷۲	۰٫۹۶۳	۰٫۱
۱٫۰۴	۱	۰٫۹۹	۰٫۹۷۴	۰٫۹۶	۰٫۹۴۵	۰٫۹۲۴	۰٫۱۵
۱٫۰۶	۱	۰٫۹۸	۰٫۹۶۱	۰٫۹۴۳	۰٫۹۲۱	۰٫۸۹۴	۰٫۲
۱٫۰۷	۱	۰٫۹۷۵	۰٫۹۵۵	۰٫۹۳۴	۰٫۹۰۸	۰٫۸۸	۰٫۲۲۵
۱٫۰۹	۱	۰٫۹۷	۰٫۹۴	۰٫۹۱	۰٫۸۷	۰٫۸۳	۰٫۳
۱٫۱	۱	۰٫۹۷	۰٫۹۳	۰٫۹۰	۰٫۸۶	۰٫۸۱۵	۰٫۳۷۵
۱٫۱	۱	۰٫۹۷	۰٫۹۳	۰٫۹۰	۰٫۸۶	۰٫۸۱	۰٫۴۵

$K_{WL} > 1$

$$a_{WL} = [a_{WL}]_{K_{WL}=\infty} - ([a_{WL}]_{K_{WL}=\infty} - [a_{WL}]_{K_{WL}=0}) \left[\frac{[a_{WL}]_{K_{WL}=\infty} - 1}{[a_{WL}]_{K_{WL}=\infty} - [a_{WL}]_{K_{WL}=0}} \right]^{K_{WL}}$$

جدول الف ۹- ضریب تصحیح برای تماس α_K برای سیستم‌های نوع B

۰٫۴۵	۰٫۳۷۵	۰٫۳	۰٫۲۲۵	۰٫۲	۰٫۱۵	۰٫۱	۰٫۰۷۵	۰٫۰۵	W (m)
۰٫۶۰	۰٫۷۲	۰٫۸۲	۰٫۹	۰٫۹۲	۰٫۹۵	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۱	α_K

جدول الف ۱۰ - ضریب B_G بسته به K_{WL} و فاصله لوله‌ها W برای سیستم‌های نوع B

W (m)	۰٫۰۵	۰٫۰۷۵	۰٫۱	۰٫۱۵	۰٫۲	۰٫۲۲۵	۰٫۳	۰٫۳۷۵	۰٫۴۵
K_{WL}	$B_G(W/m^2K)$								
۰٫۱	۹۲	۸۶٫۷	۷۹٫۴	۶۴٫۸	۵۰٫۸	۴۵٫۸	۲۷٫۵	۹٫۹	۰
۰٫۲	۹۳٫۱	۸۸	۸۱٫۳	۶۷٫۵	۵۴٫۲	۴۹	۳۱٫۸	۱۵٫۸	۲٫۴
۰٫۳	۹۴٫۲	۸۹٫۵	۸۳٫۳	۷۰٫۲	۵۷٫۶	۵۲٫۵	۳۶	۲۱٫۳	۷٫۰
۰٫۴	۹۵٫۴	۹۰٫۷	۸۵٫۲	۷۲٫۹	۶۰٫۸	۵۶	۴۰٫۲	۲۵٫۷	۱۱٫۹
۰٫۵	۹۶٫۶	۹۲٫۱	۸۷٫۲	۷۵٫۶	۶۴٫۱	۵۹٫۳	۴۴٫۴	۳۰	۱۶٫۶
۰٫۶	۹۷٫۸	۹۳٫۷	۸۹٫۲	۷۸٫۳	۶۷٫۳	۶۲٫۶	۴۸٫۶	۳۴٫۱	۲۱٫۱
۰٫۷	۹۸٫۷	۹۵	۹۱	۸۱	۷۰٫۶	۶۶٫۳	۵۲٫۸	۳۸٫۵	۲۵٫۵
۰٫۸	۹۹٫۳	۹۶٫۳	۹۳	۸۳٫۷	۷۴	۶۹٫۷	۵۷	۴۲٫۸	۲۹٫۶
۰٫۹	۹۹٫۸	۹۷٫۷	۹۵	۸۶٫۳	۷۷٫۲	۷۳	۶۱٫۲	۴۷	۳۳٫۶
۱٫۰	۱۰۰	۹۸٫۵	۹۶٫۵	۸۹	۸۰٫۷	۷۶٫۶	۶۵٫۴	۵۱٫۴	۳۷٫۳
۱٫۱	۱۰۰	۹۹٫۳	۹۷٫۸	۹۱٫۵	۸۴	۸۰	۶۹٫۴	۵۵٫۶	۴۰٫۹
۱٫۲	۱۰۰	۹۹٫۶	۹۸٫۵	۹۳٫۸	۸۷٫۲	۸۳٫۳	۷۳٫۲	۵۹٫۸	۴۴٫۳
۱٫۳	۱۰۰	۹۹٫۸	۹۹٫۳	۹۵٫۸	۹۰	۸۶٫۳	۷۶٫۶	۶۳٫۸	۴۷٫۵
۱٫۴	۱۰۰	۱۰۰	۹۹٫۸	۹۷٫۵	۹۲٫۵	۸۹	۸۰	۶۷٫۳	۵۰٫۵
۱٫۵	۱۰۰	۱۰۰	۹۸٫۶	۹۴٫۸	۹۱٫۷	۸۳	۷۱	۵۳٫۴	۵۳٫۴

جدول الف ۱۱- توان n_G بسته به K_{WL} و فاصله لوله‌ها W برای سیستم‌های نوع B

W (m)	۰/۰۵	۰/۰۷۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۲۵	۰/۳	۰/۳۷۵	۰/۴۵
K_{WL}	n_G								
۰/۱	۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۷	۰/۰۳۲	۰/۰۶۷	۰/۱۲۲	۰/۱۵۱	۰/۲۳۵	۰/۳۳۳	۱
۰/۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۷	۰/۰۵۵	۰/۰۹۷	۰/۱۲۰	۰/۱۸۴	۰/۲۸۸	۰/۷۲۵
۰/۳	۰/۰۰۲۱	۰/۰۱۳	۰/۰۲۴	۰/۰۴۸	۰/۰۸۶	۰/۱۰۴	۰/۱۶۹	۰/۲۵۶	۰/۴۸۲
۰/۴	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۲	۰/۰۲۲	۰/۰۴۴	۰/۰۸	۰/۰۹۵	۰/۱۵۶	۰/۲۲۸	۰/۳۸
۰/۵	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۷۴	۰/۰۸۸	۰/۱۴۳	۰/۲۰۴	۰/۳۱
۰/۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۹۹	۰/۰۱۸	۰/۰۳۷	۰/۰۶۷	۰/۰۸۲	۰/۱۳۱	۰/۱۸۳	۰/۲۵
۰/۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۸۷	۰/۰۱۶	۰/۰۳۳	۰/۰۶۱	۰/۰۷۴	۰/۱۱۸	۰/۱۶۲	۰/۲۱
۰/۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۷۴	۰/۰۱۴	۰/۰۳	۰/۰۵۵	۰/۰۶۷	۰/۱۰۶	۰/۱۴۴	۰/۱۸۷
۰/۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۶۲	۰/۰۱۲	۰/۰۲۷	۰/۰۴۹	۰/۰۶	۰/۰۹۵	۰/۱۲۶	۰/۱۶۵
۱/۰	۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۴۴	۰/۰۵۳	۰/۰۸۳	۰/۱۱	۰/۱۴۳
۱/۱	۰	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۱	۰/۰۳۸	۰/۰۴۶	۰/۰۷۲	۰/۰۹۶	۰/۱۲۱
۱/۲	۰	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۸	۰/۰۳۲	۰/۰۳۸	۰/۰۶۳	۰/۰۸۴	۰/۱۰۷
۱/۳	۰	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۷	۰/۰۳۴	۰/۰۵۴	۰/۰۷۳	۰/۰۹۳
۱/۴	۰	۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۹	۰/۰۴۷	۰/۰۶۳	۰/۰۸۰
۱/۵	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷۰

جدول الف ۱۲- مقاومت انتقال گرمای اضافی

$\Delta R_\alpha = 1/\alpha - 1/10,8$ m^2K/W	α $W/(m^2.K)$	حالت کاربرد
۰/۰۰۰۰	۱۰/۸	گرمایش از کف
۰/۰۶۱۳	۶/۵	سرمايش از کف
۰/۰۳۲۴	۸	گرمایش از دیوار
۰/۰۳۲۴	۸	سرمايش از دیوار
۰/۰۶۱۳	۶/۵	گرمایش از سقف
۰/۰۰۰۰	۱۰/۸	سرمايش از سقف

یادآوری- تفاسیر مرتبط با شدت و ویژگی ضرایب تبادل گرمای جدول الف-۱۲

در روش محاسبه بند الف-۲، انتقال گرما بر سطح گرمایش طبق نمودار مشخصه پایه در نظر گرفته می‌شود (به بند ۶ و شکل ۱ مراجعه کنید). این نمودار بر اساس ضریب تبادل گرما به عنوان تابعی از تفاضل دما بین سطح و دمای استاندارد داخلی ترسیم شده است.

نمودارهای مشخصه تعیین شده بر طبق این پیوست، شار گرمایی را به صورت تابعی از اختلاف بین دمای وسیله گرمایش/ سرمایش و دمای داخلی نشان می‌دهند. یعنی قرار نیست کاربر این پیوست هیچ‌گونه محاسباتی را مستقیماً با استفاده از مقادیر ضرایب تبادل گرما انجام دهد. در نتیجه، در این پیوست مقادیر مرتبط با چنین کاربردی، جزئیات ویژه‌ای، یا معادله‌ای مرتبط با ضریب تبادل گرما بر سطوح گرمایش یا سرمایش داده نشده است.

به این ترتیب، مقادیر α در جدول الف-۱۲ برای محاسبه مستقیم شار گرمایی مد نظر نیست. در واقع، آنها منحصر برای تبدیل نمودارهای مشخصه مطابق با معادله (الف-۳۲) تهیه شده‌اند. چنین تبدیلی باید با در نظر گرفتن شرایط دمایی مقدار شار گرما یا نزدیک به این شرایط اعمال شود. این به این معناست که در این پیوست، مقدار α مرتبط با یک کاربرد باید مطابق با گستره دمایی خاص آن کاربرد مشخص شود.

مرجع [۴] به انتقال گرما بین سطوح گرمایش یا سرمایش و اتاق مربوط می‌شود. این نشریه توجه خاصی به حالتی دارد که دمای عملیاتی داخلی [۳] مقدار مرجع دمای اتاق است. دمای داخلی «برداشت شده» [۲] مشخصات همگنی دارد و به عنوان مرجع در این استاندارد به کار می‌رود (ابعادگذاری، دمای داخلی استاندارد). مقادیر α جدول الف-۱۲ با بهترین مطابقت با گستره‌های دمایی مربوط و شرایط ارائه شده در مرجع [۴] مشخص شده‌اند.

جدول الف-۱۳- مقادیر $q_{G,max}$ بسته به θ_i و $\theta_{F,max}$

	$q_{G,max}$	θ_i	$\theta_{F,max}$
	(W/m ²)	(°C)	(°C)
سطح اشغال شده	۱۰۰	۲۰	۲۹
حمام و مشابیه	۱۰۰	۲۴	۳۳
سطح پیرامونی	۱۷۵	۲۰	۳۵

پیوست ب

(الزامی)

روش مقاومت کلی

ب-۱ معادلات کلی

در این پیوست یک روش محاسبه پایه با استفاده از مقاومت گرمایی «خطی» تشریح شده است. در این روش، پارامترهای مهم برای انتقال گرما مشخص شده‌اند. علاوه بر این، تمایزی واضح بین انتقال گرما در داخل سازه و انتقال گرما مابین سطح و محیط در نظر گرفته شده است. با این وجود، ممکن است برخی مقاومت‌های معادل با روش المان محدود یا روش تفاصل محدود تعیین شوند.

شبکه مقاومت در شکل‌های ب-۱ و ب-۲ نشان داده شده است.

تاثیر نوع لوله (قطر، ضخامت دیوار، جنس)، فاصله لوله‌ها، دبی جریان آب و مقاومت لایه رسانا در مقاومت واقعی R_t جمع شده‌اند:

$$R_t = R_z + R_w + R_r + R_x \quad (\text{ب-۱})$$

که در آن:

R_t مقاومت بین دمای تغذیه θ_v و دمای میانگین لایه رسانا $\bar{\theta}_c$ ؛

R_z مقاومت ظاهری بین دمای تغذیه θ_v و دمای میانگین وسیله گرمایش؛

R_w مقاومت بین سیال و جدار لوله $(1/h_w)$ ؛

R_r مقاومت دیوار لوله؛

R_x مقاومت بین دمای جدار بیرونی لوله و دمای میانگین لایه رسانا.

برای شرایط حالت پایا، مقاومت R_t با معادله زیر تعیین می‌شود:

$$R_t = \frac{1}{\dot{m}_{H,sp.c} \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{(R_w + R_r + R_x + \frac{1}{U_1 + U_2}) \cdot \dot{m}_{H,sp.c}}\right)\right]} - \frac{1}{U_1 + U_2} \quad (\text{ب-۲})$$

که در آن:

$\dot{m}_{H,sp}$ دبی جرمی ویژه طراحی سیال گرمایش یا سرمایش (مربوط به سطح پوشانده شده با لوله) بر حسب kg/s

c ظرفیت گرمایی ویژه سیال گرمایش یا سرمایش؛

U_i ضریب انتقال گرما بین لایه رسانا و سمت محیط $i=1$ یا $i=2$ (شامل ضریب انتقال گرما t ارائه شده در بند ۶).

جریان‌های گرما به طرف فضاهای مجاور در حالت پایا با معادلات زیر تعیین می‌شود (به شکل ب-۱ مراجعه کنید):

$$\dot{q}_1 = \frac{1}{R_1 R_2 + R_1 R_t + R_2 R_t} [R_t (\theta_2 - \theta_1) + R_2 (\theta_v - \theta_1)] \quad (\text{ب-۳})$$

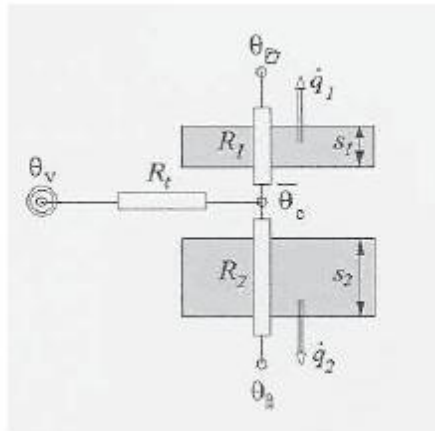
$$\dot{q}_2 = \frac{1}{R_1 R_2 + R_1 R_t + R_2 R_t} [R_t (\theta_1 - \theta_2) + R_1 (\theta_v - \theta_2)] \quad (\text{ب-۴})$$

که در آن:

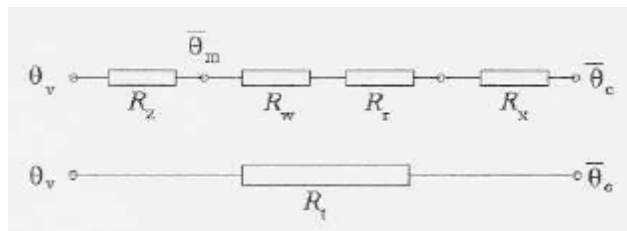
θ_v دمای تغذیه وسیله گرمایش یا سرمایش؛

$\bar{\theta}_c$ دمای میانگین لایه رسانا؛

$\bar{\theta}_m$ دمای میانگین ماده‌ی واسطه گرمایش یا سرمایش.



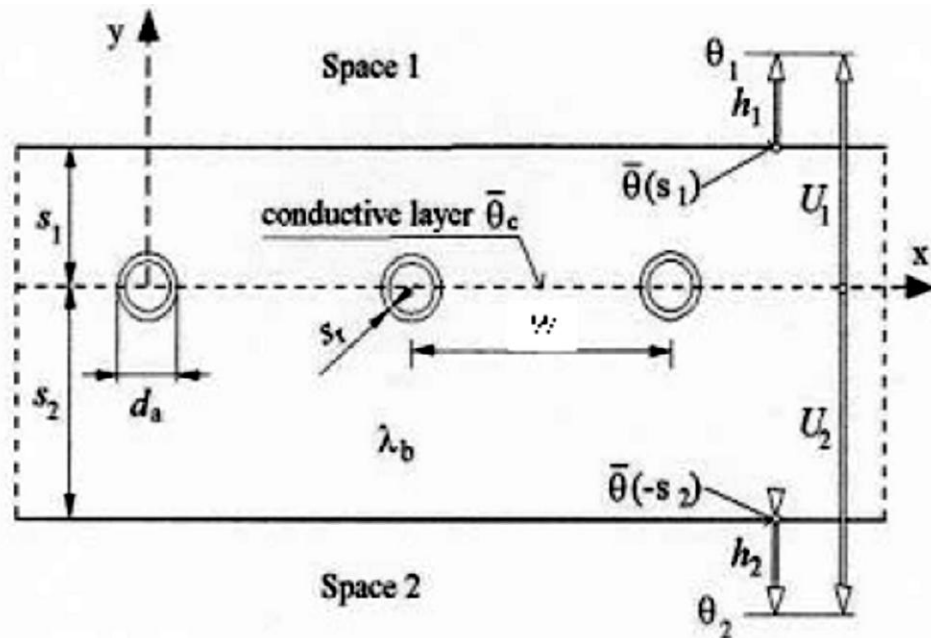
شکل ب-۱- شبکه مقاومت



شکل ب-۲- شبکه مقاومت کلی

ب-۲ محاسبه R_t برای لوله‌های توکار در بتن فشرده (شرایط حالت پایا)

ابعاد و پارامترهای مربوط برای این ساختار در شکل ب-۳ ارائه شده‌اند.



شکل ب-۳- لوله‌های توکار در دال بتنی حجیم

$$q = K_H \cdot \Delta\theta_H$$

که K_H برای نوع E و F برابر است با:

$$K_H = \frac{1}{(R_w + R_r + R_x + R_i)}$$

در صورت وجود جریان آشفته سیال داخل لوله، R به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$R_w = \frac{W^{0.13}}{8,0 \cdot \pi} \left(\frac{d_a - 2 \cdot s_r}{\dot{m}_{H,sp} \cdot l} \right)^{0,87} \quad (\text{الف-۵})$$

مقاومت جدار لوله R به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_r = \frac{W \cdot \ln \left[\frac{d_a}{d_a - 2 \cdot s_r} \right]}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} \quad (\text{ب-۶})$$

و مقاومت R بین جدار بیرونی لوله و لایه رسانا را می توان با رابطه ی زیر تقریب کرد:

$$R_x \approx \frac{W \cdot \ln\left[\frac{W}{\pi \cdot d_a}\right]}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_b} \quad (\text{ب-۷})$$

محدودیت روش

تقریب R برای حالت زیر معتبر است:

$$d_a/W < 0.2 \text{ و } s_i/W > 0.3$$

برای پیکربندی های دیگر، می توان R_x را با محاسبه المان محدود یا تفاضل محدود تعیین کرد.

ضریب انتقال گرما U_i با معادله زیر محاسبه می شود:

$$U_i = 1 / \left[\frac{1}{h_i} + \frac{s_i}{\lambda_b} \right] \quad (\text{ب-۸})$$

مقاومت معادل:

$$R_i = \frac{1}{U_i} \quad (\text{ب-۹})$$

که در آن ها:

$\dot{m}_{H,sp}$ دبی جرمی طراحی سیال گرمایش یا سرمایش (مربوط به سطح پوشانده شده با لوله) بر حسب kg/s؛

c ظرفیت گرمای ویژه سیال گرمایش یا سرمایش؛

W فاصله لوله ها؛

d_a قطر بیرونی لوله؛

s_i ضخامت دیوار لوله؛

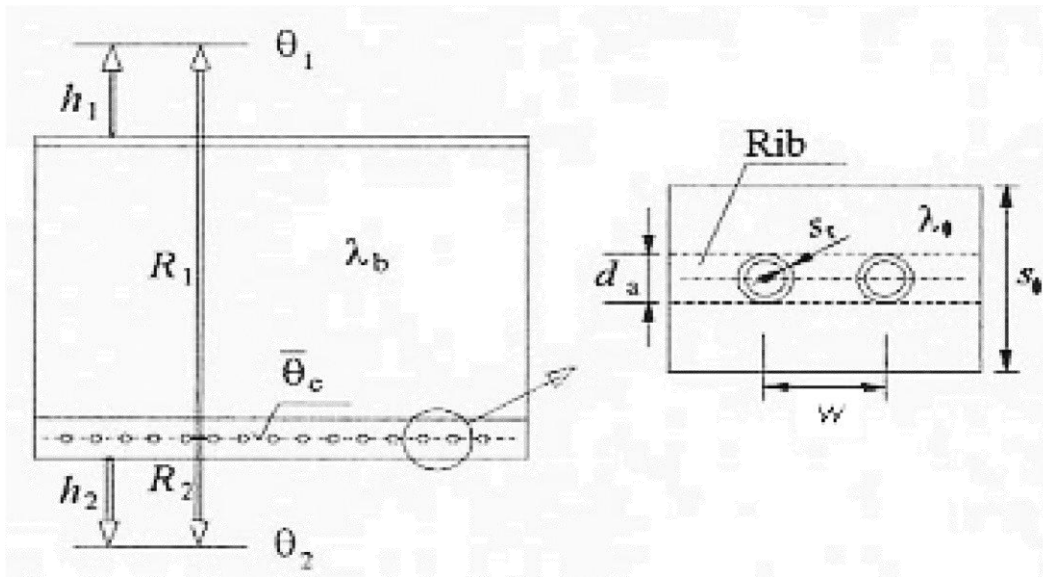
l طول مسیر لوله؛

λ_b رسانایی ساختمان (بتون)؛

λ_r رسانایی جدار لوله.

ب-۳ محاسبه R_i برای لوله های موئین توکار در لایه ای واقع در سطح داخلی (شرایط حالت پایا)

سایر ابعاد و پارامترهای مرتبط برای این ساختار در شکل ب-۴ ارائه شده اند.



شکل ب-۴- لوله‌های توکار واقع در لایه‌ای در سطح داخلی

برای جریان لایه‌ای سیال داخل لوله ($Re < 2300$) به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$R_w = \frac{W}{\pi \cdot \lambda_w} \left[49,03 + 4,17 \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{m}_{H,sp.c.W}}{\lambda_w} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (ب-۱۰)$$

مقاومت جدار لوله R_r به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_r = \frac{W \cdot \ln \left[\frac{d_a}{d_{a,2.s_r}} \right]}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} \quad (ب-۱۱)$$

و مقاومت R_x بین جدار بیرونی لوله و لایه رسانا را می‌توان به این صورت تقریب کرد:

$$R_x = \frac{W \cdot \frac{1}{3} \left[\frac{W}{\pi \cdot d_a} \right]}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_l} \quad (ب-۱۲)$$

ضرایب انتقال گرما U_1 و U_2 با معادله زیر محاسبه می‌شوند:

$$U_1 = 1 / \left[\frac{1}{h_1} + \frac{s_1}{\lambda_b} + \frac{s_{1/2}}{\lambda_l} \right] \quad (ب-۱۳)$$

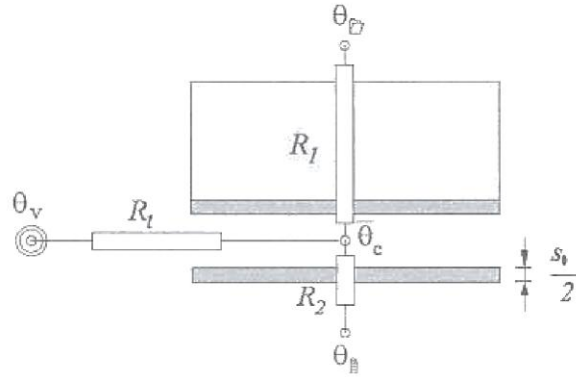
و

$$U_2 = 1 / \left[\frac{1}{h_2} + \frac{s_{1/2}}{\lambda_l} \right] \quad (ب-۱۴)$$

مقاومت متناظر:

$$R_i = \frac{1}{U_i} \quad (ب-۱۵)$$

شبکه مقاومت در شکل ب-۵ نشان داده شده است.



شکل ب ۵ - شبکه مقاومت

که در آن:

$\dot{m}_{H,sp}$ دبی جرمی طراحی سیال گرمایش یا سرمایش (مربوط به سطح پوشانده شده با لوله) بر حسب kg/s؛

c ظرفیت گرمای ویژه سیال گرمایش یا سرمایش؛

W فاصله لوله‌ها؛

d_a قطر بیرونی لوله؛

s_r ضخامت دیوار لوله؛

λ_1 رسانایی ماده لایه کرک‌ه‌ای؛

λ_r رسانایی جدار لوله؛

λ_w رسانایی سیال گرمایش یا سرمایش؛

λ_b رسانایی مصالح ساختمان (بتن).

پیوست پ
(الزامی)
لوله‌های توکار در سازه چوبی

پ-۱ دامنه کاربرد

روش محاسبه در این پیوست برای سیستم‌های گرمایش و سرمایش از سطح با آب گردشی در سازه‌های کف تیرچه چوبی متداول و سازه‌های سبک مشابه در نظر گرفته شده است. یکی از ویژگی‌های این سازه‌ها آن است که از لایه‌های موادی ساخته می‌شوند که رسانایی گرمایی آنها کم است، گرما عمدتاً به طور افقی (یا عمودی در دیوارها) با رسانایی گرمایی ورق‌های فلزی یا پره‌هایی با رسانایی بالای گرما، توزیع می‌شود. می‌توان ویژگی‌های متناظر آرایه‌های دیگر (که در آنها از صفحات توزیع گرما استفاده نمی‌شود) را با آزمون‌های آزمایشگاهی تعیین کرد. این روش محاسبه برای سیستم‌های گرمایش و سرمایش توکار در کف‌های بتنی، برای روشی که باید در پیوست الف استفاده شود، کاربرد ندارد.

پ-۲ تعیین تبادل گرما با محاسبه

پ-۲-۱ قابلیت کاربرد

در روش محاسبه به کار رفته در این استاندارد فرض می‌شود که رسانش عرضی گرما از ساختار کف/دیوار/سقف اساساً به وجود و تاثیر صفحات رسانای گرما بستگی دارد. یعنی رسانایی گرمایی صفحات رسانای گرما باید به طور قابل توجهی بزرگتر از لایه‌های احاطه کننده باشد. به الزامات بند پ-۲-۴-۴-۱ مراجعه کنید.

اگر آرایه‌های دیگری مورد استفاده قرار گیرد، ویژگی‌های آن باید با آزمون توصیف شده در پیوست ت تعیین شوند.

پ-۲-۲ روش محاسبه - کلیات

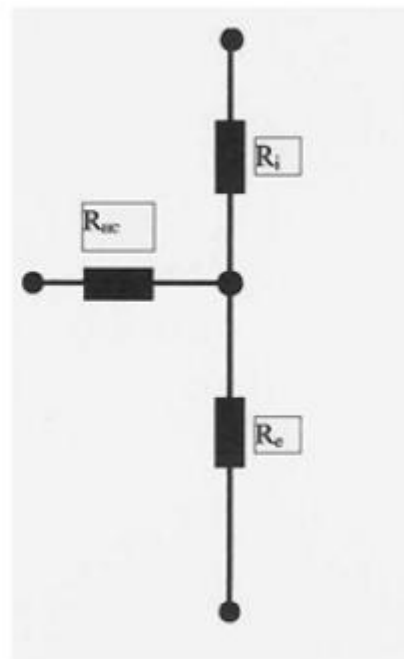
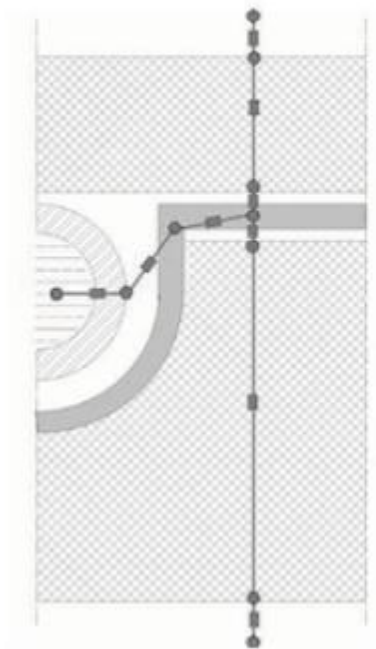
انتقال گرما از ساختار کف، به وضعیت تعداد زیادی اجزا بستگی دارد، که در شکل پ-۱ نشان داده شده است، اما همه‌ی این اجزا را می‌توان به سه مقاومت گرمایی نشان داده شده در شکل پ-۱ ساده کرد:

الف - مقاومت گرمایی بالای لایه رسانای گرما، از صفحه رسانای گرما تا اتاقی که قرار است سرد یا گرم شود، R_i ؛

ب - مقاومت گرمایی در زیر لایه رسانای گرما، از صفحه رسانای گرما تا اتاق مجاور یا هوای بیرون، R_e ؛

پ - مقاومت گرمایی از ماده‌ی واسط گرمایش تا لایه رسانای گرما، R_{HC} .

این مقاومت‌های گرمایی را می‌توان با محاسبه یا آزمون تعیین کرد. گره‌های نشان داده شده در شکل پ-۱، دمای داخلی، دما در اتاق مجاور، زمین یا بیرون، دمای لوله و میانگین دمای لایه رسانای گرما را نشان می‌دهد.



شکل پ ۱ - انتقال گرما از ساختار کف به صورت شبکه مقاومت گرمایی نشان داده شده است

پ-۲-۳ روش محاسبه برای تعیین ضریب انتقال گرمای معادل

پ-۲-۳-۱ کلیات

روش محاسبه شامل تعیین موارد زیر است:

الف- بیشترین چگالی جریان گرما به اتاق (به بند پ-۲-۳-۲ مراجعه کنید)؛

ب- میانگین دمای ماده‌ی واسط گرمایش یا سرمایش (به بند پ-۲-۳-۳ مراجعه کنید)؛

پ- ضریب انتقال گرمای معادل (به بند پ-۲-۳-۴ مراجعه کنید).

برای روش محاسبه ویژگی‌های اجزا و المان‌ها به بند پ-۲-۴ مراجعه کنید.

پ-۲-۳-۳ بیشترین چگالی جریان گرما به اتاق

پ-۲-۳-۳-۱ بیشترین یا کمترین دمای مجاز سطح

بیشترین یا کمترین دماهای توصیه شده سطح ($\theta_{s.min} \cdot \theta_{x.max}$) در پیوست الف ارائه شده است.

پ-۲-۳-۲-۲ بیشترین یا کمترین دمای میانگین مجاز سطح

بیشترین یا کمترین دمای میانگین مجاز سطح با معادله زیر بیان می‌شود:

$$\theta_{s,m}^{\max} - \theta_i = k_{CL} \cdot (\theta_{s,max,min} - \theta_i) \quad ^\circ C \quad (پ-۱)$$

که در آن k_{CL} ضریب رسانایی گرمایی معادل برای لایه رسانای گرما، مطابق با بند پ-۲-۴-۲ است.

پ-۲-۳-۲ محدودیت بیشترین چگالی جریان گرما به اتاق

بیشترین چگالی جریان گرما در بند ۶ ارائه شده است.

پ-۲-۳-۳ بیشترین / کمترین دمای متوسط مجاز ماده‌ی واسط گرمایش یا سرمایش

$$\theta_H^{\max,min} = \theta_i + q_i^{\max,min} \cdot \left[R_i + \frac{1}{\eta} \cdot R_{HC} \right] \quad ^\circ C \quad (پ-۲)$$

دمای میانگین ماده‌ی واسط گرمایش نباید از این دما فراتر رود.

پ-۲-۳-۴ ضریب انتقال گرمای معادل

برونداد گرما به اتاق را می‌توان با معادله‌ی تا حدی ساده شده زیر بیان کرد:

$$q_i = K_{Hi} \cdot \Delta\theta_H \quad W/m^2 \quad (پ-۳)$$

که در آن:

K_{Hi} ضریب رسانایی گرمایی معادل؛

$\Delta\theta_H = \theta_H - \theta_i$ اختلاف دمایی ماده‌ی واسط گرمایش یا سرمایش.

ضریب رسانایی گرمایی معادل به طرف محیط از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$K_{Hi} = \frac{1}{R_{HC} + R_i} \quad W/m^2 \cdot ^\circ C \quad (پ-۴-الف)$$

و ضریب رسانایی گرمایی معادل به سمت وجه پشتی از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$K_{He} = \frac{1}{(R_{HC} + R_e)} \quad W/m^2 \cdot ^\circ C \quad (پ-۴-ب)$$

و

$$K_{Hi} = \frac{q_i^{\max,min}}{\theta_H^{\max,min} - \theta_i} \quad W/m^2 \cdot ^\circ C \quad (پ-۴-پ)$$

پ-۲-۴ روش محاسبه ویژگی‌های اجزا و المان‌ها

پ-۲-۴-۱ کلیات

روش محاسبه شامل تعیین پارامترهای زیر است:

الف- مقاومت گرمایی بالای لایه رسانا (به بند پ-۲-۴-۲ مراجعه کنید)؛

ب- مقاومت گرمایی سمت وجه پشتی لایه رسانا (به بند پ-۲-۴-۳ مراجعه کنید)؛
 پ- مقاومت گرمایی بین منبع گرما و لایه رسانای گرما (به بند پ-۲-۴-۴ مراجعه کنید).
 برای روش محاسبه تعیین ضریب انتقال گرمای معادل به بند پ-۲-۳ مراجعه کنید.

پ-۲-۴-۲ مقاومت گرمایی بالای لایه رسانای گرما

پ-۲-۴-۱ مقاومت گرمایی لایه‌های مصالح

مقاومت گرمایی لایه‌های مختلف مصالح در قسمت بالاتر کف را به ترتیب زیر محاسبه و جمع کنید:

$$R_o = \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} \quad \text{m}^2\text{°C/W} \quad (\text{پ-۵})$$

پ-۲-۴-۲ مقاومت تماسی

اگر صفحات رسانای گرما در تماس کامل گرمایی با مواد کف نباشد، نوعی مقاومت تماسی به وجود خواهد آمد.
 برای طراحی صفحات رسانای گرما به روش متداول، مقاومت برابر خواهد بود با:

$$R_{\text{con},i} = 0.15 \quad \text{m}^2\text{°C/W}$$

اگر صفحات رسانای گرما به دقت شکل داده شده و به مصالح کف چسبانده شده باشند، آنگاه:

$$R_{\text{con},i} = 0.10 \quad \text{m}^2\text{°C/W}$$

اگر نتایج حاصل از آزمون (EN 1264-2) ایجاب کند، می‌توان از مقادیر کمتر مقاومت تماسی گرمایی استفاده کرد.

پ-۲-۴-۳ مقاومت گرمایی لایه مرزی در سطح کف

$$R_{\text{si}} = \frac{1}{h_i} \quad \text{m}^2\text{°C/W} \quad (\text{پ-۶})$$

که در آن:

h_i ضریب انتقال گرما، تابعی از نوع سطح (کف، دیوار، سقف) و حالت (گرمایش یا سرمایش)، است که در بند ۶ توصیف شده است.

پ-۲-۴-۴ مقاومت گرمایی کل

مقاومت گرمایی کل از لایه رسانای گرما به اتاق با معادله زیر بیان می‌شود:

$$R_i = R_o + R_{\text{con},i} + R_{\text{si}} \text{m}^2\text{°C/W} \quad (\text{پ-۷})$$

پ-۲-۴-۳ مقاومت گرمایی در وجه پشتی لایه رسانای گرما

پ-۲-۴-۳-۱ مقاومت گرمایی به اتاق مجاور گرم یا سرد شده

مقاومت گرمایی لایه‌های مختلف مصالح در قسمت وجه پشتی را محاسبه و جمع کنید:

$$R_u = \sum_k \frac{d_k}{\lambda_k} \quad \text{m}^2\text{C}/\text{W} \quad (\text{پ-۸})$$

در این معادله از مقاومت تماسی گرمایی بین لایه رسانای گرما و زیر کف صرفنظر می‌شود. مقاومت گرمایی کل از لایه رسانای گرما در وجه پشتی کف با معادله زیر بیان می‌شود:

$$R_{e,0} = R_u + R_{se} \quad \text{m}^2\text{C}/\text{W} \quad (\text{پ-۹})$$

که در آن R_{se} مقاومت لایه مرزی در وجه پشتی به طرف فضای مجاور است. این به نوع سطح (کف، دیوار، سقف) و نوع سیستم (گرمایش یا سرمایش) بستگی دارد.

پ-۲-۳-۴-۲ سازه تیرچه کف زمین

مقاومت گرمایی برای سمت بیرونی کف از ضریب تبادل گرما یا مقدار U را محاسبه و مقاومت گرمایی وجه داخلی کف را از آن کم کنید:

$$R_{e,0} = \frac{1}{U} - R_i \quad \text{m}^2\text{C}/\text{W} \quad (\text{پ-۱۰})$$

یادآوری - مقدار U ساختار کف مستقر بر روی زمین را می‌توان از استاندارد ISO 13370 محاسبه کرد.

پ-۲-۳-۴-۲ تصحیح R_e

از آنجا که لوله گرمایش یا سرمایش و بست‌های آن به صفحات رسانای گرما معمولاً در مجرای با عایق گرمایی قرار می‌گیرد، مقاومت گرمایی وجه پشتی کاهش می‌یابد:

$$R_e \approx R_{e,0} - 2 \cdot \Delta R_e \quad \text{m}^2\text{C}/\text{W} \quad (\text{پ-۱۱})$$

که در آن ضریب ۲ ضریب تصحیح به دلیل اثرات دوبعدی است و:

$$\Delta R_e = \frac{d}{\lambda_{ins}} \cdot \frac{b}{W} \quad \text{m}^2\text{C}/\text{W} \quad (\text{پ-۱۲})$$

که در آن:

d عمق کانال؛

b پهنا کانال؛ و

W فاصله لوله‌ها است.

اجزای دیگر سازه، مانند تیرچه‌ها، نیز مقاومت گرمایی سازه‌ی زیرین را کاهش می‌دهند. مقدار این کاهش را می‌توان با محاسبه رسانایی گرمایی لایه پایین‌تر به صورت میانگینی واحد برای مصالح مختلف، بر اساس سهم آنها در لایه به دست آورد.

پ-۲-۴-۴ رسانایی گرمایی بین منبع گرما و لایه رسانای گرما

پ-۲-۴-۴-۱ دمای میانگین صفحات رسانای گرما

یکی از اهداف کاربرد صفحات رسانای گرما، توزیع گرما از لوله‌های روی سطح مقطع کامل کف، و در نتیجه توزیع یکنواخت‌تر دما و تا اندازه‌ای بهبود تماس گرمایی با قسمت داخلی کف است. هر صفحه‌ی رسانای گرما کمابیش از دو پره تشکیل شده است که به فاصله‌ی مساوی از خط وسط صفحه قرار دارند و صفحه در این قسمت با لوله تماس گرمایی دارد. مشخصات صفحات رسانای گرما با پارامترهای زیر بیان می‌شود:

L_{WL} پهنای صفحه رسانای گرما $T \geq$ بر حسب m

$s_{WL} \cdot \lambda_L$ عملکرد رسانایی گرمایی بر حسب $W/^\circ C$

محدودیت روش:

شرایط زیر باید برآورده شود:

مواد احاطه کننده $\lambda_{WL} \geq 10 \lambda$ بر حسب $W/m^\circ C$

$s_{WL} \cdot \lambda_L \geq 0.1$ بر حسب $W/^\circ C$

طول پره را از معادله زیر محاسبه کنید:

$$l = \sqrt{\frac{s_{WL} \cdot \lambda_{WL}}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_e}}} m \quad (\text{پ-۱۳})$$

که در آن:

s_{WL} ضخامت پره بر حسب m؛

λ_{WL} رسانایی گرمایی پره بر حسب $W/m^\circ C$ ؛

R_i مقاومت گرمایی داخلی بر حسب $W/m^2^\circ C$ ؛

R_e مقاومت گرمایی بیرونی بر حسب $W/m^2^\circ C$.

دمای متوسط پره با معادله زیر بیان می‌شود:

$$\bar{\theta}_{fin} = k_{fin} \cdot \theta_{fin} \quad ^\circ C \quad (\text{پ-۱۴})$$

$$k_{fin} = \frac{l}{L_{fin}} \cdot \tanh\left(\frac{L_{fin}}{l}\right) \quad (\text{پ-۱۵})$$

که در آن:

$\bar{\theta}_{fin}$ دمای میانگین پره بر حسب $^\circ C$ ؛

θ_{fin} دما در نقطه اتصال لوله، که بیشترین دمای پره است، بر حسب °C؛

$$L_{fin} = \frac{L_{WL-LU}}{2} = \frac{T_{LU-LG}}{2} m$$

که در آن:

L_U قطر بیرونی لوله گرمایش، بر حسب m؛

L_G شکاف بین صفحات رسانای گرما، بر حسب m.

کمترین دما در پره با معادله زیر بیان می‌شود:

$$\theta_{fin}^{min} = k_{fin}^{min} \cdot \theta_{fin} \quad ^\circ C \quad (پ-۱۶)$$

$$k_{fin}^{min} = \frac{1}{\cosh\left(\frac{L_{fin}}{l}\right)} \quad (پ-۱۷)$$

پ-۲-۴-۴-۲ دمای میانگین در لایه رسانای گرما

دمای متوسط در لایه رسانای گرما با معادله زیر ارائه می‌شود:

$$\bar{\theta}_{CL} = k_{CL} \cdot \theta_{fin} \quad ^\circ C \quad (پ-۱۸)$$

$$k_{CL} = \frac{L_U + 2 \cdot L_{fin} \cdot k_{fin}^{min} + 0.01 \cdot L_G \cdot k_{fin}^{min}}{L} \quad (پ-۱۹)$$

پ-۲-۴-۴-۳ مقاومت گرمایی ظاهری لایه رسانای گرما

$$R_{CL} = \frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_e}} \cdot \left(\frac{1}{k_{CL}} - 1 \right) \quad m^2 \cdot ^\circ C / W \quad (پ-۲۰)$$

پ-۲-۴-۴-۴ کویل‌های لوله‌ای

پارامترهای مورد نیاز کویل‌های لوله‌ای عبارتند از قطر بیرونی، قطر داخلی و رسانایی گرمایی جنس لوله. علاوه بر این، لازم است توجه شود آیا جدار لوله دارای لایه‌های خاصی برای توزیع گرما در سطح پیرامونی است یا نه. وجود چنین لایه‌ای بر مساحت مؤثر سطح جانبی لوله که در تماس با صفحه رسانا است، اثر می‌گذارد.

مقاومت گرمایی کل اسمی در مقطع جدار لوله با معادله زیر بیان می‌شود:

$$\dot{R}_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_R} \ln \left(\frac{d_o}{d_i} \right) \quad m^\circ C / W \quad (پ-۲۱)$$

که در آن:

d_o قطر بیرونی لوله، بر حسب m؛

d_i قطر درونی لوله، بر حسب m ؛

λ_R مقاومت گرمایی جدار لوله، بر حسب $W/m^{\circ}C$ ؛

برای لوله‌های PEX، باید از مقدار $\lambda = 0.35 W/m^{\circ}C$ استفاده شود. این مقادیر به ازای انواع مختلف لوله‌ها در پیوسته ارائه شده است.

پ-۲-۴-۴-۵ مقاومت تماسی گرمایی بین لایه رسانای گرما و لوله گرمایش

در این استاندارد، دو نوع تماس بین لوله گرمایش و صفحه رسانای گرمایی مورد توجه قرار گرفته است:

الف- تماس جزئی صفحه رسانای گرما که به شکل مقطع U خم شده، با سطح جانبی لوله گرمایش؛

ب- لوله‌های گرمایش نصب شده در کانال‌ها با عایق‌بندی گرمایی و احاطه شده توسط پرکننده که دارای رسانایی گرمایی بالایی است، که به نوبه‌ی خود در تماس با صفحه صاف رسانای گرمای بالای لوله‌ها است.

مقاومت هر دو نوع تماس با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{R}_{R,con} = \frac{1}{d_o} \quad m^{\circ}C/W \quad (\text{پ-۲۲})$$

که در آن d_o قطر لوله است.

یادآوری- مقدار دقیق‌تر را می‌توان با محاسبات کامپیوتری دوبعدی یا از طریق آزمایش تعیین کرد.

پ-۲-۴-۴-۶ مقاومت در مقطع U وسیله رسانای گرما

برای وسایل رسانای گرما که در آنها لوله به شکل مقطع U کار گذاشته شده است، یک مقاومت گرمایی اضافی اعمال می‌شود. گرما از لوله در امتداد مقطع U جمع‌آوری می‌شود و باید به قسمت ساده‌ی وسیله رسانای گرما هدایت شود.

مقاومت خطی با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{R}_u = \frac{0.008}{d_a} \quad m^{\circ}C/W \quad (\text{پ-۲۳})$$

که d_a قطر لوله است.

پ-۲-۴-۴-۷ مقاومت گرمایی بین منبع گرما و لایه رسانای گرما

$$R_{HC} = W \cdot \dot{R}_R + W \cdot \dot{R}_{R,con} + \frac{W}{2} \dot{R}_U + R_{CL} \quad m^2^{\circ}C/W \quad (\text{پ-۲۴})$$

که در آن W فاصله‌ی لوله‌ها است.

پیوست ت

(الزامی)

روش تصدیق برنامه محاسبه FEM و FDM

ت-۱ توزیع دما و انتقال گرما در یک سیستم سرمایش از کف

این آزمون باید برای تصدیق برنامه محاسبه عددی حالت پایا در محاسبات FEM و FDM مورد استفاده قرار گیرد. ساختار و نیز خواص و ابعاد ماده، در شکل ت-۱ نشان داده شده است. سایر شرایط مرزی عبارتند از:

الف- دمای اتاق‌های پایین و بالای سازه = 26°C ؛

ب- دمای میانگین آب = 18°C ؛

پ- جریان آشفته (فرض می‌شود مقاومت بین ماده‌ی واسط گرمایش و لوله داخلی = صفر)؛

ت- مقاومت گرمایی در لایه هوای مرزی بالاتر = $1,7 = 0,1429 \text{ m}^2\text{K/W}$ ؛

ث- مقاومت گرمایی در لایه هوای مرزی پایین‌تر = $1,11 = 0,1099 \text{ m}^2\text{K/W}$ ؛

ج- فاصله لوله‌ها = 150 mm ؛

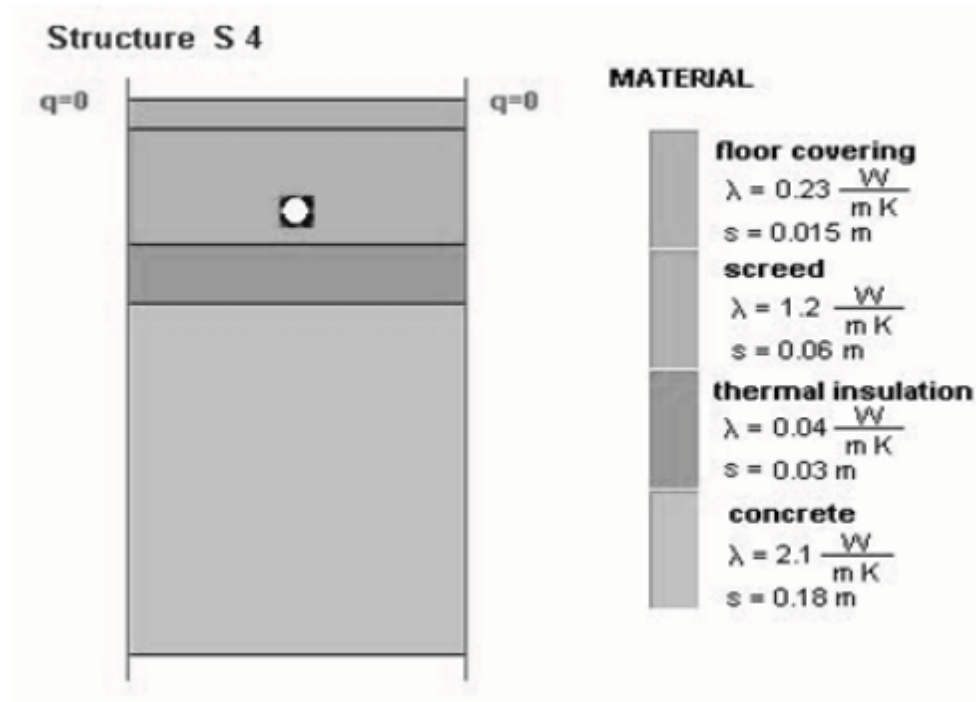
ح- قطر بیرونی لوله = 20 mm ؛

چ- ضخامت جدار لوله = $2,3 \text{ mm}$ ؛

خ- لوله‌های تقریب شده به شکل دایره؛

د- اندود زیر لوله = 10 mm ؛

ذ- اندود بالای لوله = 30 mm .

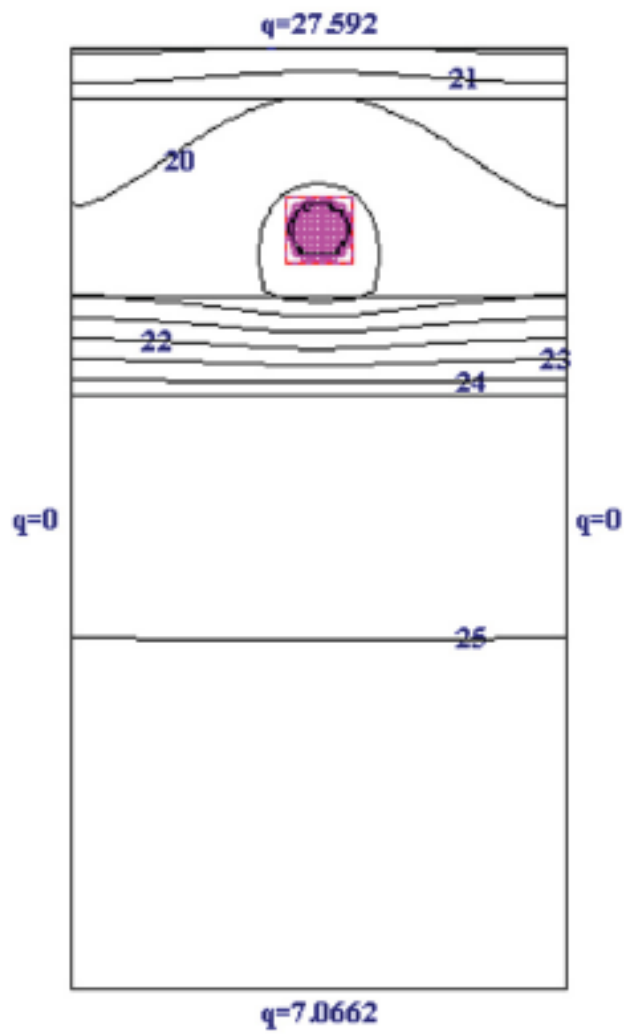


شکل ت-۱- ساختار سیستم و خواص ماده برای مثالی از آزمون

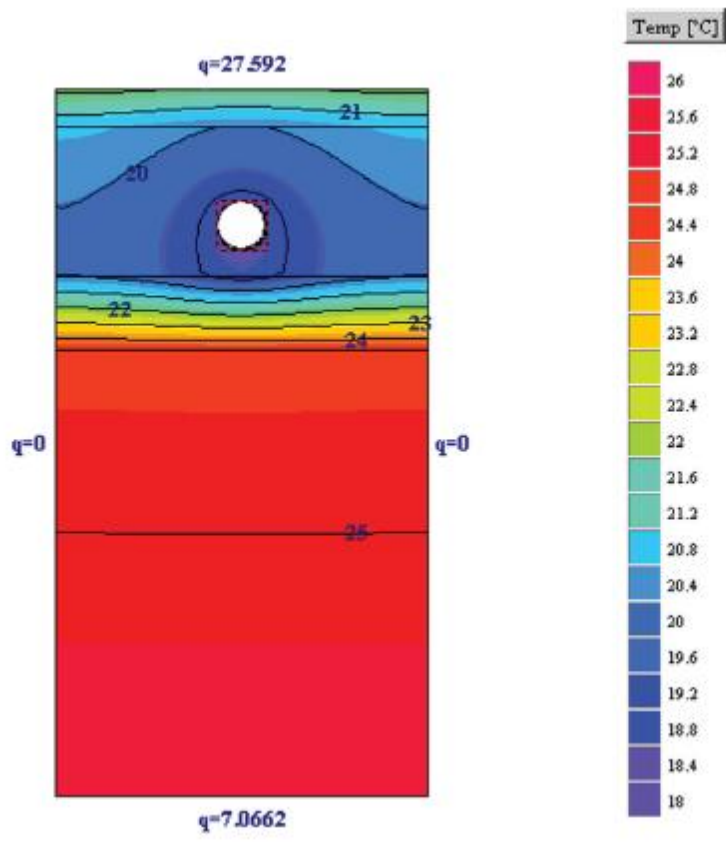
جدول ت-۱، شکل ت-۲ و شکل ت-۳ نتایج توزیع محاسبه شده دما و جریان‌های گرمای متناظر را نشان می‌دهد. برای یک تصدیق قابل قبول، دمای محاسبه شده سطح باید در حدود $0.3 K$ و جریان گرمای محاسبه شده باید در حدود 3% مقادیر جدول ت-۱، شکل ت-۲ و شکل ت-۳ باشد.

جدول ت-۱- نتایج توزیع محاسبه شده دما

T ($x=0.075 m$) °C	T ($x=0.0375 m$) °C	$T(x=0 m)$ °C	y m
۲۱,۸۹۳	۲۲,۰۶۴	۲۲,۲۰۱	۰,۲۸۵
۱۹,۱۱۱	۱۹,۷۸۸	۲۰,۰۸۶	۰,۲۴۶
۱۹,۷۶۵	۲۰,۴۱۴	۲۰,۷۲۸	۰,۲۰۵
۲۴,۸۰۲	۲۴,۸۰۶	۲۴,۸۰۹	۰,۱۶۴
۲۴,۹۴۳	۲۴,۹۴۳	۲۴,۹۴۴	۰,۱۲۳
۲۵,۰۸۱	۲۵,۰۸۱	۲۵,۰۸۲	۰,۰۸۲
۲۵,۲۱۹	۲۵,۲۱۹	۲۵,۲۱۹	۰,۰۴۱
۲۵,۳۵۷	۲۵,۳۵۷	۲۵,۳۵۷	۰



شکل ت ۲- نتایج توزیع دما



شکل ت ۳- نتایج توزیع دما

پیوست ث

(الزامی)

مقادیر رسانایی گرمایی مواد و لایه‌های هوا

ث-۱ مواد جامد

مقادیر رسانایی گرمایی مواد جامد مختلف در جدول ث ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ث-۱- رسانایی گرمایی مواد مختلف

ماده	رسانایی گرمایی λ W/(m.K)
لوله PB	۰٫۲۲
لوله PP	۰٫۲۲
لوله (HDX.MDX)PE-X	۰٫۳۵
PE-RT	۰٫۳۵
لوله فولادی	۵۲
لوله مسی	۳۹۰
پوشش PVC با احتساب هوای تومانده	۰٫۱۵
پوشش PVC بدون احتساب هوای تومانده	۰٫۲
وسیله آلومینیومی رسانای گرما	۲۰۰
وسیله فولادی رسانای گرما	۵۲
اندود سیمانی	۱٫۲
اندود انیدریت	۱٫۲
بتن ($\rho \approx 2400 \text{ kg/m}^3$)	۱٫۹
صفحات اندود کف	۰٫۲۵
اندود آهک	۰٫۷
پوشش صنعتی کف	۰٫۷
اندود آسفالت (یا قیر)	۰٫۹
چوب سنگ	۰٫۴
الوار (خرده چوب فشرده)	۰٫۱۵

ث-۲ لایه‌های هوای محبوس

مقادیر مقاومت گرمایی معادل انواع مختلف لایه‌های هوایی محبوس در جدول ث-۲ ارائه شده است.

جدول ت ۲- مقادیر مقاومت گرمایی معادل برای لایه‌های محبوس هوا در ساختارهای کف، دیوار یا سقف سطوح لایه هوا که غیرفلزی فرض می‌شود

	ضخامت لایه بر حسب mm									موقعیت لایه
	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۱۰	۵	
m ² K/W	۰٫۱۷۲	۰٫۱۷۴	۰٫۱۷۷	۰٫۱۷۹	۰٫۱۸۰	۰٫۱۸۱	۰٫۱۷۴	۰٫۱۵۴	۰٫۱۱۶	عمودی (دیوارها)
m ² K/W	۰٫۱۹۲	۰٫۱۹۱	۰٫۱۹۰	۰٫۱۸۹	۰٫۱۸۸	۰٫۱۸۴	۰٫۱۷۷	۰٫۱۶۴	۰٫۱۳۲	افقی (کف، سقف) جریان گرما به طرف بالا
m ² K/W	۰٫۲۷۸	۰٫۲۷۶	۰٫۲۷۰	۰٫۲۶۶	۰٫۲۶۰	۰٫۲۴۸	۰٫۲۲۰	۰٫۱۸۲	۰٫۱۳۵	افقی (کف، سقف) جریان گرما به طرف پایین

پیوست ج

(اطلاعاتی)

کتابنامه

[1]Konzelmann, M. and G. Zöllner: Thermische Leistungen flächenintegrierter Heiz- und Kühlflächen. Published in HLH 56 (2005). No. 3. pp. 30-34

[2]Konzelmann, M. and G. Zöllner: Wärmetechnische Prüfung von Fußbodenheizungen. Published in HLH 33 (1982). No. 4. pp. 136-142

[3]ISO 7730, *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*

[4]Glück, B.: Wärmeübergangskoeffizienten an thermisch aktiven Bauteiloberflächen und der Übergang zu Basiskennlinien für die Wärmestromdichte. Published in Gesundheits-Ingenieur 128 (2007) No 1. pp. 1-10

[5]EN 563, *Safety of machinery — Temperatures of touchable surfaces — Ergonomics data to establish temperature limit values for hot surfaces*

[6]ISO/TS 13732-2, *Ergonomics of the thermal environment — Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces — Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperature*

[7]EN 13202, *Ergonomics of the thermal environment — Temperatures of touchable hot surfaces — Guidance for establishing surface temperature limit values in production standards with the aid of EN 563*

[8]ISO 13370, *Thermal performance of buildings — Heat transfer via the ground — Calculation methods*

[9] ISO 7726, *Thermal environments — Instruments and methods for measuring physical quantities*

[10] Konzelmann, M. und Zöllner, G.: Wärmetechnische Prüfung von Fußbodenheizungen. Veröffentlicht in HLH 33 (1982). Nr. 4. S. 136-142

[11] Kast, W.; Klan, H. und Bohle, J.: Wärmeleistung von Fußbodenheizungen. Veröffentlicht in HLH 37 (1986). Nr. 4. S. 175-182

[12] Konzelmann, M. und Zöllner, G.: Auslegung und wärmetechnische Prüfung von Warmwasser-Fußbodenheizungen. Veröffentlicht in SHT 4 (1984). S. 255-259

- [13] Kast, W.; Klan, H. und Bohle, J.: Wärmeleistung von Fußbodenheizungen Teil 2. Veröffentlicht in HLH 37 (1986). Nr. 10. S. 497-502
- [14] Schmidt, P.: Untersuchung zum Einfluss des Heizsystems und zum Außenflächenzuschlag bei der Wärmebedarfsrechnung; Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften. Reihe 6. Nr 80 (1981)
- [15] Konzelmann, M.: Wärmeabgabe von Fußbodenheizungen.- Entwicklung einer Prüfmethode; Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 19: Wärmetechnik/Kältetechnik. Nr. 23. VDI-Verlag Düsseldorf (1988)
- [16] Bohle, J. and Klan, H.: Design of Panel Heating and Cooling Systems » ASHRAE Transactions.2000
- [17] Koschenz, M. und Lehmann, B.: Thermoaktive Bauteilsysteme. tabs. EMPA. Switzerland. 2000
- [18] Glück, B. Wärmeübertragung von Raumheizflächen und Rohren. VEB Verlag für Bauwesen. Berlin 1989
- [19] P.J. Schneider. Conduction Heat Transfer. 2nd Printing. Addison-Wesley Publishing Co. Inc.. Reading. MA. 1957
- [20] Heiselberg, Per: Stratified flow in Rooms with a Cold Vertical Wall. ASHRAE Trans. 1994. V.100. Pt. 1
- [21] Nordtest “Design of floor heating systems”. Report nr XXX (in press). 2002
- [22] EN 1264-5, Water based surface embedded heating and cooling systems — Part 5: Heating and cooling surfaces embedded in floors ceilings and walls — Determination of the thermal output
- [23] EN 12828:2002, Heating systems in buildings — Design for water based heating systems
- [24] EN 12831:2002, Heating systems in buildings — Method for calculation of the design heat load
- [25] EN 15377-1, Heating systems in buildings — Design of embedded water based surface heating and cooling systems — Part 1: Determination of the design heating and cooling capacity