فصل اول

انتقال گرما

هدف‌های رفتاری : پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ گرما و نظریه جنبشی مولکولی را توضیح دهد.

۲ــ دما و نظریه جنبشی مولکولی را توضیح دهد.

۳ ــ اندازه‌گیری دما با درجه‌بندی سلسیوس و درجه بندی کلوین را توضیح دهد.

۴ــ واحد سنجش دما را بیان کند.

۵ــ گرمای ویژهٔ اجسام را توضیح دهد.

۶ــ توان گرمایی را توضیح دهد.

۷ــ انتقال گرما را بیان نماید.

۸ــ روش‌های انتقال گرما را توضیح دهد.

۹ــ انتقال گرما از یک جدار را توضیح دهد.

۱۰ــ عایق‌کاری (گرمابندی) را توضیح دهد.

۱ــ انتقال گرما[1]

۱ــ۱ــ گرما[2]

فلاسفهٔ قدیم بر این باور بودند که گرما سیالی (شاره‌ای) نامریی است که از جسم گرم به سوی جسم سرد جریان دارد و برای این سیال اصطلاح کالری را به کار می‌بردند. در ایدهٔ جدید از گرما به عنوان «انرژی حرکت مولکولی» یاد می‌شود و تحت عنوان نظریه «جنبشی مولکولی» نامیده می‌شود.

چون مولکول‌های اجسام، حرکت می‌کنند «انرژی جنبشی» دارند و به سبب وضع و حالتی که نسبت به یکدیگر دارند «انرژی

طبق نظریه مولکولی

۱ــ اجسام از ذرات ریز به نام مولکول تشکیل شده‌اند.

۲ــ مولکول‌ها انرژی جنبشی و پتانسیل دارند.

۳ــ گرما مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی مولکول‌هاست.

۱ــ Heat Transfer

۲ــ Heat

پتانسیل» نیز دارند. وقتی جسمی را گرم می کنیم انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکول‌های آن افزایش می‌یابد. طبق نظریه «جنبشی مولکولی» گرما مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکول‌هاست.

۲ــ۱ــ دما[1]

وقتی به جسمی گرما (انرژی) می‌دهیم سرعت مولکول‌ها و انرژی جنبشی داخلی آن افزایش می‌یابد. این افزایش به صورت افزایش دما متجلی می‌شود برعکس با گرفتن گرما (انرژی) از جسم سرعت مولکول‌ها و دمای جسم کاهش می‌یابد. بنابراین «دمای یک جسم نشانه‌ای از سرعت متوسط مولکول‌های تشکیل دهندهٔ» آن است. براساس نظریهٔ جنبشی مولکولی درصورتی که کاهش انرژی یک جسم تا به صفر ادامه داشته باشد دمای آن به صفر مطلق ($-۲۷۳/۱۵^{\circ}C$) می‌رسد و حرکت مولکولی کاملاً متوقف می‌شود.

دما را نباید با گرما که شکلی از انرژی است اشتباه کرد. دما میزان سرعت مولکول‌های یک جسم را نشان می‌دهد درحالی که گرما نه تنها نشان‌دهندهٔ سرعت حرکت مولکول‌هاست بلکه تعیین‌کنندهٔ تعداد مولکول‌هایی است که تحت تأثیر آن قرار گرفته‌اند.

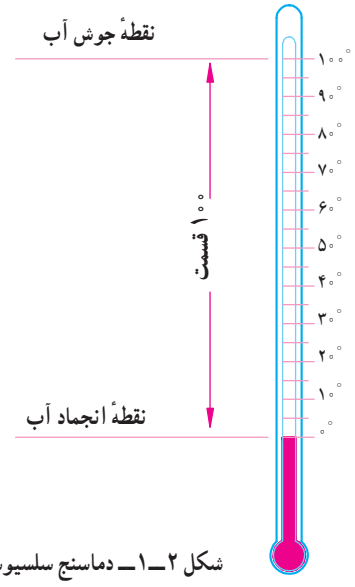
فرض کنید اتاقی که در آن نشسته‌اید به طور کامل بسته و ایزوله باشد کبریتی را روشن کنید دماسنج نصب شده در اتاق را به دقت در نظر بگیرید با وجود این که دمای شعله کبریت بالای $۱۰۰۰^{\circ}C$ است، نمی‌توانید تغییر دمای هوای اتاق را بر روی دماسنج ببینید. حال یک شمش فولادی به وزن ۳۰۰۰ کیلوگرم و دمای $۲۰۰^{\circ}C$ داخل همان اتاق می‌آوریم در مدت کمی بدون نیاز به خواندن ترمومتر افزایش دما را احساس می‌کنید گرچه دمای شعله کبریت خیلی بیشتر از دمای شمش است ولی شمش فولادی گرمای خیلی بیشتر دارد و دمای اتاق را بالا می‌برد.

شکل ۱ــ۱ــ دمای شعله کبریت بیشتر از بلوک فولادی است با وجود این بلوک فولادی گرمای بیشتری را در وجود خود دارد و هوای اتاق را بیشتر گرم خواهد کرد.

۳ــ۱ــ اندازه‌گیری دما

برای سنجش دما از «دماسنج» استفاده می‌شود. دماسنج شیشه‌ای براساس انبساط مایعات در اثر گرما عمل می‌کند. در دماسنج‌های شیشه ای معمولاً از الکل یا جیوه استفاده می‌شود. زیرا دمای انجماد آنها پایین است و ضریب انبساط تقریباً ثابتی دارند.

در شکل ۲ــ۱ دماسنج سلسیوس نشان داده شده است نقطه پایینی آن نقطه انجماد آب بوده و با ۰° نشان داده شده است و نقطه بالایی آن نقطه جوش آب بوده و با ۱۰۰° نشان داده می‌شود بین نقطه بالایی و پایینی به ۱۰۰ قسمت تقسیم شده است و هر قسمت یک درجهٔ سلسیوس ($۱^{\circ}C$) نامیده می‌شود.



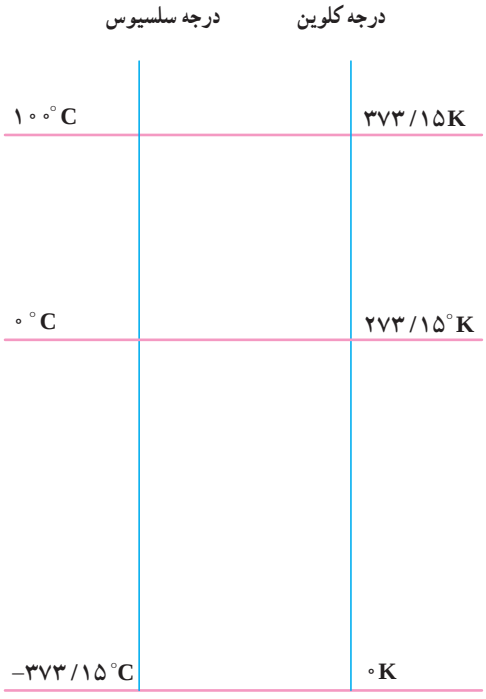
شکل ۲ــ۱ــ دماسنج سلسیوس

۱ــTemperature

پایین‌ترین حد دما $-273/15^{\circ}C$ است که صفر مطلق نامیده می شود. صفر مطلق نقطه پایین درجه‌بندی دیگری است که به آن درجه‌بندی مطلق می گویند. درجه بندی مطلق در سیستم SI درجه‌بندی کلوین نامیده می‌شود و یک درجه آن معادل یک درجه سانتی گراد است.

C درجه سلسیوس و K درجه کلوین است (شکل ۳ــ۱).

$$K = 273 + {}^{\circ}C$$



شکل ۳ــ۱ــ درجه‌بندی کلوین

مثال ۱ : $0^{\circ}C$ و $100^{\circ}C$ چند درجه کلوین است؟

$$K = {}^{\circ}C + 273$$

$$K = 0 + 273 = 273^{\circ}$$

$$K = 100 + 273 = 373^{\circ}$$

مثال ۲ : $273K$ و $173K$ چند درجه سانتی گراد است؟

$$K = C + 273$$

$$C = 273 - 0K = 273 - 273 = 0^{\circ}$$

$$C = 273 - K = 173 - 273 = -100^{\circ}$$

۴ــ۱ــ واحد سنجش گرما

واحد سنجش گرما در سیستم SI همان واحد انرژی یعنی «ژول» است. برای سنجش گرما واحدهای دیگری غیر از ژول به کار می‌رود که متداول‌ترین آنها کالری است که براساس نظر قدما دربارهٔ گرما نامگذاری شده است. یک کالری مقدار گرمایی است که اگر به یک گرم آب (آب با دمای $14/5^{\circ}C$) داده شود دمای آن یک درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. واحد بزرگ‌تر آن کیلو کالری است که معادل ۱۰۰۰ کالری است.

ژول ۴/۱۸۶= کالری
کالری ۱۰۰۰= کیلوکالری
ژول ۴۱۸۶= کیلوکالری
kcal=۴۱۸۶J

۵ــ۱ــ گرمای ویژه

انرژی گرمایی لازم برای تغییر دمای یک کیلوگرم از یک جسم به اندازهٔ یک درجه سانتی گراد (یک درجه کلوین) را گرمای ویژه گویند و به صورت $\frac{J}{kg.^{\circ}K}$ (ژول بر کیلوگرم بر درجهٔ کلوین) بیان می‌شود. جدول ۱ــ۱ گرمای ویژه چند ماده را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می کنید گرمای ویژه آب بیشتر از مواد دیگر است. و یکی از علل استفاده از آب برای انتقال گرما، بالا بودن گرمای ویژه آن نسبت به مواد دیگر است.

محاسبه مقدار گرما : مقدار گرمای گرفته و داده شده از جرم معینی از یک ماده را برای تغییر معینی در دمای آن می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد :

$$q = mc(t_2 - t_1)$$

که در آن q مقدار انرژی گرمایی بر حسب ژول (J)

m= جرم بر حسب کیلوگرم (kg)

جدول ۱ــ۱ــ گرمای ویژهٔ مواد بر حسب $\frac{J}{kg.K}$ در دمای $25^{\circ}C$

ماده	گرمای ویژه
هیدروژن (گاز)	۱۴۳۰۰
آب	۴۱۸۶
آب دریا	۳۹۰۰
الکل	۲۴۰۰
بخار آب $100^{\circ}C$	۲۰۸۰
یخ $10^{\circ}C$	۲۰۵۰
نایلون	۱۷۰۰
طلا	۱۲۹۱
ازت (گاز)	۱۰۴۰
هوا در شرایط اتاق	۱۰۱۲
هوا در صفر سانتی‌گراد	۱۰۰۴
آلومینیوم	۸۹۷
بتون	۸۸۰
سنگ مرمر	۸۸۰
آجر	۸۴۰
سنگ گرانیت	۷۹۰
گرافیت	۷۱۰
شیشه	۶۷۰
الماس	۵۰۹
آهن	۴۵۰
چوب	۴۲۰
مس	۳۸۵
جیوه	۱۴۰
سرب	۱۲۶

C = گرمای ویژه برحسب ژول بر کیلوگرم بر درجه کلوین $(\frac{J}{kg.K})$ یا $(\frac{J}{kg.^{\circ}C})$

t_1 = دمای اوّلیه برحسب درجهٔ کلوین یا سلسیوس (K) یا $(^{\circ}C)$

t_2 = دمای نهایی برحسب درجه کلوین یا سلسیوس (K) یا $(^{\circ}C)$

مثال : ۲۰ کیلوگرم آب $25^{\circ}C$ را تا دمای $75^{\circ}C$ گرم می‌کنیم مقدار گرمای انتقال یافته چند ژول است؟

$$q=(m)(c)(t_2-t_1)$$

$$q=(20kg)(4186\ \frac{J}{kg.^{\circ}C})(75-25)\ ^{\circ}C$$

$$q=4186000J=4186kJ$$

۶ــ۱ــ توان گرمایی

همان‌طور که کار (انرژی) در واحد زمان را توان می‌گویند. انرژی گرمایی در واحد زمان نیز توان گرمایی است. ظرفیت گرمایی دستگاه‌های گرم‌کننده مانند دیگ، هواساز، مشعل و بخاری را برحسب توان گرمایی اندازه‌گیری می‌کنند.

$$\text{توان} = \frac{\text{کار (انرژی)}}{\text{زمان}}$$

$$p=\frac{(E)W}{t}$$

$$\text{توان گرمایی} = \frac{\text{انرژی گرمایی}}{\text{زمان}}$$

$$H=\frac{q}{t}$$

واحد توان گرمایی «ژول بر ثانیه» یا «وات» است. توان گرمایی دستگاه‌های با ظرفیت گرمایی زیاد را برحسب کیلووات بیان می‌کنند.

واحد دیگر متداول برای توان گرمایی کیلوکالری در ساعت $(\frac{kcal}{hr})$ است هر کیلوکالری در ساعت برابر ۱/۱۶ وات است.

$$\frac{J}{s}=W$$

$$1kW=1000W$$

$$\frac{kcal}{hr}=\frac{4186J}{3600s}$$

$$\frac{kcal}{hr}=1/16W$$

$$W=0/86\ \frac{kcal}{hr}$$

مثال ۱ : مقدار گرمای انتقال یافته از یک پره رادیاتور به هوای اتاق در مدت یک ساعت ۵۴۰/۰۰۰ J است. توان گرمایی چند وات است؟

$$H = \frac{q}{t} = \frac{۵۴۰۰۰۰J}{۳۶۰۰s}$$

$$= ۱۵۰\frac{J}{s} = ۱۵۰W$$

مثال ۲ : ۱۵۰W معادل چند $\frac{kcal}{hr}$ است.

$$۱W = ۰/۸۶\frac{kcal}{hr}$$

$$۱۵۰W = ۱۵۰ \times ۰/۸۶\frac{kcal}{hr}$$

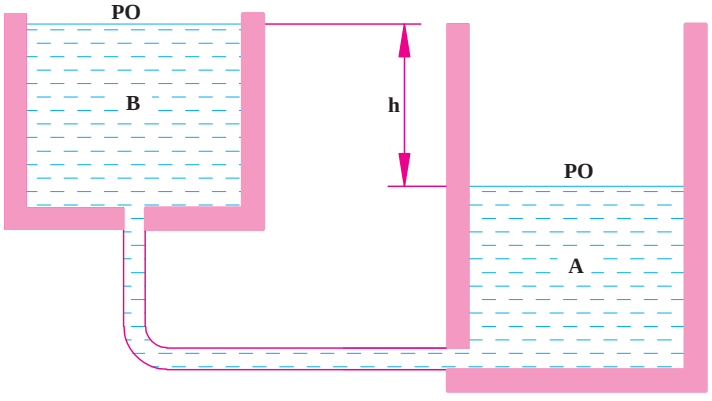
$$= ۱۲۹\frac{kcal}{hr}$$

۷ــ۱ــ انتقال گرما

انتقال گرما از جسمی به جسم دیگر هنگامی انجام می‌شود که بین آنها اختلاف دما وجود داشته باشد. اگر جسم با محیط اطراف خود هم دما باشد بین جسم و محیط، انتقال گرما وجود نخواهد داشت.

انتقال گرما همواره از جسم با دمای بیشتر به جسم با دمای کمتر (از جسم گرم‌تر به جسم سردتر) بوده و هرگز در جهت عکس آن صورت نمی‌گیرد (شکل ۴ــ۱) از این جهت می‌توان گرما را به آبی تشبیه نمود که از یک مخزن در ارتفاع بالاتر به طرف مخزن در ارتفاع پایین‌تر جریان می‌یابد (شکل ۵ــ۱).

شکل ۴ــ۱ــ انتقال گرما از جسم گرم‌تر به جسم سرد



شکل ۵ــ۱ــ جریان آب به دلیل اختلاف ارتفاع

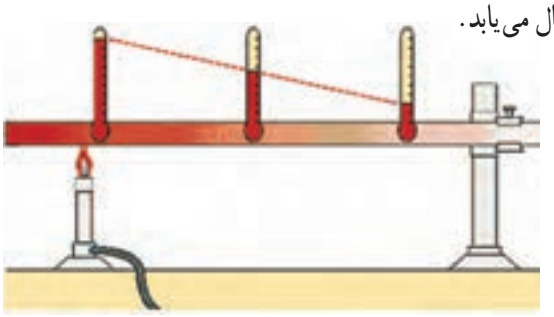
۸ــ۱ــ روش‌های انتقال گرما

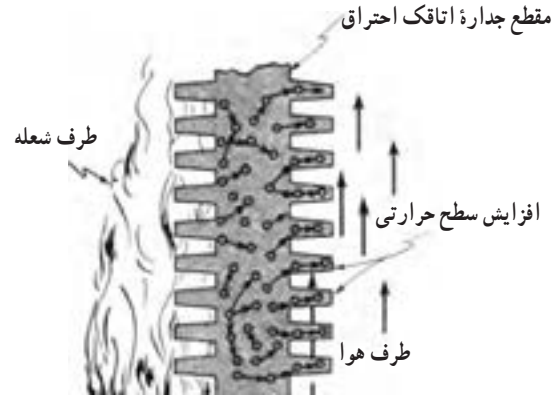
روش‌های انتقال گرما عبارت‌اند از هدایت، جابه‌جایی (وزش) و تابش (شکل ۶ــ۱). هدایت مانند جریان گرما از یک سر گرم میلهٔ آهنی به سر دیگر آن، وزش مانند جریان گرمای باد گرم در صحرا و تابش مانند جریان گرما از خورشید به ما است.

در شکل ۶ــ۱سه روش انتقال گرما نمایش داده شده است.

شکل ۶ــ۱ــ روش‌های انتقال گرما

۱ــ۸ــ۱ــ انتقال گرما به روش هدایت[1] : انتقال گرما در اجسام جامد به روش هدایت انجام می‌شود. در کوره‌های هوای گرم و در دیگ‌ها، گرمای شعله از طریق بدنهٔ فولادی یا چدنی اتاقک احتراق به سیال طرف دیگر که هوا یا آب است انتقال می‌یابد (شکل ۷ــ۱). تئوری جنبشی گرما می‌گوید، گرما حرکت مولکولی را افزایش می‌دهد. وقتی جسم گرم می‌شود میانگین سرعت مولکول‌هایش، به سرعت افزایش می‌یابد. مولکول‌های با انرژی بالا به مولکول‌های نزدیک خود برخورد نموده آنها را نیز به حرکت وا می‌دارند. بدین ترتیب انرژی گرمایی در اجسام جامد انتقال می‌یابد.



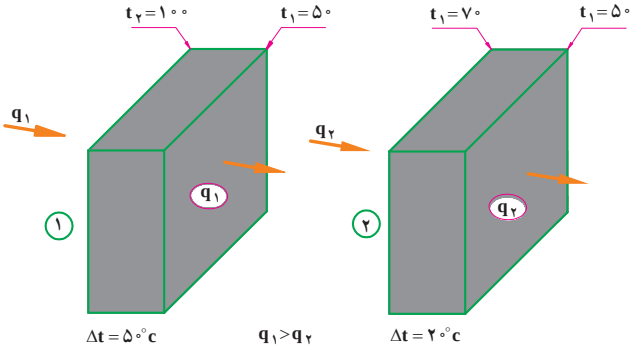


شکل ۷ــ۱ــ انتقال گرما به طریق هدایت

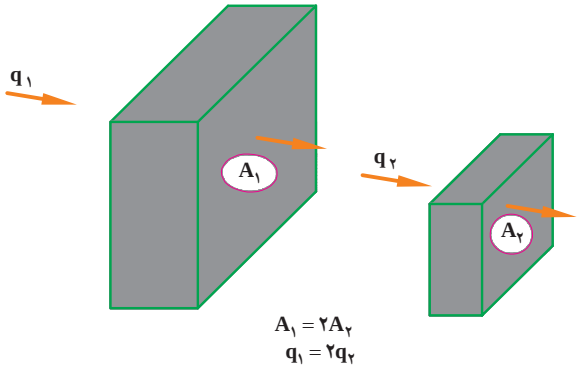
اگر چه تمام اجسام گرما را هدایت می‌کنند و میزان هدایت گرما در همهٔ اجسام یکسان نیست به دلیل اختلاف در ساختمان مولکولی، هدایت در جامدات بیشتر از مایعات و در مایعات بیشتر از گازهاست. چون انتقال گرما به روش هدایت با تماس مستقیم مولکول‌ها انجام می‌شود و فاصلهٔ مولکول‌های گازها از هم زیاد است. انتقال گرما به روش هدایت در گازها مشکل‌تر است.

مقدار گرمای انتقال یافته از یک جسم به عوامل زیر بستگی دارد.

۱ــ اختلاف دمای سطح گرم و سطح سرد (t_2-t_1) : اختلاف دما علت انتقال گرما است بنابراین هر چه (t_2-t_1) بیشتر شود انتقال گرما بیشتر خواهد شد.

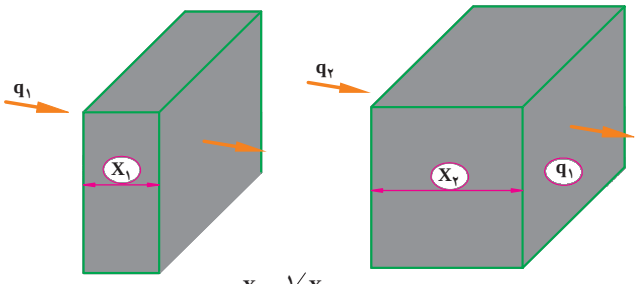


۲ــ سطح مقطع جسم (A) : بدیهی است که هرچه سطح بزرگ‌تر باشد مولکول‌هایی که گرما را منتقل می‌نمایند بیشتر خواهند بود.



۳ــ ضخامت جسم (x) : هدایت گرما با ضخامت جسم یا به عبارت دیگر فاصله بین سطح گرم و سطح سرد رابطه معکوس دارد یعنی هر چه ضخامت جسم کم‌تر باشد هدایت گرما بیشتر خواهد بود.

۱ــ Conduction

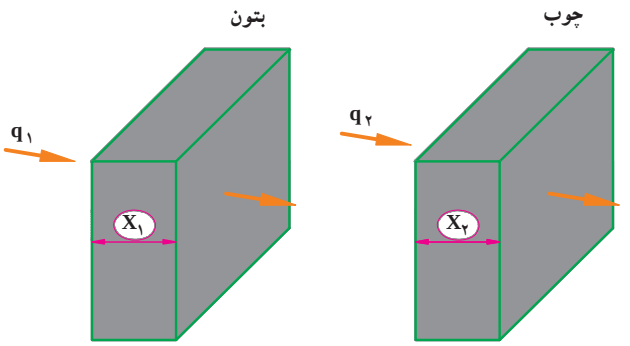


$x_1 = \frac{1}{2} x_2$

$q_1 > q_2$

۴ــ زمان عبور گرما (T) : بدیهی است که هرچه زمان بیشتر باشد مقدار انتقال گرما بیشتر خواهد شد بنابراین می‌گوییم انتقال گرما با زمان (T) رابطه مستقیم دارد.

۵ــ قابلیت هدایت گرمایی یا قابلیت گرما رسانی : تمام مواد نمی‌توانند گرما را با شدت یکسان هدایت نمایند. فلزات هادی یا گرمارسان‌های خوبی هستند. شیشه، آجر، بتن و چوب نسبتاً هادی هستند و چوب پنبه، نمد پشم، پشم معدنی، پلی اورتان و پلی استایرن هادی‌های خیلی ضعیف هستند. هادی خیلی ضعیف را عایق یا گرمابند[۱] می‌نامند.



$X_1 = X_2$

$K_1 > K_2$

$q_1 > q_2$

در جدول ۲ــ۱ قابلیت هدایت گرمایی برخی از مواد آمده است. هر چه مصالح مورد استفاده در ساختمان بیشتر از موادی باشد که قابلیت هدایت گرمایی کمتری دارند، انتقال گرما و اتلاف گرمایی کمتر خواهد بود.

عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش هدایت را می‌توان در فرمول $q = \frac{kAT(t_2 - t_1)}{x}$ خلاصه نمود شکل ۸ــ۱. از آن‌جایی که در محاسبات از توان گرمایی استفاده می‌شود بنابراین با تقسیم دو طرف فرمول به زمان یعنی T خواهیم داشت :

$$\frac{q}{T} = \frac{kA(t_2 - t_1)}{x}$$

$$H = \frac{k}{x} A(t_2 - t_1)$$

در این فرمول

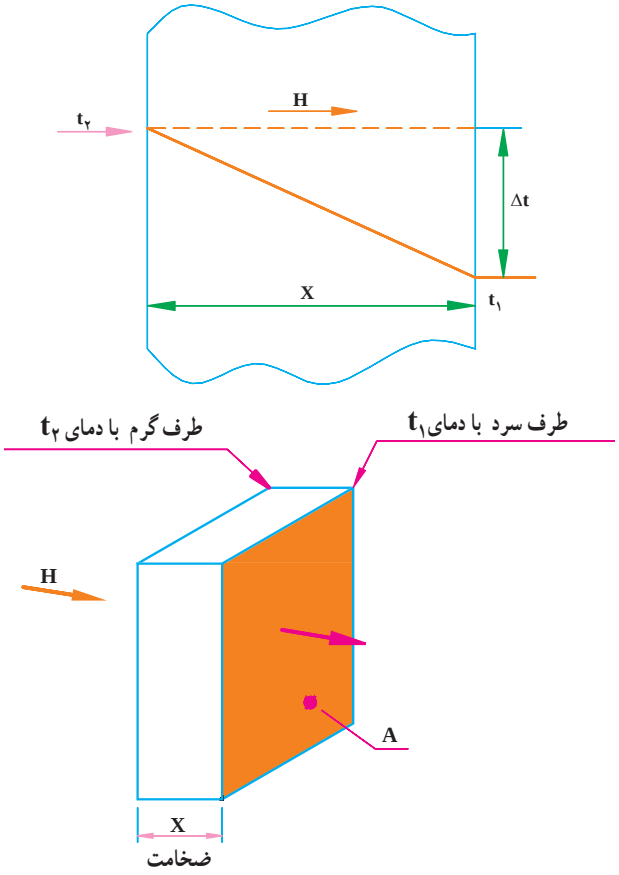
t_1 = دمای سطح طرف سرد جسم به $^{\circ}C$

t_2 = دمای سطح طرف گرم جسم به $^{\circ}C$

A = مساحت سطح در معرض انتقال گرما به m^2

x = ضخامت جسم یا فاصله بین دو سطح گرم و سرد به m (متر)

k = قابلیت هدایت گرمایی (گرمارسانی) که از جدول ۲ــ۱ به دست می‌آید و واحد آن برحسب $\frac{W.m}{m^2.^{\circ}C}$ (وات متر بر متر مربع بر درجه سانتی گراد) بیان می‌شود.



شکل ۸ــ۱ــ عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش هدایت

۱ــ Insulator

جدول ۲ــ۱ــ قابلیت هدایت گرمایی مصالح ساختمانی

نام مصالح	مقدار K $(w.m/m^2k)$	جرم مخصوص (kg/m^3)
پلی یورتان	۰/۰۳۰	۳۰
پشم سنگ	۰/۰۴۰	۳۵
پشم شیشه	۰/۰۵۰	۱۵
پلی‌استایرین (یونولیت)	۰/۰۵۰	۱۰
چوب پنبه متراکم	۰/۱	۵۰۰
تخته خرده چوب (نئوپان)	۰/۱۲	۵۰۰
چوب طبیعی	۰/۱۵	۶۰۰
الیاف چوب (فیبر)	۰/۲	۹۰۰
پی‌وی‌سی	۰/۲	۱۳۰۰
گچ (قطعات پیش ساخته)	۰/۳۵	۹۰۰
پلی‌اتیلن	۰/۴	۱۰۰۰
کف‌پوش لاستیکی	۰/۴	۱۲۰۰
بتن سبک با پوکه طبیعی	۰/۵	۱۵۰۰
گچ	۰/۵	۱۲۰۰
آسفالت خالص	۰/۷	۲۱۰۰
کاشی	۰/۸	
آجر سبک	۰/۸	۱۶۰۰
آسفالت ماسه‌ای	۱	۲۰۰۰
اندود ملات و درزگیر	۱/۱	۱۹۰۰
شیشه	۱/۱	۲۷۰۰
سفال	۱/۲	۲۰۰۰
آجر متوسط	۱/۲	
آجر متراکم	۱/۵	۲۰۰۰
بتن معمولی	۱/۷	۲۳۰۰
موزائیک	۱/۸	۲۲۴۰
سنگ آهکی	۱/۹	۲۳۰۰
ماسه آهکی	۱/۹	۲۵۰۰
سنگ گرانیت	۲/۲	۲۸۰۰
ماسه کوارتزی	۲/۶	۲۶۰۰
سنگ مرمر	۲/۹	۲۶۰۰
فولاد	۵۲	۷۷۸۰
آلومینیم	۲۳۰	۲۷۰۰
مس	۳۸۰	۸۹۳۰

مثال : یک کوره هوای گرم از طریق جداره فولادی خود به ضخامت ۸mm و سطح گرمایی مؤثر $۰/۸m^۲$ گرما را از طرف شعله عبور داده و باعث گرم شدن هوای عبوری از کوره می‌شود در صورتی که دمای سطح طرف شعله $۱۳۵^\circ C$ و دمای سطح طرف هوای گرم $۱۲۴^\circ C$ باشد مقدار گرمای انتقال یافته (یا ظرفیت گرمایی کوره) را حساب کنید. $k = ۵۲\frac{W.m}{m^۲.^\circ C}$ فولاد از جدول ۲ــ۱.

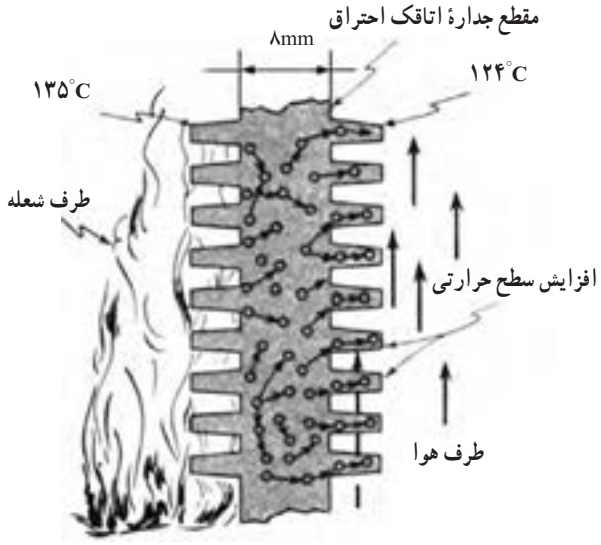
پاسخ :

$x=۸mm=۰/۰۰۸m$

$$H=\frac{k}{x}A(t_۲-t_۱)$$

$$H=\frac{۵۲\left(\frac{W.m}{m^۲.^\circ C}\right)}{۰/۰۰۸(m)}\times ۰/۸(m^۲)\times(۱۳۵-۱۲۴)(^\circ C)$$

$H=۵۷۲۰۰W$



۲ــ۸ــ۱ــ انتقال گرما به صورت وزش[۱] : چنان که قبلاً بیان شد. مایعات و گازها، گرمای قابل توجهی را هدایت نمی‌کنند، انتقال گرما در مایعات و گازها به وسیلهٔ «وزش» یا «جابه‌جایی» یا «هم‌رفت» صورت می‌گیرد.

جریان باد کرهٔ زمین، گرمایی که از روی شعله بالا می‌رود، مکش دودکش بخاری نمونه هایی از «وزش طبیعی»[۲] هستند.

استفاده از یک پمپ برای گردش آب گرم یا سرد یا استفاده از یک بادزن برای به جریان انداختن هوای گرم یا سرد نمونه‌هایی از «وزش اجباری»[۳] هستند.

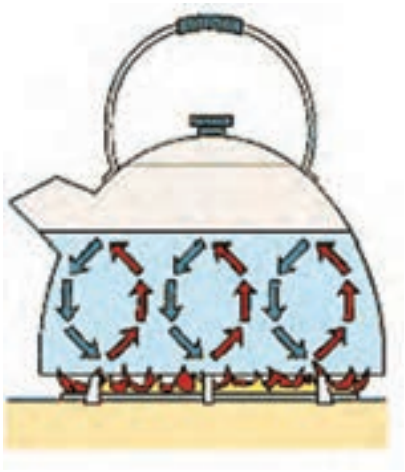
در هر حال وزش، انتقال گرما به وسیلهٔ حرکت مولکول‌ها از یک محل به محل دیگر است. بدین صورت که مولکول‌های گرم شده از یک محل به محل دیگر حرکت کرده و گرما را با خود جابه‌جا می‌کنند.

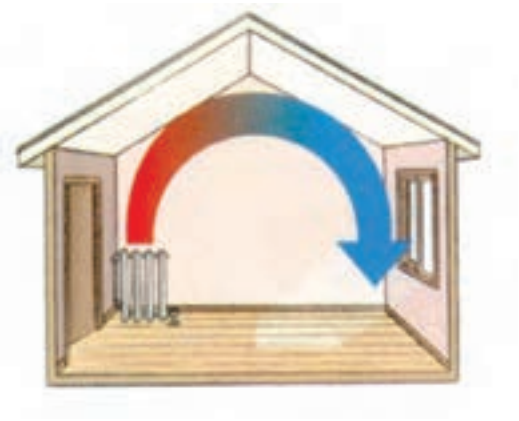
هوا در اثر تماس با وسیلهٔ گرم‌کننده مانند رادیاتور یا بخاری گرم شده، انبساط می‌یابد و در نتیجه سبک‌تر شده، به طرف بالا حرکت می‌کند و هوای سرد و سنگین به آرامی جای آن را می‌گیرد و عمل تکرار می‌شود (شکل ۹ــ۱).

۱ــ Convection

۲ــ Natural Convection

۳ــ Forced Convection





شکل ۹ــ۱ــ انتقال گرما به روش وزش (هم‌رفت، جابه جایی)

در مورد انتقال گرما به صورت وزش، نمی‌توان مانند، هدایت گرمایی رابطه‌ای ساده به دست آورد، زیرا مقدار گرمای مبادله شده بین سیال (گاز یا مایع) و سطح جسم جامد به عوامل متعددی مانند : صاف بودن سطح، عمودی یا افقی قرارگرفتن سطح، چگالی سیال، گرمای ویژه، قابلیت هدایت گرمای سیال، سرعت سیال و ... بستگی دارد. به طور کلی مقدار گرمایی که به روش وزش، بین سطح و سیال مبادله می‌شود از رابطهٔ «نیوتون» به دست می‌آید.

$$H=FA(Ts-Tm)$$

در این رابطه :

Tm= دمای متوسط سیال به درجه $^{\circ}C$ ؛

Ts= دمای سطح جسم داغ به درجه $^{\circ}C$ ؛

A= سطح جسم داغ به m^2؛

F= ضریب انتقال یا ضریب هدایت سطحی به $\frac{W}{m^2.^{\circ}C}$ ؛

H= مقدار گرمای جابه‌جا شده توسط سیال به W است.

مثال : دمای سطح رادیاتور $80^{\circ}C$ و سطح گرمایی آن $6m^2$ است مقدار گرمای انتقال یافته از رادیاتور به هوای اتاق را حساب کنید در صورتی که دمای هوای اتاق $20^{\circ}C$ و ضریب هدایت سطحی $8\frac{W}{m^2.^{\circ}C}$ باشد.

$$H=FA(Ts-Tm)$$

$$H=8(\frac{W}{m^2.^{\circ}C})6(m^2)(80-20)(^{\circ}C)$$

$$H=288.W$$

۳ــ۸ــ۱ــ انتقال گرما به روش تابش : انتقال گرما به روش تابش به صورت حرکت موجی نظیر امواج نور است و بدون دخالت ماده واسطه از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود (شکل ۱۰ــ۱).

بیشترین انرژی گرمایی کرهٔ زمین به روش تابش از خورشید، از فاصلهٔ ۱۵۰ میلیون کیلومتری تأمین می‌شود. تابش خورشید از بالای پشت بام خانه در یک روز روشن در منطقهٔ معتدل بر روی وسایل خانه به اندازه‌ای است که می‌تواند به مدت یک هفته انرژی الکتریکی آن خانه را تأمین نماید. در تابش کامل و عمود اشعه تابشی، زمین معادل $830\frac{W}{m^2}$ انرژی از خورشید دریافت می‌کند.

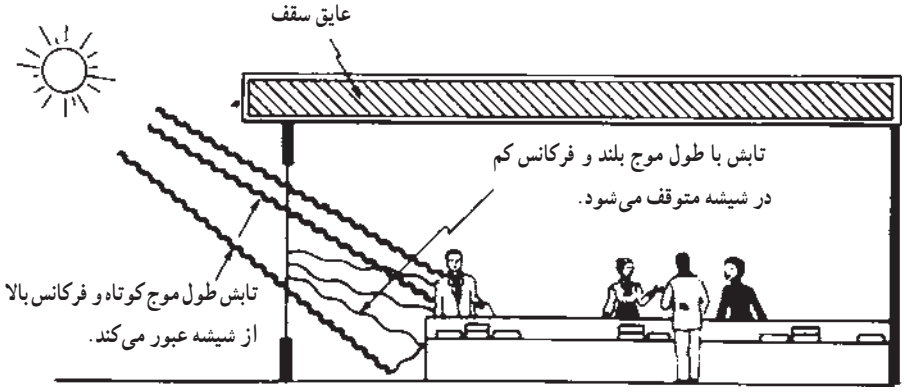
امواج گرمایی براساس دمای جسم منتشرکنندهٔ موج ممکن است قابل رؤیت یا نامرئی باشند مثلاً اگر فلزی به اندازهٔ کافی گرم شود سرخ می‌شود و امواج گرمایی قابل رؤیت (نور) منتشر می‌کند (مانند بخاری برقی شکل ۱۰ــ۱).

شکل ۱۰ــ۱ــ انتقال گرما به روش تابش

هنگامی که امواج تابشی مرئی و نامرئی به جسم برخورد نمایند سه بخش می‌شوند بخشی از جسم عبور می‌کند. بخشی منعکس می‌شود و قسمت دیگر جذب آن می‌گردد. بخشی از امواج تابشی که جذب جسم می‌شوند باعث بالا رفتن دمای آن جسم می‌گردند.

اجسام با رنگ روشن و سطح براق مثل آینه بخش عمدهٔ انرژی تابشی را منعکس می‌کنند در حالی که مواد با سطح تیره و زبر بیشتر انرژی تابشی را جذب می‌کنند. جسم جذب کنندهٔ کامل را جسم سیاه می‌گویند. اجسام شفاف مانند شیشه و هوا بیشتر امواج تابشی را از خود عبور می‌دهند.

دیوارهای خارجی رو به آفتاب ساختمان، به علت جذب انرژی تابشی، دمایی بالاتر از دمای محیط دارند. شیشهٔ پنجره‌ها مقدار زیادی انرژی تابشی را به داخل ساختمان انتقال می‌دهند. انرژی تابشی پس از عبور از شیشه در مواد داخل ساختمان مانند اثاثیه، دیوارها و ... جذب و باعث بالا رفتن دمای آنها می‌شوند. ساختمان با شیشه خارجی زیاد و روبه آفتاب به عنوان یک تله گرمایی عمل می‌کند و در زمستان مطلوب است (شکل ۱۱ــ۱).



شکل ۱۱ ــ۱ــ شیشهٔ خارجی به عنوان یک تلهٔ حرارتی عمل می‌کند و در زمستان مطلوب است.

مقدار تابش به دمای منبع و به نوع سطح بستگی دارد. سطوح سیاه و ناصاف تابش‌کننده و جذب‌کنندهٔ خوبی هستند ولی سطوح براق، صاف و روشن، تابش‌کننده و جذب کنندهٔ ضعیفی هستند چون آنها بیشتر انرژی تابشی را منعکس می‌کنند.

۹ــ۱ــ انتقال گرما از یک جدار

اگر در زمستان بخاری را خاموش کنیم یا شیر رادیاتور را ببندیم پس از مدتی هوای اتاق سرد می‌شود. علت چیست؟

زیرا اتاق نسبت به هوای بیرون دارای دمای بالاتری است در نتیجه گرمای خود را از راه جدارهای خارجی مانند دیوارها و سقف به هوای بیرون انتقال می‌دهد. انتقال گرما از هوای اتاق به هوای بیرون در زمستان از راه یک دیوار در سه مرحله انجام می‌شود(شکل ۱۲ــ۱).

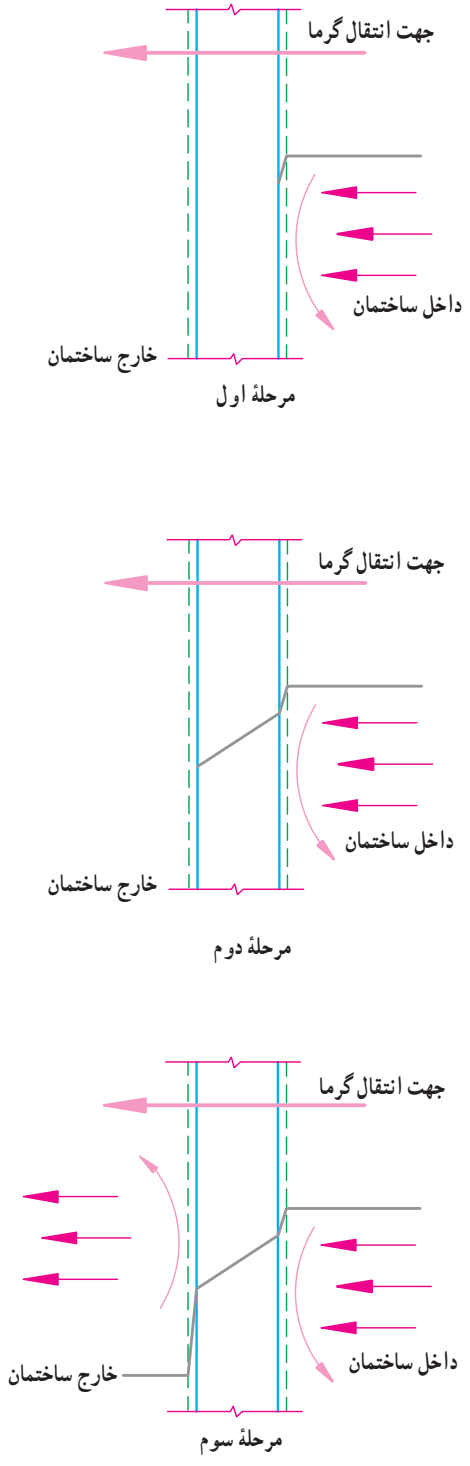
۱ــ انتقال گرما از هوای اتاق به سطح داخلی دیوار که به روش وزش (جابه‌جایی یا هَمرفت) انجام می‌گیرد.

۲ــ انتقال گرما از سطح داخلی دیوار به سطح خارجی آن

که به روش هدایت (رسانایی) انجام می گیرد.

۳ــ انتقال گرما از سطح خارجی دیوار به هوای بیرون که به روش وزش (جابه‌جایی یا همرفت) انجام می گیرد.

مثال ۱ : در نمودار شکل ۱۳ــ۱ مقدار گرمای انتقال یافته از یک متر مربع دیوار را حساب کنید.



شکل ۱۲ــ۱ــ سه مرحله انتقال گرما از یک جدار

حل :

الف) گرمای انتقال از هوای داخل به سطح داخل درصورتی که ضریب انتقال سطحی داخل $F_i = ۸/۱۳ \frac{W}{m^۲.^\circ C}$ باشد.

$$H = F_i A(t_i - t_۱)$$

$$H = ۸/۱۳ \times ۱(۲۲ - ۱۲/۶۶۴)$$

$$H = ۷۵/۹W$$

ب) گرمای انتقال یافته از سطح داخلی دیوار به سطح خارجی دیوار در صورتی که قابلیت هدایت گرمایی دیوار آجری $k = ۱/۲ \frac{W.m}{m^۲.^\circ C}$ باشد.

$$H = \frac{k}{x} \times A \times (t_۲ - t_۱)$$

$$H = \frac{۱/۲}{۰/۱۰۵} \times ۱(۱۲/۶۶۴ - ۶/۰۲۴)$$

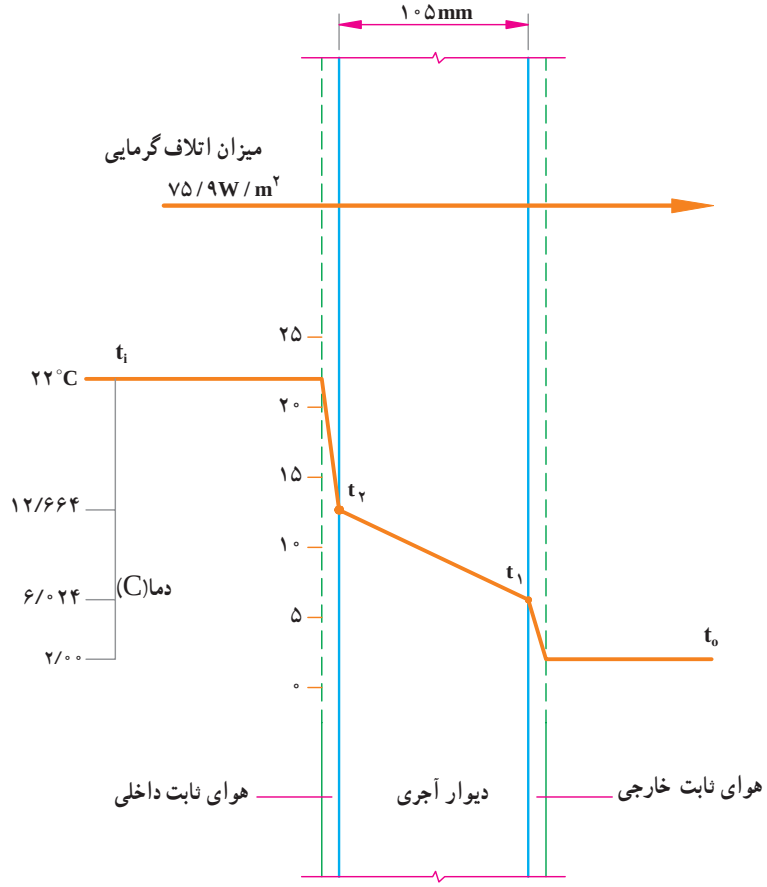
$$H = ۷۵/۹W$$

پ) گرمای انتقال یافته از سطح خارجی دیوار به هوای بیرون درصورتی ضریب انتقالی سطحی $F_o = ۱۸/۸۷ \frac{W}{m^۲.^\circ C}$ باشد.

$$H = F_o A(t_۲ - t_o)$$

$$H = ۱۸/۸۷ \times ۱(۶/۰۲۴ - ۲)$$

$$H = ۷۵/۹W$$



شکل ۱۳ــ۱ــ نمودار تغییر دما در انتقال گرما

همان‌طور که در مثال فوق ملاحظه می‌نمایید مقدار گرمای انتقال در هر سه مرحله برابر است عامل انتقال گرما در مرحله اوّل، $(t_i - t_۲)$ در مرحله دوم $(t_۲ - t_۱)$ و در مرحله سوم $(t_۱ - t_o)$ می‌باشد. از آن‌جایی که تعیین دمای سطح داخل و دمای سطح خارج به‌آسانی میسر نیست برای محاسبهٔ گرمای انتقال یافته براساس اختلاف دمای داخل و دمای خارج $(t_i - t_o)$ عمل کرده و از فرمول زیر استفاده می‌نمایند.

$$H = UA(t_i - t_o)$$

در این فرمول U ضریب کلی انتقال گرمای دیوار برحسب $\frac{W}{m^2.^\circ C}$ است.

در مثال فوق مقدار U باید به اندازه‌ای باشد تا مقدار گرمای به‌دست آمده از فرمول بالا با مقدار گرمای محاسبه شده در سه مرحله برابر باشد :

$$H=UA(t_i-t_o)$$

$$۷۵/۹=U\times۱(۲۲-۲)$$

$$U=\frac{۷۵/۹}{۲۰}=۳/۷۹۶\frac{W}{m^2.^\circ C}$$

برای سهولت محاسبات انتقال گرما مقدار U را برای جدارهای مختلف اعم از دیوار، سقف، کف، پنجره‌ها و درها توسط مؤسسات علمی معتبر محاسبه شده و در جدول‌هایی در اختیار متخصصان قرار گرفته است تا در محاسبه انتقال گرما مورد استفاده قرار گیرد.

مثال ۲ : دمای هوای داخل اتاق $۲۲^\circ C$ و دمای هوای بیرون $-۸^\circ C$ است در صورتی که مساحت دیوار $۱۸m^2$ و ضریب کلی انتقال گرما $U=۱/۵\frac{W}{m^2.^\circ C}$ باشد مقدار گرمای انتقال یافته از هوای داخل به هوای بیرون را حساب کنید.

$$H=UA(t_i-t_o)$$

$$H=۱/۵(\frac{W}{m^2.^\circ C})۱۸(m^2)[۲۲-(-۸)](^\circ C)$$

$$H=۱/۵\times۱۸\times۳۰(\frac{W}{\cancel{m^2}.^\circ C})\times(\cancel{m^2})\times(\cancel{^\circ C})$$

$$H=۸۱۰W$$

هر چه انتقال گرما از داخل ساختمان به بیرون بیشتر شود دستگاه‌هایی که گرمای ساختمان را تأمین می‌نمایند. باید بزرگتر انتخاب شوند و مدت زمان بیشتری کار کنند در نتیجه سوخت بیشتری برای تأمین گرمای ساختمان باید مصرف شود. مصرف سوخت بیشتر به معنای مصرف بیشتر منابع زیرزمینی و اقتصادی کشور است. بنابراین باید به هر طریقی در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود.

انتقال گرما از ساختمان از فرمول $H=UA(t_i-t_o)$ برآورد می‌شود یکی از عوامل مؤثر در انتقال گرما مقدار U جدارهای خارجی است بنابراین برای کم‌کردن مقدار H باید مقدار U را کم‌کرد. برای کم‌کردن مقدار U به دو طریق می‌توان اقدام کرد.

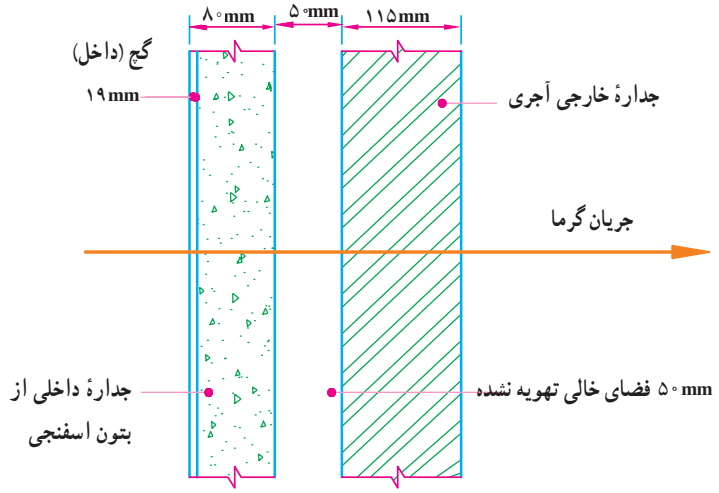
الف) ضخامت دیوار را زیاد کرد هر چه ضخامت دیوار بیشتر شود مقدار U کم می شود مثلاً U برای یک دیوار ۱۱ سانتی‌متری آجری بدون اندود $۳/۲۵\frac{W}{m^2.^\circ C}$ و برای دیوار ۲۲ سانتی‌متری آجری بدون اندود $۲/۲۵\frac{W}{m^2.^\circ C}$ است به همین علت در ساختمان‌های قدیمی از دیوارهای ضخیم استفاده می‌کردند باید توجه داشت که امروزه زیادکردن ضخامت از دو جهت محدودیت دارد. اول این‌که زیادکردن ضخامت جدارها هزینه ساختمان را خیلی بالا می‌برد دیگر این‌که زیادکردن ضخامت دیوارها در زمین‌های با ابعاد کوچک غیرعملی است.

ب) راه دیگر کاهش مقدار U آن است که در ساختار جدارهای خارجی ساختمان از مصالحی با قابلیت هدایت گرمایی (k) خیلی کم موسوم به عایق (گرمابند) استفاده کرد. به طور کلی به موادی که قابلیت هدایت گرمایی آنها کم‌تر از $۰/۰۶۵\frac{W}{m^2.K}$ باشد مواد عایق گفته می‌شود. هم‌چنین برای کاهش مقدار U پنجره‌ها در ساختمان آن از شیشه‌های دو جداره یا چند جداره استفاده می‌شود.

امروزه صرفه‌جویی در مصرف انرژی به قدری اهمیت پیدا کرده است که به عنوان وظیفه ملی از آن یاد می‌شود و مقرراتی وضع شده است که مردم و سازندگان را ملزم می‌نماید که در ساختمان دیوارها و سقف‌ها از مواد عایق استفاده کنند و پنجره‌ها و نورگیرها را از شیشه‌های دو جداره بسازند. مقدار U برای جدارهای خارجی ساختمان نباید از حدود تعیین شده‌ای مثلاً $۰/۶۱\frac{W}{m^2.K}$ بیشتر باشد.

برای مشخص شدن تأثیر مواد عایق (گرمابند) به شکل ۱۴ــ۱ توجه نمایید. شکل ۱۴ــ۱ دیوار یک ساختمان را نشان می‌دهد که در بین لایه‌های آن از ۵۰ میلی‌متر فاصله هوایی استفاده شده است. مقدار U برآورد شده برای این دیوار $۰/۹۵۶\frac{W}{m^2.^\circ C}$ است اگر در ساختمان این دیوار از فاصله هوایی استفاده نمی‌کردیم، مقدار U، $۱/۱۲۹\frac{W}{m^2.^\circ C}$ می‌شد و اگر به

جای فاصله هوایی از ۵۰ میلی‌متر عایق پلی اورتان استفاده نماییم مقدار U، $\frac{W}{m^{۲}.^{\circ}C}$ ۰/۳۱۶ خواهد شد. در صورت استفاده از فاصله هوایی ۱۵/۴ درصد و در صورت استفاده از عایق پلی‌اورتان ۷۲/۱ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی و سوخت حاصل می‌شود.



شکل ۱۴ــ۱ــ انتقال گرما در دیوار با فاصله هوایی

$U=۱/۱۲۹\frac{W}{m^{۲}.^{\circ}C}$ بدون فاصله هوایی

$U=۰/۹۵۶\frac{W}{m^{۲}.^{\circ}C}$ با فاصله هوایی

$U=۰/۳۱۶\frac{W}{m^{۲}.^{\circ}C}$ با عایق اورتان

۱/۱۲۹−۰/۹۵۶=۰/۱۷۳= مقدار صرفه‌جویی در انرژی با داشتن فاصله هوایی

$\text{درصد صرفه‌جویی}=\frac{۰/۱۷۳}{۱/۱۲۹}\times ۱۰۰=۱۵/۴$

۱/۱۲۹−۰/۳۱۶=۰/۸۱۳= مقدار صرفه‌جویی در انرژی با ۵۰ میلی‌متر عایق

$\text{درصد صرفه‌جویی}=\frac{۰/۸۱۳}{۱/۱۲۹}\times ۱۰۰=۷۲/۱$ درصد

۱۰ــ۱ــ عایق‌کاری گرمایی (گرمابندی)

برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و محدود کردن انتقال گرما باید تمام اجزای تشکیل‌دهندهٔ پوستهٔ خارجی عایق گرمایی داشته باشند.

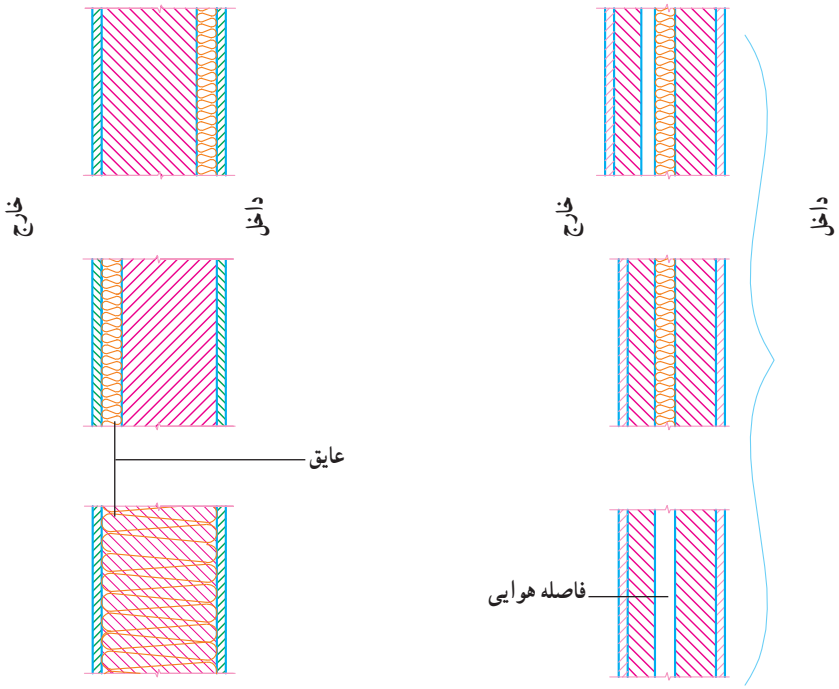
عایق‌کاری گرمایی می‌تواند از داخل، خارج یا به صورت لایه‌ای در میان عناصر ساختمانی اجرا شود، و یا مصالح تشکیل‌دهنده عنصر ساختمانی به تنهایی دارای ضریب هدایت گرمایی اندک بوده و مانند عایق گرمایی عمل نماید.

عایق‌کاری از داخل برای ساختمان‌های با استفاده منقطع (مساجد ــ کلیسا و ...) مناسب‌ترین نوع محسوب می‌شود در این

حالت ساختمان زود گرم می‌شود.

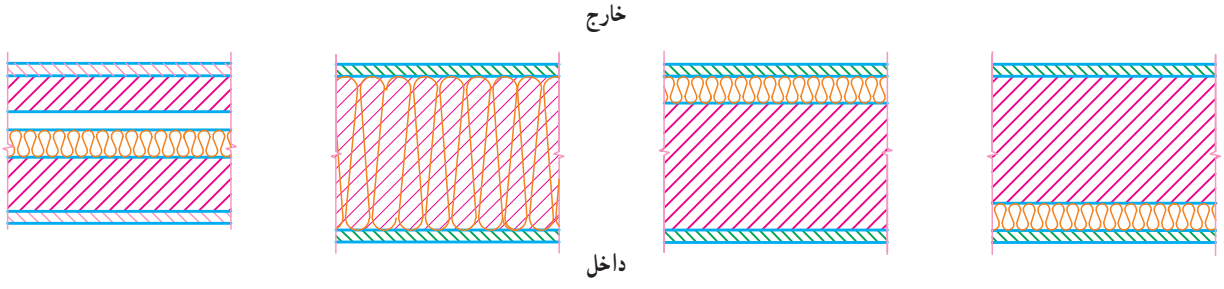
در عایق کاری از خارج، ساختمان دیر گرم می‌شود و باعث می‌شود که نوسان‌های دمای داخل ساختمان کم شود. این روش برای ساختمان با استفاده مداوم (مسکونی و ...) مناسب است.

اگر دیوار بخشی از پوسته خارجی ساختمان باشد گرمابندی آن مانند یکی از شکل‌های ۱۵ــ۱ خواهد بود.



شکل ۱۵ــ۱ــ عایق کاری دیوارها

اگر بام و سقف طبقه پوسته خارجی باشند به یکی از روش‌های شکل ۱۶ــ۱ عایق کاری می‌شوند.



شکل ۱۶ــ۱ــ عایق کاری سقف‌ها

پرسش و تمرین

۱ــ نظریه فلاسفهٔ قدیم در مورد گرما را بیان کنید.

۲ــ نظریه جنبشی مولکولی را بیان کنید.

۳ــ تفاوت گرما و دما را با ذکر یک مثال توضیح دهید.

۴ــ دمای مطلق را براساس نظریه جنبش مولکولی بیان کنید.

۵ــ $25^{\circ}C$ چند درجه کلوین است؟

۶ــ $-100^{\circ}C$ چند درجه کلوین است؟

۷ــ رابطه کالری و کیلو کالری را با ژول بنویسید.

۸ــ گرمای ویژه را تعریف کنید و واحد آن را بیان کنید.

۹ــ در صورتی که گرمای داده شده به اجسام و جرم آن ها برابر باشند کدام‌یک زودتر گرم می‌شوند؟

الف) سرب ب) آهن ج) آجر د) آلومینیم

۱۰ــ کدام یک دیرتر سرد می‌شوند (در شرایط مساوی)؟

الف) شیشه ب) آب ج) الکل د) آهن

۱۱ــ مقدار گرمای مورد نیاز برای گرم‌کردن ۵ لیتر آب از $10^{\circ}C$ به $90^{\circ}C$ را محاسبه کنید.

اگر برای گرم‌کردن آن از یک هیتر برقی ۱۰۰۰ وات استفاده کنیم پس از چند دقیقه آب گرم می‌شود؟

(جواب ۲۷/۹ دقیقه) (جرم حجمی آب $\rho = 1\frac{kg}{lit}$ است)

۱۲ــ اتاقی به طول ۴ متر و به عرض ۳ متر و ارتفاع ۳ متر را در نظر بگیریم اگر مقدار انتقال گرما از اتاق را ناچیز فرض کنیم زمان لازم برای گرم‌کردن هوای اتاق از $0^{\circ}C$ تا $20^{\circ}C$ توسط یک رادیاتور آلومینیمی ۱۵۰۰ واتی (۱۰ پره) را به دست آورید در صورتی جرم حجمی هوا $1/2\frac{kg}{m^3}$ باشد. (جواب ۹/۷ دقیقه)

۱۳ــ انتقال گرما از جسمی به جسم دیگر را بیان کنید.

۱۴ــ انتقال گرما را با انتقال آب با ذکر مثال مقایسه کنید.

۱۵ــ روش‌های مختلف انتقال گرما را با ذکر مثال نام ببرید.

۱۶ــ انتقال گرما به روش هدایت را توضیح دهید.

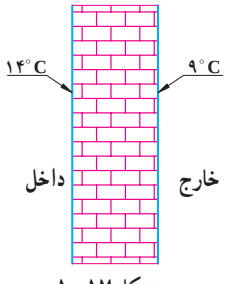
۱۷ــ عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش هدایت را توضیح دهید.

۱۸ــ انتقال گرما به روش هدایت خاص مواد... است.

الف) جامد ب) مایع ج) گاز د) مایع و گاز

۱۹ــ دمای سطح داخلی یک دیوار بتنی $14^{\circ}C$ و دمای سطح خارجی آن $9^{\circ}C$ است (شکل ۱۷ــ۱) در صورتی که ضخامت دیوار ۱۰ سانتی‌متر و مساحت دیوار $20m^2$ باشد گرمای انتقال یافته از دیوار را حساب کنید. ($K = 1/4\frac{W.m}{m^2.^{\circ}C}$ بتن) (پاسخ ۱۴۰۰ وات)

۲۰ــ انتقال گرما به روش وزش را توضیح دهید.



شکل ۱۷ــ۱

۲۱ــ عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش وزش را نام ببرید.

۲۲ــ انتقال گرما از رادیاتور به هوای اتاق به کدام روش انجام می‌گیرد؟

الف) هدایت ب) وزش ج) تابش د) تابش و وزش

۲۳ــ عملکرد شیشه در انتقال انرژی تابشی را توضیح دهید.

۲۴ــ عملکرد اجسام را در مقابل انرژی تابشی بنویسید.

۲۵ــ سه مرحلهٔ انتقال گرما از هوای گرم اتاق به هوای سرد بیرون را توضیح دهید و عامل انتقال گرما در هر سه مرحله را بیان کنید.

۲۶ــ دمای سطح داخلی دیوار اتاق $14^{\circ}C$ و دمای هوای اتاق $21^{\circ}C$ است در صورتی که ضریب سطحی داخل $F_i = 10 \frac{W}{m^2.^{\circ}C}$ باشد مقدار گرمای انتقال یافته از هوای اتاق به سطح دیوار را حساب کنید. مساحت دیوار $20m^2$ است. (جواب $1400W$)

۲۷ــ دمای سطح خارجی دیوار اتاق و دمای هوای بیرون است در صورتی که ضریب هدایت سطح خارج $F_o = 20 \frac{W}{m^2.^{\circ}C}$ باشد مقدار گرمای انتقال یافته از سطح خارجی دیوار به هوای بیرون به روش وزش را حساب کنید مساحت دیوار $20m^2$ است. (جواب $1400W$)

۲۸ــ دمای هوای داخل اتاق $20^{\circ}C$ و دمای هوای بیرون $-10^{\circ}C$ است مقدار گرمای انتقال یافته از دیواری به مساحت $12m^2$ را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

الف) دیوار ۲۲ سانتی‌متری آجری بدون اندود بوده و مقدار U آن $2/25 \frac{W}{m^2.^{\circ}C}$ باشد.

ب) به دیوار مذکور ۵ سانتی‌متر عایق اضافه شود و مقدار U آن برابر $0/6 \frac{W}{m^2.^{\circ}C}$ باشد.

جواب ($216W$ و $810W$)

۲۹ــ اگر در اثر گرمابندی ساختمان مقدار انتقال گرما $100000W$ کم‌تر شود مقدار صرفه‌جویی در مصرف گاز را در یک ماه به متر مکعب محاسبه کنید اگر هر متر مکعب گاز طبیعی در اثر سوختن تقریباً $40000kJ$ گرما تولید کند. (جواب $6480m^3$)

۳۰ــ در اثر عایق‌کاری جدارهای خارجی ساختمان با ۲ سانتی‌متر عایق پلی‌استایرن به طور متوسط ۵۰ درصد از اتلاف گرمایی ساختمان کاسته می‌شود اگر اتلاف گرمایی از یک آپارتمان ۷۰ متر مربعی در تهران $14000W$ باشد :

۱ــ اتلاف گرمایی پس از عایق‌کاری چقدر خواهد شد؟

۲ــ صرفه‌جویی انرژی در یک واحد آپارتمان چند وات خواهد بود؟

۳ــ صرفه‌جویی انرژی در یک ساختمان ۱۰ واحدی چند وات خواهد بود؟

۴ــ صرفه‌جویی در مصرف گاز این ساختمان چند متر مکعب در ماه می‌شود؟

(ارزش گرمایی گاز طبیعی $40000 \frac{kJ}{m^3}$ است) (جواب $4536m^3$)

۳۱ــ با توجه به فرمول $H=UA(t_i-T_o)$ از چه راه‌هایی می‌توان برای بهینه‌سازی مصرف انرژی اقدام نمود؟

۳۲ــ مقدار U دیوار قبل از عایق‌کاری $3/25 \frac{W}{m^2.^{\circ}C}$ و بعد از عایق‌کاری، ۵ سانتی‌متر پلی‌استایرن $0/64 \frac{W}{m^2.^{\circ}C}$ شده است چند درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی شده است؟ (جواب ۸۰/۳ درصد)