



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

INSO

14961

1st. Edition

Apr.2013

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۴۹۶۱

چاپ اول

۱۳۹۲ فروردین

عملکرد گرمایی اجزای بنا - مشخصات حرارتی
پویا - روش‌های محاسبه

Thermal performance of building components
— Dynamic thermal
characteristics — Calculation methods

ICS:91.060.01;91.120.10

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 ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ 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، مصرفکنندگان، 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 پیشنهادها 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 الکترونیک (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) وسائل 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 اعطای و بر عملکرد آن ها ناظرات می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاهای کالیبراسیون (واسنجی) وسائل 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
«عملکرد گرمایی اجزای بنا - مشخصات گرمایی پویا - روش‌های محاسبه»**

سمت و / یا نمایندگی

عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا

رئیس:

عراقچیان، محمد رضا
(دکترای معماری)

دبیر:

اداره کل استاندارد استان همدان

اعتضادزاده، پرناز

(کارشناس مهندسی مکانیک)

اعضا:

اداره کل راه و شهرسازی استان همدان

البرز نیا، محمد خلیل

(کارشناس ارشد مهندسی شهرسازی)

اداره کل استاندارد استان همدان

ردابی، احسان

(کارشناس ارشد شیمی تجزیه)

سازمان کشور استان همدان

سامری، خسرو

(کارشناس ارشد مهندسی مکانیک)

دانشگاه تهران

فرزانه، فرهاد

(کارشناس ارشد مهندسی معماری)

سازمان صنعت،معدن و تجارت استان همدان

گردان، کیوان

(کارشناس مهندسی برق - الکترونیک)

دانشگاه علمی کاربردی استان همدان

گردان، مریم

(کارشناس ارشد مهندسی معماری)

سازمان صنعت،معدن و تجارت استان همدان

متین، حمید رضا

(کارشناس مهندسی صنایع)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۱-۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۱-۱-۳ تعاریف معتبر برای هرجزی
۲	۱-۱-۱-۳ اجزای
۲	۲-۱-۱-۳ ناحیه‌ی گرمایی یک بنا
۲	۳-۱-۱-۳ شرایط سینوسی
۳	۴-۱-۱-۳ انتقال گرمایی متناوب
۳	۵-۱-۱-۳ ظرفیت گرمایی
۳	۶-۱-۱-۳ زمان تناوب
۴	۲-۱-۳ تعاریف معتبر فقط برای یک بعد جریان گرما
۴	۱-۲-۱-۳ اجزای مسطح
۴	۲-۲-۱-۳ لایه‌ی همگن مصالح
۴	۳-۲-۱-۳ هدایت ظاهری گرمایی
۴	۴-۲-۱-۳ انتقال گرمایی متناوب
۵	۵-۲-۱-۳ ظرفیت گرمایی سطحی
۵	۶-۲-۱-۳ فاکتور کاهش
۵	۷-۲-۱-۳ عمق نفوذ متناوب
۵	۸-۲-۱-۳ ماتریس انتقال گرما
۶	۲-۳ علائم و واحدها
۷	۳-۳ زیرنویسها
۷	۴-۳ علائم دیگر
۷	۴ دوره‌ی تناوب تغییرات گرمایی
۷	۵ داده‌های مورد نیاز
۸	۶ ماتریس انتقال گرمایی اجزای چندلا�

فهرست مندرجات

عنوان	صفحة
۱-۶ کلیات	۸
۲-۶ روش کار	۸
۳-۶ ماتریس انتقال گرما از یک لایه‌ی همگن	۸
۴-۶ ماتریس انتقال گرما از حفره‌های وای سطح	۹
۵-۶ ماتریس انتقال حرارت گرمایی از اجزای یک بنا	۹
۷ مشخصات گرمایی پویا	۹
۱-۷ مشخصات هرجزی	۹
۲-۷ ویژگیهای اجزای شامل لایه‌های مسطح و همگن	۱۰
۱-۲-۷ هدایت ظاهری گرمایی متناوب	۱۰
۲-۲-۷ هدایت ظاهری اصلاح شده برای دیوارهای داخلی	۱۰
۳-۲-۷ ظرفیتهای گرمایی سطح	۱۰
۴-۲-۷ انتقال حرارت متناوب و فاکتور کاهش	۱۰
۸ گزارش	۱۱
۱-۸ گزارش محاسبات	۱۱
۲-۸ خلاصه‌ی نتایج	۱۲
پیوست الف-(الزمی) محاسبات ساده شده‌ی ظرفیت گرمایی	۱۳
الف-۱ حدوداستفاده	۱۳
الف-۲ روش‌های ساده شده	۱۴
الف-۳ اثر مقاومت سطح	۱۴
پیوستب-(اطلاعاتی) اصول روش ومثالهایی از کاربرد	۱۶
ب-۱ اصول	۱۶
ب-۲ مثالهای کاربردی	۱۷
پیوست پ-(اطلاعاتی) اطلاعات بیشتر برای برنامه نویسی کامپیوتری	۲۰
پ-۱ کلیات	۲۰
پ-۲ نمودار روش محاسبه	۲۰
پ-۳ نمایش اعداد مختلط	۲۱
پیوست ت-(اطلاعاتی) مثالها	۲۲
ت-۱ مثال ۱: اجزای لایه‌ای مجزا	۲۲
ت-۲ مثال ۲: اجزای چندلایه	۲۳
پیوست ث-(اطلاعاتی) کتاب نامه	۲۵

پیش گفتار

استاندارد "عملکرد گرمایی اجزای بنا - مشخصات گرمایی پویا- روش‌های محاسبه" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در سیصد و نود و هشتاد و چهارمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۸ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی، ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در موقع 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 تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

ISO13786 : 2007, Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics- Calculation methods

مقدمه

این استاندارد ملی توانایی (تا حدودی) تشخیص مصالح بنا و تاسیساتی که باعث بقای انرژی و عملکرد کلی انرژی می‌شوند را تهیه می‌کند.

مشخصه‌ی دینامیکی گرمایی اجزای بنا رفتار گرمایی اجزای را هنگامی که در معرض شرایط مرزی ناپایدار است، یعنی نرخ جریان گرمایی متغیر یا درجه حرارت تغییر در یک یا دو کران است را تشریح می‌کند. در این استاندارد ملی فقط شرایط حدی سینوسی در نظر گرفته شده است، حدود برای اختلاف دمای سینوسی یا نرخ جریان گرما ارائه شده است.

خواص مطرح شده هدایت ظاهری گرمایی و خواص انتقال گرمایی دینامیکی هستند. سیکل، نرخ جریان گرما برای اختلاف دمایی چرخه‌ای را شرح می‌دهد. هدایت گرمایی، نرخ جریان گرما برای اختلاف دما در همان طرف اجزای را شرح می‌دهد. خواص انتقال گرمایی دینامیکی خواص فیزیکی روی یک طرف اجزای به طرف دیگر آنها را بیان می‌کند. از خواص فوق الذکر، امکان تعریف ظرفیت گرمایی اجزای داده شده است که مقدار خاصیت ذخیره‌ی گرما در آن جزی را معین می‌کند.

مشخصات گرمایی پویا تعریف شده در این استاندارد ملی در مشخصات مصالح اجزای بنا استفاده می‌شود.

مشخصات گرمایی پویا می‌تواند همچنین در محاسبات استفاده شده باشد:

-دمای ورودی به اتاق

-بار خارجی بیشینه‌ی روزانه و انرژی مورد نیاز برای گرمایش یا سرمایش

-اثر متناوب گرمایش یا سرمایش و...

عملکردگرمایی اجزای بنا - مشخصات گرمایی پویا - روش‌های محاسبه

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین مشخصات وابسته به رفتار دینامیکی گرمایی تمام اجزای بنا و روش‌های برای محاسبه‌ی آنها می‌باشد. همچنین اطلاعات مورد نیاز مصالح بنا برای استفاده‌ی در اجزای بنا را مشخص می‌کند. چون مشخصات وابسته به روش ترکیب مصالح در بنا است، این استاندارد ملی برای مصالح یا اجزای ناتمام بنا کاربرد ندارد.

تعاریف داده شده در این استاندارد ملی برای هر جزی بنا کاربرد دارد. یک روش محاسبه‌ی ساده شده برای اجزای مسطح شامل لایه‌های هموار اساساً از مصالح همگن می‌باشد.

پوست الف روش‌های ساده تری برای تخمین ظرفیت‌های گرمایی، در بعضی موارد محدود را مشخص می‌کند. این روش‌ها برای تعیین خواص دینامیکی گرمایی مورد لزوم برای تخمین انرژی به کار رفته مناسب هستند. اما این تقریبها برای توصیف محصول مناسب نیستند.

پیوست ب اصول اساسی و مثالهایی از مشخصات گرمایی پویا که در این استاندارد ملی تعریف شده است را شرح می‌دهد.

پیوست پ اطلاعات را جهت برنامه ریزی روش محاسبات فراهم می‌کند.

پیوست ت مثالهایی از محاسبه یک جزی بنا را شرح می‌دهد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است. به این ترتیب آن مقررات، جزیی از این استاندارد 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 مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱- استاندارد ملی ایران شماره‌ی ۶۷۴۴: بنا - روش محاسبه اجزای و جدارها و مقاومت حرارتی و ضربی کلی انتقال حرارت

۲- استاندارد ملی ایران شماره‌ی ۱۲۵۹۶: پل حرارتی در ساختمان سازی - جریان حرارتی و دماهای سطحی - محاسبات

۳- استاندارد ملی ایران شماره‌ی ۱۳۲۷۶: عایق حرارتی - کمیتهای فیزیکی و تعاریف

۱-۳

اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد بند ۳-۲ با عنوان عایق حرارتی - کمیته‌ای فیزیکی، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کارمی رود :

۱-۱-۳

تعاریف معتبر برای هر جزء

۱-۱-۱-۳

اجزای

قسمتی ازیک بنا مانند یک دیوار، کف یا سقف یا یک قسمت از چنین جزئی

۲-۱-۱-۳

ناحیه‌ی گرمایی یک بنا

قسمتی از کل یک بنا که فرض می‌شود دمای داخلی آن اختلافات فضایی ناچیزی داشته باشد.

یادآوری ۱ - یک جزء جدا شده، در این استاندارد ملی به وسیله‌ی m یا n تعیین شده است.

یادآوری ۲ - محیط خارجی می‌تواند همچنین یک حوزه را در نظر گرفته باشد.

۳-۱-۱-۳

شرایط سینوسی

شرایطی که اختلاف دما و جریان گرمای پیرامون آن در دراز مدترا به وسیله یک تابع سینوسی از زمان شرح دهد.

یادآوری ۱- از اعداد مختلط استفاده شود، دما در ناحیه m می‌تواند به وسیله‌ی معادله ۱ و جریان گرمای به وسیله‌ی معادله ۲ شرح داده شود:

$$\theta_n(\bar{\theta}_n + |\hat{\theta}_n| \cos(\omega t + \psi)) = \bar{\theta}_n + \frac{1}{2}(\hat{\theta}_{+n} e^{j\omega t} + \hat{\theta}_{-n} e^{-j\omega t}) \quad (1)$$

$$\phi_n(t) = \bar{\phi}_n + |\hat{\phi}_n| \cos(\omega t + \phi) = \bar{\phi}_n + \frac{1}{2}(\hat{\phi}_{+n} e^{j\omega t} + \hat{\phi}_{-n} e^{-j\omega t}) \quad (2)$$

که در آن $\bar{\theta}_n$ و $\bar{\phi}_n$ مقادیر میانگین دما و جریان گرمای هستند،

$|\hat{\theta}_n|$ و $|\hat{\phi}_n|$ دامنه‌ی مرکب هستند که توسط معادله ۳ تعریف شده اند:

$$\hat{\theta}_{\pm n} = |\hat{\theta}_n| e^{\pm j\psi} \quad \text{و} \quad \hat{\phi}_{\pm n} = |\hat{\phi}_n| e^{\pm j\phi} \quad (3)$$

فرکانس زاویه ای تغییرات است.

۴-۱-۳ انتقال گرمای متناوب

اعداد مختلطی که جریان گرمای دوره ای در یک جزیی را برای دماهای دوره ای روی هر طرف از آن تحت شرایط سینوسی را شرح می دهد.

نمایش دیگر مفهوم

$$\hat{\Phi}_m = L_{mm} \hat{\theta}_m - L_{mn} \hat{\theta}_n \quad (4)$$

یادآوری ۱- انتقال گرمای متناوب روی طرف m به دمای m را هنگامی که دامنه ای دما روی طرف n صفر است را شرح می دهد. انتقال گرمای متناوب روی طرف m به دمای n را هنگامی که دامنه ای دما روی طرف m صفر است را شرح می دهد.

یادآوری ۲- به عنوان یک قرار داد در این استاندارد ملی نرخ جریان گرما هنگامی که به سطح اجزای وارد می شود مشبت تعريف می شود.

۵-۱-۱-۳

ظرفیت گرمایی

قدرمطلق انتقال گرما تقسیم بر فرکانس زاویه ای

نمایش دیگر محصول

$$c_m = \frac{1}{\omega} |L_{mm} - L_{mn}| \quad (5)$$

۶-۱-۱-۳

زمان تناوب

Δt

زمان متناوب بین دامنه ای حداکثر یک عامل و اثر آن

۲-۱-۳

تعاریف معتبر فقط برای یک بعد جریان گرما

۱-۲-۱-۳

اجزای مسطح

اجزائی که کوچکترین شعاع انحنای آن حداقل پنج برابر ضخامت آن باشد.

۲-۲-۱-۳

لایه ی مصالح همگن

لایه ای از مصالح که اندازه ای بزرگترین ناهمگنی آن از یک پنجم ضخامت لایه تجاوز نکند.

۳-۲-۱-۳

هدایت ظاهری گرمایی

کمیت مختلطی که به عنوان دامنه ای مرکب از چگالی نرخ جریان گرما از میان سطح مجاور اجزای ناحیه m تقسیم بر دامنه ای مرکب از دما در همان ناحیه i هنگامی که دما در طرف دیگر ثابت نگه داشته شده است، تعریف می شود.

نمایش دیگر مفهوم

$$Y_{mm} = \frac{\hat{q}_m}{\hat{\theta}_m} \quad (6)$$

۴-۲-۱-۳

انتقال گرمایی متناوب

کمیت مختلطی که به عنوان دامنه ای مرکب از چگالی نرخ جریان گرما از میان سطح مجاور اجزای ناحیه m ، تقسیم بر دامنه ای مرکب از دما در ناحیه i هنگامی که دما در ناحیه i ثابت نگه داشته شده است، تعریف می شود.

نمایش دیگر مفهوم

$$Y_{mn} = -\frac{\hat{q}_m}{\hat{\theta}_n} \quad (7)$$

۵-۲-۱-۳

ظرفیت گرمایی سطحی

ظرفیت گرمایی تقسیم بر مساحت جزی

نمایش دیگر مفهوم

$$\kappa_m = \frac{c_m}{A} = \frac{1}{\omega} |Y_{mm} - Y_{mn}| \quad (8)$$

یادآوری ۱- از معادله ۸ استفاده شود، پس ظرفیتهای گرمایی به صورت:

$$c_m = A\kappa_m \quad (9)$$

یادآوری ۲- دو هدایت ظاهری گرمایی و دو ظرفیت گرمایی اجزای برای جداسازی ۲ ناحیه وجود دارد، که همه ای آنها به تغییرات دمایی متناوب بستگی دارند.

۶-۲-۱-۳

فاکتور کاهش

نسبت قدر مطلق انتقال گرمایی متناوب به انتقال گرمایی حالت دائمی u

نمایش دیگر مفهوم

$$f = \frac{|\hat{q}_m|}{|\hat{\theta}_n| U} = \frac{|Y_{mm}|}{U} \quad (10)$$

که در آن $m \neq n$

۷-۲-۱-۳

عمق نفوذ متناوب

عمقی که در آن دامنه‌ی تغییرات دما توسط فاکتور "e" در یک ماده‌ی همگن با ضخامت بی‌نهایت در معرض تغییرات دمای سینوسی روی سطحش کاهش می‌یابد.

نمایش دیگر مفهوم

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda T}{\pi \rho c}} \quad (11)$$

یادآوری - e پایه‌ی لگاریتم طبیعی است. $e=2/718$

۸-۲-۱-۳

ماتریس انتقال گرما

ماتریسی که دامنه‌ی مخلوط دما و نرخ جریان گرما را بجزیی به دامنه‌ی مخلوط دما و نرخ جریان گرما روی طرف دیگر را بیان می‌کند.

نمایش دیگر مفهوم

$$= \begin{pmatrix} z_{21} & z_{12} \\ z_{11} & z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\theta}_2 \\ \hat{q}_2 \end{pmatrix} z = . \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{q}_1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

علائم و واحدها

واحد	کمیت	علامت
m^2	مساحت	A
	ظرفیت گرمایی	C
	انتقال حرارت متناوب	L_{mn}
$m^2 \cdot k / w$	مقاومت گرمایی	R
s	مدت تغییرات	T
$w/(m^2 \cdot k)$	انتقال گرما تحت شرایط مرزی حالت ثابت	U
$w/(m^2 \cdot k)$	هدایت ظاهری گرمایی	Y_{mm}
$w/(m^2 \cdot k)$	انتقال گرمایی متناوب	Y_{mn}
-	عناصر ماتریس انتقال گرما	Z
-	المان ماتریس انتقال گرمایی حرارتی	Z_{mn}
m^2/s	ضریب پخش گرمایی	a
$j/(kg \cdot k)$	ظرفیت گرمایی ویژه	c
m	ضخامت یک لایه	d
-	فاکتور کاهش	f
-	واحدی روی محور موهومی برای یک عدد مختلط $j = \sqrt{-1} \cdot r$	j
w/m^2	چگالی نرخ جریان گرما	q
s یا h	زمان	t
m	فاصله تا مولفه	x
s یا h	فاصله ی زمانی، زمان تقدم(اگر مثبت باشد)، یا زمان تاخر (اگر منفی باشد)	Δt
m	عمق نفوذ متناوب یک موج گرمایی در یک ماده	δ
W	نرخ جریان گرما	Φ
-	نسبت ضخامت یک لایه به عمق نفوذ	ξ
$j/(m^2 \cdot k)$	ظرفیت گرمایی سطحی	K
$w/(m \cdot k)$	هدایت گرمایی طراحی	λ
kg/m^3	چگالی	ρ
$^{\circ}C$	دما	θ
rad/s	فرکانس زاویه ای، $\omega = \frac{2\pi}{T}$	ω
rad	اختلاف فاز	ψ, \square

زیرنویسها

تعریف	زیرنویس
لایه‌ی هو	a
خارجی	e
داخلی	i
برای نواحی گرمایی	m,n
مربوط به سطح	s
از محیط به محیط	ee

علامه دیگر

تعریف	علامت
دامنه مختلط	\wedge
مقدار میانگین	$-$
قدر مطلق عدد مختلط	$ $
آرگومان عدد مختلط	arg

۴ دوره‌ی تناوب تغییرات گرمایی

معرف مشخصات گرمایی پویا و فرمول محاسبات آنها است که برای هر دوره تناوبی از تغییرات گرمایی معتبر می باشد.

مقادیر مشخصات گرمایی پویا به دوره‌های تناوب بستگی دارد. اگر بیشتر از یک دوره‌ی تناوب در نظر گرفته شده باشد، یک پسوند اضافی باید به تمام کمیتها برای تشخیص بین مقادیر مختلف دوره تناوب اضافه شده باشد.

دوره‌های زمانی قابل استفاده به صورت زیر هستند:

- یک ساعت (۳۶۰۰ ثانیه)، که مرбوط به تغییرات زمانی خیلی کوتاه، مانند نتایج سیستمهای کنترل دما است.
- یک روز (۸۶۴۰۰ ثانیه)، که مربوط به تغییرات هواسنجی روزانه و کاهش دما است.
- یک هفته (۶۰۴۸۰۰ ثانیه)، که مربوط به میانگین دوره‌ی طولانی تری از بنا است.
- یک سال (۳۱۵۳۶۰۰ ثانیه)، مناسب جهت رفتار انتقال گرما از زمین است.

۵ داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز برای تخمین مشخصات گرمایی پویا به صورت زیر هستند:

الف - جزئیات طراحی محصول، با ابعاد

ب - برای هر ماده ای که در تولید استفاده شده است:

رسانندگی گرمایی λ

- ظرفیت گرمایی ویژه c

- چگالی ρ

این مقادیر باید مقادیر به کار رفته در طراحی باشند.

۶ ماتریس انتقال گرمای اجزای چند لایه

۱-۶ کلیات

روش ریز بند ۲-۶ برای اجزای بنا شامل لایه های همگن مسطح می باشد. پلهای گرمایی که معمولاً در چنین اجزای بنای موجود می باشند اثر مهمی روی مشخصات گرمایی پویاندارد و می تواند از این جهت نادیده گرفته شود.

محاسبه مشخصات گرمایی پویای اجزای غیر مسطح و اجزای شامل پلهای گرمایی خیلی مهم، باید با حل معادله ای انتقال گرما تحت شرایط مرزی متناوب ایجاد شده باشد. برای این منظور قوانین برای طرح ریزی اجزای همان طوری که در استاندارد بند ۳-۲ داده شده است باید به انضمام روش های عددی مانند تفاضل متناهی و ضخامت اجزای متناهی استفاده شده باشد.

۲-۶ روش کار

روش کار به صورت زیر می باشد.

الف - شناسایی مصالح شامل لایه هایی از اجزای بنا و ضخامت لایه ها و تخمین مشخصات گرمایی مصالح

ب - تعیین دوره تغییرات در سطوح

پ - محاسبه ای عمق نفوذ برای مصالح در هر لایه

ت - تخمین اجزای ماتریس انتقال گرما برای هر لایه

ث - ضرب ماتریسهای انتقال حرارت لایه ای شامل لایه های مرزی که به طرز صحیحی برای به دست آوردن اجزای ماتریس انتقال می باشند.

۳-۶ ماتریس انتقال گرما از یک لایه ی همگن

عمق نفوذ دوره ای برای مصالح لایه δ از خواص گرمایی آنها و دوره ای تناوب استفاده شده در معادله ۱۱ محاسبه شده است.

پس نسبت ضخامت لایه به عمق نفوذ به صورت

$$\xi = d / \delta \quad (13)$$

اجزای ماتریس Z_{mn} مانند زیر محاسبه شده است:

$$z_{11} = z_{22} = \cosh(\xi) \cos(\xi) + j \sinh(\xi) \sin(\xi) \quad (14)$$

$$z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda} \{ \sinh(\zeta) \cos(\zeta) + \cosh(\zeta) \sin(\zeta) + j[\cosh(\zeta) \sin(\zeta) - \sinh(\zeta) \cos(\zeta)] \}$$

$$z_{21} = -\frac{\lambda}{\delta} \{ \sinh(\zeta) \cos(\zeta) - \cosh(\zeta) \sin(\zeta) + j[\sinh(\zeta) \cos(\zeta) + \cosh(\zeta) \sin(\zeta)] \}$$

۴-۶ ماتریس انتقال گرما از حفره های هوای سطح

ظرفیت گرمایی ویژه از چنین لایه هایی نادیده گرفته شده است. بنابراین اگر R_a مقاومت گرمایی لایه i هوا شامل همrfت، انتقال و تابش باشد، ماتریس انتقال حرارت گرمایی آن به صورت:

$$Z_a = \begin{pmatrix} 1 & -R_a \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

مقاومت گرمایی لایه i هوا باید مطابق با استاندارد بند ۲-۱ محاسبه شده باشد.

۵-۶ ماتریس انتقال حرارت گرمایی از اجزای بنا

ماتریس انتقال حرارت گرمایی اجزای بنا از یک سطح به سطح دیگر به صورت:

$$= Z_N Z_{N-1} \dots Z_3 Z_2 Z_1 Z_a = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{pmatrix} \quad (16)$$

که در آنجا Z_1 و Z_2 و ... و Z_N ماتریس انتقال حرارت گرمایی لایه های مختلف اجزای بنا هستند، که از لایه i ۱ شروع می شوند. به عنوان یک قرارداد برای اجزای بنا، لایه i ۱ باید داخلی ترین لایه باشد. ماتریس انتقال حرارت گرمایی از محیط به محیط در بین اجزای بنا به صورت:

$$Z_{ee} = Z_{s2} Z Z_{s1} \quad (17)$$

که در آنجا Z_{s1} و Z_{s2} ماتریس انتقال حرارت گرمایی لایه های مرزی هستند که به صورت زیر داده شده اند،

$$Z_s = \begin{pmatrix} 1 & -R_s \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

که در آنجا R_s مقاومت سطح لایه i مرزی شامل همrfت و تشعشع می باشد. مقادیر مقاومت سطح باید مطابق با استاندارد بند ۲-۱ باشد.

در اکثر موارد، ماتریس انتقال حرارت گرمایی و مشخصات دینامیکی یک جزینه باید با استفاده از مقادیر مقاومت سطحی مناسب برای تعیین موقعیت اجزای محاسبه شده باشد. اگر موقعیت اجزای معلوم نشده باشد، محاسبات باید برای موقعیت عمودی (جریان گرمایی افقی) انجام شده باشد. برای کاربرد مشخص در جایی که لایه های مرزی جداگانه محاسبه شده اند، در ظرفیت گرمایی دوره ای اجزای باید لایه های مرزی از قلم افتاده محاسبه شده باشند.

۷ مشخصات گرمایی پویا

۱-۷ مشخصات هر جزی

مشخصات گرمایی پویای هر جزی، ضریب هدایت گرمایی L_{mn} است و ۲ ظرفیت گرمایی، C_m است به طوری که در زیر بند های ۳-۱-۱-۴ و ۳-۱-۳-۵ عنوان شده است.

۲-۷ ویژگیهای اجزای شامل لایه‌های مسطح و همگن

۱-۲-۷ هدایت ظاهری گرمایی متناوب و ضریب هدایت گرمایی متناوب

هدایت ظاهری گرمایی به صورت:

$$Y_{11} = -\frac{Z_{11}}{Z_{12}} \quad Y_{22} = -\frac{Z_{22}}{Z_{12}} \quad (19)$$

که در آنجا Y_{11} برای طرف داخلی جزی است، در حالی که Y_{22} برای طرف خارجی است.

فاصله‌ی زمانی هدایت ظاهری به صورت:

$$\Delta t_Y = \frac{T}{2\pi} \arg(Y_{mm}) \quad (20)$$

با آرگومانی در محدوده‌ی $0 \leq 2\pi$ ارزیابی شده است.

۲-۲-۷ هدایت ظاهری اصلاح شده برای دیوارهای داخلی

برای دیوارهای داخلی یک بنا در جایی که اختلاف دما با طرف دیگر دیوار یکسان است، جریان گرمای متناوب به اختلاف دمای متناوب بستگی دارد هدایت ظاهری اصلاح شده به طور تقریب:

$$= Y_{mm} - Y_{mn} Y_{mm}^* \quad (21)$$

در جایی که Y_{mn} انتقال گرمای متناوب است. (به ۳-۲-۷ و یادآوری مراجعه شود)

۲-۲-۷ ظرفیتهای گرمایی سطح

ظرفیتهای گرمایی سطح به صورتهای زیر می‌باشد.

$$\kappa_1 = \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{11} - 1}{Z_{12}} \right| \quad (22)$$

و

$$\kappa_2 = \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{22} - 1}{Z_{12}} \right| \quad (23)$$

معادلات (۲۲) و (۲۳) برای هر دو اجزای خارجی و دیوارهای داخلی به کار می‌روند.

یادآوری - برای یک دیوار داخلی $k_m = |Y_{mm}^*|$

۴-۲-۷ انتقال حرارت متناوب و فاکتور کاهش

انتقال گرمای متناوب به صورت زیر داده شده است:

$$Y_{12} = -\frac{1}{Z_{12}} \quad (24)$$

و فاکتور کاهش به صورت زیر داده شده است:

$$f = \frac{|Y_{12}|}{U_0} \quad (25)$$

که در آنجا انتقال گرما U_0 مطابق با استاندارد بند ۱-۲ محاسبه شده است. پلهای گرمایی چشم پوشی نشده است.

یادآوری - U_0 با چشم پوشی پلهای گرمایی برای سازگاری محاسبات از لحاظ مشخصات دینامیکی محاسبه شده است. (به زیر بند ۱-۶ مراجعه شود).

فاکتور کاهش همیشه کمتر از یک می باشد.
مدت زمان انتقال گرمایی متناوب به صورت زیر است:

$$\Delta t_f = \frac{T}{2\pi} \arg(z_{12}) \quad (26)$$

با آرگومانی در محدوده $\pi/2 - T$ محاسبه شده است.

۸ گزارش

۱-۸ گزارش محاسبات

گزارش محاسبات باید شامل یک توصیفی از اجزای بنا، کاربرد معمول آن (قسمتی از اجزای داخلی یا پوشش) و تعداد مناطقی که با آن در تماس هستند باشد.

هر قسمت همگن باید به وضوح با ابعاد و تعاریف مصالح استفاده شده در آن قسمت، بعلاوه قابلیت هدایت حرارتی، چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه استفاده شده برای محاسبات تعریف شده باشد.

گزارش باید برای هر جزی ضریب هدایت گرمایی متناوب و ظرفیتهای گرمایی به همراه تناوب T استفاده شده برای محاسبات را فراهم کند.

بعلاوه برای اجزای مسطح که از لایه های همگن ساخته شده است گزارش باید شامل موارد زیر باشد:
- مساحت اجزاء

- یک لیست از لایه ها که از طرف یک شروع می شود، طرف یک توافق شده در محاسبات باید به

- وضوح تعیین شده باشد، برای اجزای پوششی بنا طرف یک باید داخلی ترین لایه باشد،

- مقادیر مقاومت سطح، R_{se} و R_{si} در محاسبات استفاده شده است،

- چهار عنصر از ماتریس انتقال حرارت، Z ؛ سه عدد مختلط بوسیله ای مدولها و آگومانشان به واحد

- زاویه داده شده اند؛ آرگومانها مجازاند همچنین به تناوب زمان وابسته باشند،

- دو هدایت ظاهری گرمایی، به وسیله یمدولها و آرگومانها یشان شرح داده شده اند،

- فاکتور کاهش،

- انتقال گرمایی U_0 که در محاسبات فاکتور کاهش استفاده شده است، شامل انتقال گرمایی پلهای

گرمایی است که مطابق با استاندارد بند ۱-۲ محاسبه شده است، همچنین باید هر جا ممکن باشد محاسبه

شود، اگر این ممکن نباشد، باید به وضوح در گزارشی که انتقال گرما شامل پلهای گرمایی نمی شود ایجاد شده و برای محاسبات انتقال گرمایی حالت ثابت مناسب نمی باشد.

ماتریس انتقال گرما از اجزای معکوس کننده همچنین باید برای گسترش اجزای بنا تهیه شود که باید در جهت هر طرفی که در تماس با محیط خارج است به کار رود.
اگر محاسبه برای چندین دوره انجام شده است، نتایج باید برای هر دوره تهیه شود.

۲-۸ خلاصه‌ی نتایج

اگر فقط بعضی مشخصات گزارش محاسبات برای استفاده به عنوان ویژگیهای محصول استخراج شده باشد، در آن هنگام آنها باید شامل کمترین ظرفیتهای گرمایی و فاکتور کاهش برای یک دوره از یک روز باشند. برای اجزائی که فاکتور کاهش نمی‌تواند محاسبه شده باشد، هدایت گرمایی متناوب به جای فاکتور کاهش داده شده است.

پیوست الف

(الزامی)

محاسبات ساده شده ی ظرفیت گرمایی

الف-۱ حدود استفاده

روش های ساده شده ای که فقط برای اجزای مسطح به کار می روند توصیف شده است. که بر مبنای عمق نفوذ از یک موج گرمایی برای مصالح مجاور سطح محاسبه شده اند. (به معادله ۱۱ مراجعه شود) هنگامی که دقت محاسبات در درجه ی دوم اهمیت است یعنی هنگامی که یک برآورد تخمینی از اینرسی گرمایی داخلی از کل یک ناحیه ی گرمایی لازم شده است روش های ساده شده ی زیر می تواند استفاده شده باشد. بهتر حال این تخمینها نمی تواند برای تعیین مشخصات گرمایی داخلی یک محصول استفاده شده باشد. نتایج به دست آمده به وسیله یروش های شرح داده شده در این استاندارد باید به همراه یک یادآورید که آنها تقریباً مطابق با این پیوست و توضیحات استفاده شده محاسبه شده اند.

الف-۲ روش های ساده شده

الف-۲-۱ روش کار

ظرفیت گرمایی اجزای بدون محاسبه ی مقاومت سطح محاسبه شده است، از مناسب ترین تخمین ها مطابق زیر بند الف-۲-۲ تا الف-۲-۴ استفاده کنید. سپس گزارش مقاومت سطح مطابق بالف-۳ به دستمی آید.

الف-۲-۲ تقریب لایه ی نازک

اگر برای طرف مطرح شده اولین لایه اجزای بنا یک ضخامت d کمتر از نصف عمق نفوذ متناوب آن داشته و اگر لایه ی بعدی یک لایه عایق باشد، در آن هنگام می توان فرض کرد که لایه ی اول ایزوترومیال است و ظرفیت گرمایی سطحی اجزایی طرف مطرح شده به صورت زیر تعیین می شود.

$$(الف-۱) \quad \kappa_m = d\rho c$$

الف-۲-۳ تخمین حد وسط نیمه بینهایت

اگر طرف مطرح شده لایه ی اول بنا یک ظرفیت بزرگتر از ۲ برابر عمق نفوذ متناوب داشته باشد، در آن وقت لایه می تواند به عنوان ضخامت نامحدود در نظر گرفته شده و ظرفیت گرمایی سطحی اجزای برازی طرفی که مطرح شده به وسیله ی زیر فرض شده است.

$$(الف-۲) \quad \kappa_m \cong \frac{\delta \rho c}{\sqrt{2}}$$

پیوست ب

(اطلاعاتی)

اصول روش و مثالهایی از کاربرد

ب-۱ اصول

روش داده شده در این استاندارد ملی مبنی بر هدایت گرمایی اجزای بنا مرکب از چندین سطح موازی لایه های همگن تحت شرایط مرزی سینوسی منظم و یک جریان گرمای ابعادی می باشد.

آن به این معنی است که در هر وضعیتی از اجزا تغییرات دما می تواند مانند زیر مدلسازی شده باشد.

$$\theta_n(x, t) = \bar{\theta}(x) + \frac{\hat{\theta}_{+n}(x)e^{j\omega t} + \hat{\theta}_{-n}(x)e^{-j\omega t}}{2} \quad (ب-۱)$$

و تغییرات چگالی نرخ جریان گرما به صورت زیر می باشد.

$$q_n(x, t) = \bar{q}(x) + \frac{\hat{q}_{+n}(x)e^{j\omega t} + \hat{q}_{-n}(x)e^{-j\omega t}}{2} \quad (ب-۲)$$

با

$$\hat{\theta}_{\pm}(x) = |\hat{\theta}(x)|e^{\pm j\psi} \quad \text{و} \quad \hat{q}_{\pm}(x) = |\hat{q}(x)|e^{\pm j\psi} \quad (ب-۳)$$

تغییرات دما و چگالی نرخ جریان گرما در اطراف آن میانگین مقادیر متغیرهای $\bar{\theta}$ و \bar{q} است، که به هم مرتبط شده اند.

$$\bar{q} = U(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) \quad (ب-۴)$$

در اینجا U انتقال گرما از اجزای می باشد.

یک معادله ای ابعادی از گرما می تواند برای یک لایه ای مجزا از مصالح همگن با شرایط حدی مرزی حل شده باشد. (به [1] در کتاب شناسی مراجعه کنید) راه حل می تواند به وسیله ای معادله ای (۱۲) نمایش داده شده باشد اجزایی وسیله ای ماتریس انتقال حرارت نمایش داده شده اند.

در آن هنگام ماتریس انتقال گرمای Z اجازه ای محاسبه ای تغییرات دما را می دهد، θ_2 و چگالی نرخ جریان گرما q_2 روی یک طرف اجزایینا هنگامی که خواص آنها θ_1 و q_1 روی طرف دیگر شناخته شده هستند.

اجزای ماتریس انتقال گرما تفسیر فیزیکی زیر را نمایش می دهند. هر جزی یک عدد مرکب است، که میتواند به وسیله یمدول $|Z_{mn}|$ و آرگومانش $\arg(Z_{mn})$ نمایش داده شده باشد.

فاکتور اندازه ای دما است، یعنی، دامنه ای تغییرات دما روی طرف ۲ که از اندازه ای $1k$ روی طرف ۱ نتیجه شده است.

- ۱۱ اختلاف فاز بین دمای روى دو طرف اجزای می باشد،

- |اندازه چگالی نرخ جریان گرما از میان ضلع ۲ را می دهد که از تغییر متناوب دما روی طرف ۱ به اندازه ای $1k$ نتیجه می شود،

- \square_{21} اختلاف فاز بین چگالی نرخ جریان گرما از میان طرف ۲ و دمای طرف ۱ است،
- $|Z_{12}|$ اندازه‌ی دما روی طرف ۲ را می‌دهد هنگامی که طرف ۱ در معرض چگالی مختلف متناوب نرخ جریان گرما به اندازه‌ی w/m^2 است،
- \square_{12} اختلاف فاز بین دمای طرف ۲ و چگالی نرخ جریان گرما طرف ۱ است،
- $|Z_{22}|$ اندازه‌ی فاکتور نرخ جریان گرما است یعنی اندازه تغییرات چگالی نرخ جریان گرما از میان طرف ۲ که از یک اندازه چگالی نرخ جریان گرما از w/m^2 نتیجه می‌شود،
- \square_{22} اختلاف فاز بین چگالیهای نرخ جریان گرما از میان هر طرف اجزای می‌باشد،

$$\Delta t_{ij} = \frac{T}{2\pi} \varphi_{ij} = \frac{T}{2\pi} \arg(Z_{ij}) \quad (b-5)$$

ب-۲ مثال‌های کاربردی

ب-۲-۱ کلیات

کاربرد مشخصات گرمای دینامیکی زیاد است. بعضی مثال‌های کلی در ب-۲-۲ و ب-۳-۲ داده شده است.

ب-۲-۲ یک جزی

ماتریس انتقال گرمای Z می‌تواند برای هر کاربرد مرتبط با شرایط مرزی روی یک طرف به دما و نرخ گرما روی طرف دیگر همان طور که در معادله‌ی (۱۲) داده شده است استفاده شده باشد. برای مثال نرخ جریان گرمای مورد نیاز برای نگهداری یک دمای ثابت روی طرف ۲ با وجود تغییرات دما و نرخ جریان گرما روی طرف ۱ به صورت زیر داده شده است.

$$(b-6) \hat{q}_2 = Z_{21}\hat{\theta}_1 + Z_{22}\hat{q}_1$$

به همین نحو، اختلاف دما روی طرف ۲ می‌تواند به صورت زیر به دست آمده باشد.

$$(b-7) \hat{\theta}_2 = Z_{11}\hat{\theta}_1 + Z_{12}\hat{q}_1$$

اختلاف نرخ جریان گرمای به دست آمده اجزای روی هر دو طرف می‌تواند از تغییرات دما به وسیله‌ی حل معادله‌ی (۱۲) برای چگالیهای نرخ جریان گرما محاسبه شده باشد.

تغییرات نرخ جریان گرما که به اجزای هر دو طرف وارد می‌شود می‌تواند از تغییرات دما به وسیله‌ی حل معادله‌ی (۱۲) برای چگالیهای نرخ جریان گرما محاسبه شده باشد.

تغییرات نرخ جریان گرما که به اجزای هر دو طرف وارد می‌شود می‌تواند از تغییرات دما به وسیله‌ی حل معادله‌ی (۱۲) برای چگالی هایی از نرخهای جریان گرما محاسبه شده باشد.

$$(b-8) \begin{pmatrix} \hat{q}_1 \\ \hat{q}_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{Z_{12}} \begin{pmatrix} -Z_{11} & 1 \\ 1 & -Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \end{pmatrix}$$

سمت خارج است.

هدايت ظاهرى گرمایی دامنه چگالی نرخ جریان گرما روی یک طرف منتج از یک اندازه دمای واحد روی همان طرف است، هنگامی که اندازه‌ی دما روی طرف دیگر صفر است.

$$Y_{11} = \frac{\hat{q}_1}{\hat{\theta}_1} \quad \text{برای } \hat{\theta}_2 = 0 \quad \text{بنابراین} \quad (ب-۹)$$

$$= Y_{22} - \frac{z}{\hat{\theta}_1} \quad \text{برای } \hat{\theta}_1 = 0 \quad \text{بنابراین} \quad (ب-۱۰)$$

انتقال گرمای متناوب اندازه چگالی نرخ جریان گرما روی یک طرف است هنگامی که اندازه‌ی دما روی آن طرف صفر است و تغییرات دما روی طرف دیگر وجود دارد:

$$Y_{12} = \frac{\hat{q}_2}{\hat{\theta}_1} \quad \text{برای } \hat{\theta}_2 = 0 \quad \text{بنابراین} \quad (ب-۱۱)$$

یادآوری - به طور کلی Y_{11} با Y_{22} متفاوت است، اما همیشه $Y_{12} = Y_{21}$ است.

ظرفیتهای گرمایی توانایی اجزای یک بنا برای نگهداری انرژی از هر طرف رانشان می‌دهد هنگامی که دمای متناظر متناوباً تغییر می‌کند.

ظرفیت گرمایی اجزای C_1 روی یک طرف ذخیره خواهد شد، روی طرف دیگر مقدار انرژی مساوی است با:

$$Q = 2C_1 |\hat{\theta}_1| \quad (ب-۱۲)$$

از یک دوره‌ی تناوب تغییر دما در طرف ۱ از $|\hat{\theta}_1|$ -تا $|\hat{\theta}_1| + r$ در طول یک نصف دوره نتیجه بگیرید. همان برای طرف ۲ به کار می‌رود.

ب-۲-۳-چندین جزی

هنگامی که چندین جزی در همان ناحیه با هم مرتبط شده‌اند،

$$\hat{\theta}_j = \sum_k (L_{11,k} \hat{\theta}_j - L_{12,k} \hat{\theta}_k) \quad (ب-۱۳)$$

که در آنجا مجموع تمام ناحیه‌ها k است که از نظر گرمایی به ناحیه‌ی j متصل هستند. ضریب هدایت گرمایی می‌تواند مستقیماً به وسیله یحل معادله‌ی وابسته به زمان به سبب انتقال گرمایی که از یک مدل هندسی مطابق با استاندارد بند ۳-۲ استفاده می‌کند محاسبه شده باشد. برای اجزای در یک چنین ابعادی جریان گرما می‌تواند فرض شده باشد، اگر چه روش محاسبه در این استاندارد ملی می‌تواند برای به دست آوردن $L_{mn,k}$ تهییه شده باشد.

برای مثال اجازه دهید که خارج‌بنا را یک محفظه‌ی سرد و شامل ۲ نوع اجزای دیوارها و سقف در نظر بگیریم. فرض کنید که این اجزای یک اینرسی کوچک گرمایی نسبی داشته باشند، فقط تغییرات روزانه در نظر گرفته شده است. همچنین فرض می‌شود که جرم اجزای موجود در محفظه‌ی سرد نباید به حساب آمده باشند و اینکه محفظه‌ی سرد از زمین به خوبی عایق شده باشد. بنابراین، تا آنجا که پلهای گرمایی می‌توانند نادیده گرفته شده است. میانگین توان خنک سازی روزانه $\bar{\Phi}_i$ مستلزم نگهداری یک دمای ثابت داخلی است

$$\bar{\theta}_e \quad \text{است،}$$

$$\bar{\Phi}_i = (A_w U_w + A_r U_r) (\bar{\theta}_e - \theta_i) \quad (ب-۱۴)$$

که در آنجا

A_r مساحت سقف است،

انتقال گرمای حالت ثابت سقف است.

A_w مساحت دیوار است

انتقال گرمایی حالت ثابت دیوار است.

توان خنک سازی منفی به معنی توان گرمایشی است.

به هر حال قدری توان اضافی می تواند برای نگهداری یک درجه حرارت داخلی ثابت با وجود تغییرات روزانه دمای خارجی لازم باشد. اگر این تغییر به عنوان دامنه θ_e سینوسی در نظر گرفته شده باشد، اندازه $\hat{\Phi}_i$ توان اضافی به صورت زیر خواهد بود.

$$(b-15) \quad \hat{\Phi}_i = |A_w Y_{12,w} + A_r Y_{12,r}| \hat{\theta}_e$$

در جایی که Y_{12} در یک مدت زمان ۲۴ ساعته و با داخلی ترین لایه به عنوان لایه اول محاسبه شده است. در این موقع دوباره پلهای گرمایی نادیده گرفته شده است پس کل بار خارجی بیشینه به صورت زیر خواهد بود.

$$(b-16) \quad \Phi_p = \bar{\Phi}_i + \hat{\Phi}_i$$

یادآوری ۱- مفروضات ساده در این مثال به منظور ساده بودن ایجاد شده و مورد نیاز نیستند. برای مثال، حل معادله i انتقال گرما برای جریان گرمای ۲ بعدی و ۳ بعدی اجزاء می دهد انتقال گرما به زمین و پلهای گرمایی به حساب آورده شود. اینرسی گرمایی بیشتر و تغییرات دمای خارجی غیر سینوسی (اما متناوب) می تواند به وسیله یاستفاده از نمایش جریان دما و جریان گرما به عنوان سریهای فوریه با چندین دوره ای زمانی (روزها، ...، ۸، ۴، ۲، ۱) در نظر گرفته شده باشند.

یادآوری ۲- جذب تشعشع خورشیدی روی سطح خارجی می تواند به عنوان یک جریان گرمای خارجی یا توسط معرفی یک دمای تابشی معادل به حساب آمده باشد.

پیوست پ

(اطلاعاتی)

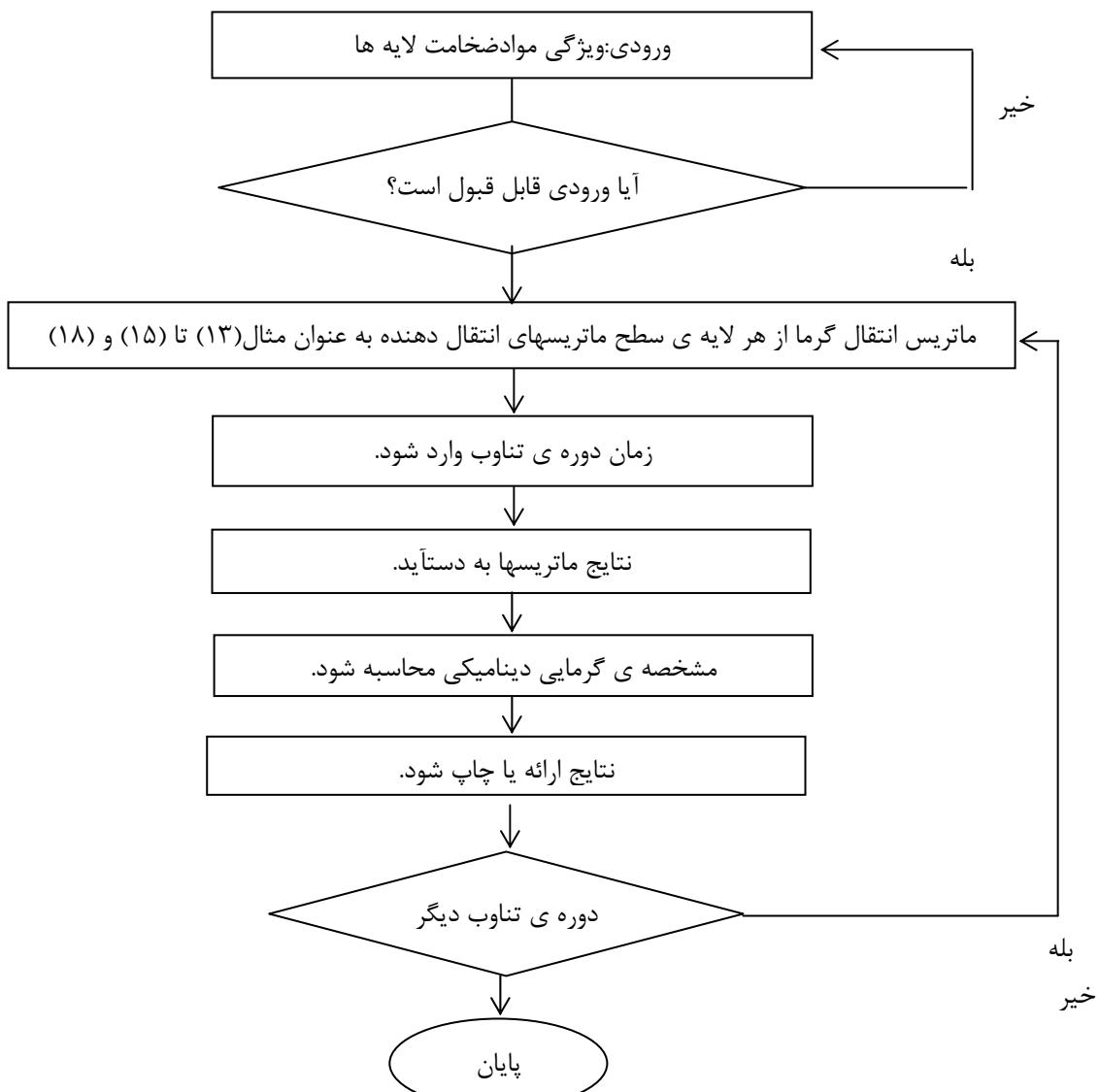
اطلاعات بیشتر برای برنامه نویسی کامپیوتری

پ-۱ کلیات

محاسبات بر طبق این استاندارد ملی معمولاً در یک کامپیوتر انجام خواهد شد. شرح ذیل می تواند به برنامه نویس کمک کند.

پ-۲ نمودار روش محاسبه

شکل پ-۱ ترتیب عملیات از بالا به پایین رانشان می دهد.



پ-۳ نمایش اعداد مختلط

در این استاندارد ملی محاسبه‌ی اعداد مختلط مورد نیاز می‌باشد. این می‌تواند در یک کامپیوتر انجام شود، در صورتی که شامل اعداد مختلط نباشد، از روش ارائه شده‌ی زیر استفاده شود.

اگر a, b به ترتیب قسمتهای حقیقی و موهومی یک عدد مختلط Z باشند این عدد می‌تواند در نمایش ماتریسی نشان داده شده باشد:

$$(پ-۲) Z = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix}$$

این یک عدد مختلط را به ماتریس حقیقی مرتبه ۲ و یک ماتریس مختلط مرتبه ۲ را به یک ماتریس حقیقی مرتبه ۴ تغییر می‌دهد. پس محاسبات با اعداد مختلط به وسیله ی محاسبه‌ی ماتریس قراردادی جایگزین شده است. ماتریس به دست آمده از محاسبات، در ردیفهای منحصر به فرد شامل قسمتهای حقیقی و موهومی از عدد مختلط متناظر می‌باشد. مدولها و آرگومانهای یک عدد مختلط می‌تواند از قسمتهای حقیقی و موهومی به دست آمده باشد توسط

$$(پ-۳) |Z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

با فرض اینکه تابع آرک تانژانت در محدوده $-\pi/2 < \arg(z) < \pi/2$ ارزیابی شده است، $\arg(z)$ فرمول مناسب در جدول پ-۱ به دست آمده است.

جدول پ-۱ آرگومان عدد مختلط

برای انتقال گرمای متناوب $\arg(z)$	برای هدایت ظاهری $\arg(z)$	مقادیری از a, b
.	.	$b=0$
$\arctan(b/a) - \pi$	$\arctan(b/a)$	$a>0 \text{ و } b>0$
$-\frac{3\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$a=0 \text{ و } b>0$
$\arctan(b/a) - \pi$	$\arctan(b/a) + \pi$	$a<0 \text{ و } b>0$
$\arctan(b/a)$	$\arctan(b/a) + \pi$	$a>0 \text{ و } b<0$
$-\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{2}$	$a=0 \text{ و } b>0$
$\arctan(b/a) - \pi$	$\arctan(b/a) + \pi$	$a<0 \text{ و } b<0$

پیوست ت

(اطلاعاتی)

مثالها

ت-۱ مثال ۱: اجزای لایه ای مجزا

یک دیوار ۲۰۰ mm از بتن همگن ساخته شده است. مشخصات فیزیکی آن به صورت زیر هستند.

- هدایت گرمایی، $\lambda_w/(m.k)=1.8$

- چگالی، $\rho=2400 \text{ kg/m}^3$

- ظرفیت گرمایی ویژه، $c=1000j/(kg.k)$

سپس برای یک دوره ۲۴ ساعته:

- عمق نفوذ متناوب و $\delta=0.144m$

پس اجزای انتقال گرمایی لایه‌ی بتن به صورت زیر هستند:

$$\begin{aligned} Z_{11} &= 0.3788 + 1.858j & Z_{12} &= -0.09725 - 0.0754j \\ Z_{21} &= 22.16 - 30.55j & Z_{22} &= 0.3788 + 1.858j \end{aligned}$$

مقاومت سطح را در داخل w/k و در خارج $0.04 \text{ m}^2 \cdot k/w$ به حساب آورده و ماتریس انتقال گرما از دیوار به صورت:

$$\begin{aligned} Z_{11} &= -0.508 + 3.08j & Z_{12} &= -0.046 - 0.545j \\ Z_{21} &= 22.16 - 30.55j & Z_{22} &= -2.502 + 5.830j \end{aligned}$$

ماتریس انتقال حرارت را مطابق با معادلات بندهای ۳ تا ۸ این استاندارد ملی حل کنید نتایج در جدول ت-۱ ارائه شده است.

جدول ت-۱ مشخصات گرمایی پویا برای مثال ۱

خصوصیات	مدولها	زمان تاخیر
هدایت ظاهری گرمایی داخلی، Y_{11}	$5/70 \text{ w/m}^2 \cdot k$	۰/۹۵
هدایت ظاهری گرمایی خارجی، Y_{22}	$11/59 \text{ w/m}^2 \cdot k$	۱/۸۷
هدایت ظاهری گرمایی داخلی، Y_{12}	$1/83 \text{ w/m}^2 \cdot k$	-۵/۶۸
ظرفیت گرمایی سطحی داخلی، K_1	$86 \text{ kj/m}^2 \cdot k$	-
ظرفیت گرمایی سطحی خارجی، K_2	$171 \text{ kj/m}^2 \cdot k$	-
انتقال گرما، U	$3/56 \text{ w/m}^2 \cdot k$	-
فاکتور کاهش، f	$0/514$	-

ظرفیتهای گرمایی سطح (بدون مقاومت سطح) به صورت زیر هستند:

- مقادیر چنین است:

- داخلی: $kj/(m2.k)k_1=224$

- خارجی: $kj/(m2.k)k_2=224$

- تقریب الف-۴-۲ (ضخامت موثر):

- داخلی: $kj/(m2.k)k_1=240$

- خارجی: $kj/(m2.k)k_2=240$

ظرفیتهای گرمایی سطح (با مقاومت سطح) به صورت زیر هستند:

مقداری چنین است:	-
داخلي: $kj/(m^2.k)k_1=86$	-
خارجى: $kj/(m^2.k)k_2=171$	-
تخمين الف-۴-۲ (ضخامت موثر):	-
داخلي: $kj/(m^2.k)k_1=97$	-
خارجى: $kj/(m^2.k)k_2=197$	-

ت-۲ مثال ۲: اجزای چند لایه

یک دیوار بتُنی که از بیرون با 100 mm فوم پلی استایرین عایق شده است و با یک نازک کاری مناسب پوشیده شده است. خواص مصالح در جدول ت-۲ داده شده است. نتایج محاسبات در جدولهای ت-۳ تا ت-۵ وجود دارد.

جدول ت-۲- خواص گرمایی مصالح برای مثال ۲

Σ	δ_m	$a \text{ mm}^2/\text{s}$	$R \text{ m}^2.\text{k/w}$	d_m	$c_j/(kg.k)$	$\rho \text{ kg/m}^3$	$\lambda \text{ w/m.k}$	مصالح
-	-	-	$0/130$	-	-	-	-	سطح داخلي
$1/393$	$0/144$	$0/75$	$0/111$	$0/200$	1000	2400	$1/80$	بتن
$0/618$	$0/162$	$0/95$	$2/500$	$0/100$	1400	30	$0/04$	عایق گرمایی
$0/040$	$0/124$	$0/56$	$0/005$	$0/005$	1500	1200	$1/00$	روکش
-	-	-	$0/040$	-	-	-	-	سطح خارجي

جدول ت-۳- خواص گرمایی مصالح برای مثال ۲

زمان تأخیر(در محدوده ۱۲- ساعت تا $+12$ ساعت)	مدولها	اجزای ماتریس	ماتریس
$8/96$	$98/12$	Z_{11}	ماتریس انتقال گرما
$0/99$	$83/07 \text{ w}/(\text{m}^2.\text{k})$	Z_{21}	
$-3/89$	$16/51 \text{ m}^2.\text{k/w}$	Z_{12}	
$-11/86$	$13/99$	Z_{22}	
$-11/86$	$13/99 \text{ w}/(\text{m}^2.\text{k})$	Z'_{11}	ماتریس معکوس
$-11/01$	$83/07 \text{ m}^2.\text{k/w}$	Z'_{21}	
$8/11$	$16/51$	Z'_{12}	
$8/96$	$98/12$	Z'_{22}	

اختلاف بزرگ هنگامی که اجزای از طرف جرم بالا یا از طرف عایق شده مشاهده شده اند ظاهر می شود.

جدول ت-۴- مشخصات گرمایی پویا برای مثال ۲

زمان تاخیر τ	مدول	خواص
۰/۸۵	۵/۹۴w/(m ² .k)	هدايت ظاهري داخلی Y ₁₁
۴/۰۳	۰/۸۵w/(m ² .k)	هدايت ظاهري خارجي Y ₂₂
-۸/۱۱	۰/۰۶۱w/(m ² .k)	انتقال گرمایی متناوب Y ₁₂
-	۸۲ kj/(m ² .k)	ظرفیت گرمایی سطحی داخلی k ₁
-	۱۲ kj/(m ² .k)	ظرفیت گرمایی سطحی خارجی k ₂
-	۰/۳۵۹w/(m ² .k)	انتقال گرمایی U
-	۰/۱۶۹	فاکتور کاهش f

ظرفیت تحت شرایط هارمونیک(دوره ۲۴ ساعته) کمتر از ظرفیت دراز مدت (حالت ثابت) است که مجموع p, c, d برای هر لایه و یا $493 \text{ kj}/(\text{m}^2.\text{k})$ است.

جدول ت-۵-ظرفیتهای گرمایی سطحی مطابق با محاسبات ساده شده در پیوست الف

ظرفیت گرمایی سطحی با R _s	ظرفیت گرمایی سطحی بدون R _s	خواص
۹۷	۲۴۴	داخلی، نیمه بینهایت
۹۷	۲۴۰	داخلی، ضخامت موثر
۹	۹	خارجی، لایه نازک

هنگامی که مقاومت سطح به حساب آورده شده است، اختلاف کوچکی بین مقادیر محاسبه شده مطابق با بندهای ۳ تا ۸ این استاندارد ملی محاسبه شده است و مقادیر از پیوست الف به دست آمده اند.

پیوست ث

(اطلاعاتی)

کتاب نامه

[1] CARS LAW and JAEGER., Conduction of Heat in Solids, Oxford university press, section 3.7, 1959