

## انتقال گرما

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

- ۱- گرما و نظریه جنبشی مولکولی را توضیح دهد.
- ۲- دما و نظریه جنبشی مولکولی را توضیح دهد.
- ۳- اندازه‌گیری دما با درجه بندی سلسیوس و درجه بندی کلونین را توضیح دهد.
- ۴- واحد سنجش دما را بیان کند.
- ۵- گرمای ویژه اجسام را توضیح دهد.
- ۶- توان گرمایی را توضیح دهد.
- ۷- انتقال گرما را بیان نماید.
- ۸- روش‌های انتقال گرما را توضیح دهد.
- ۹- انتقال گرما از یک جدار را توضیح دهد.
- ۱۰- عایق کاری (گرمابندی) را توضیح دهد.

## ۱- انتقال گرما<sup>۱</sup>

### ۱-۱- گرما<sup>۲</sup>

فلاسفۀ 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 ایدۀ 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

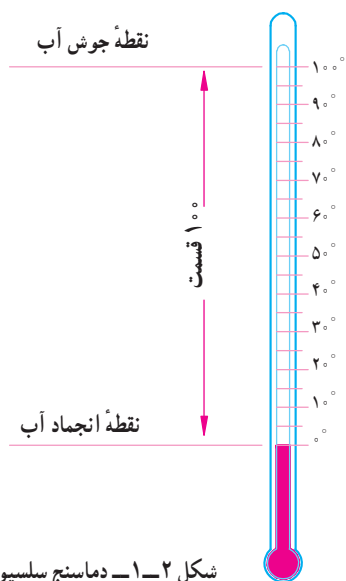
- ۱- اجسام از ذرات ریز به نام مولکول تشکیل شده‌اند.
- ۲- مولکول‌ها انرژی جنبشی و پتانسیل دارند.
- ۳- گرما مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی مولکول‌هاست.

دما را نباید با گرما که شکلی از انرژی است اشتباه کرد. دما میزان سرعت مولکول‌های یک جسم را نشان می‌دهد در حالی که گرما نه تنها نشان‌دهنده سرعت حرکت مولکول‌هاست بلکه تعیین‌کننده 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  $1000^{\circ}\text{C}$  است، نمی‌توانید تغییر دمای هوای اتاق را بر روی دماسنج ببینید. حال یک شمش فولادی به وزن  $3000$  کیلوگرم و دمای  $200^{\circ}\text{C}$  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 ۱-۱ — 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.



شکل ۱-۲ — دماسنج سلسیوس

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

## ۱-۲ — دما

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 دهنده» آن است. براساس نظریه جنبشی مولکولی در صورتی که کاهش انرژی یک جسم تا به صفر ادامه داشته باشد دمای آن به صفر مطلق ( $-273/15^{\circ}\text{C}$ ) می‌رسد و حرکت مولکولی کاملاً متوقف می‌شود.

## ۱-۳ — اندازه‌گیری دما

برای سنجش دما از «دماسنج» استفاده می‌شود. دماسنج شیشه‌ای براساس انبساط مایعات در اثر گرما عمل می‌کند. در دماسنج‌های شیشه‌ای معمولاً از الکل یا جیوه استفاده می‌شود. زیرا دمای انجماد آنها پایین است و ضریب انبساط تقریباً ثابتی دارند. در شکل ۱-۲ دماسنج سلسیوس نشان داده شده است نقطه پایینی آن نقطه انجماد آب بوده و با  $0^{\circ}$  نشان داده شده است و نقطه بالایی آن نقطه جوش آب بوده و با  $100^{\circ}$  نشان داده می‌شود بین نقطه بالایی و پایینی به  $100$  قسمت تقسیم شده است و هر قسمت یک درجه سلسیوس ( $1^{\circ}\text{C}$ ) نامیده می‌شود.

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

#### ۴-۱- 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  $14/5^{\circ}\text{C}$ ) داده شود دمای آن یک درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. واحد بزرگ‌تر آن کیلوکالری است که معادل  $1000$  کالری است.

$$\begin{aligned} \text{ژول} / 186 &= 4 \text{ کالری} \\ \text{کالری} &= 1000 \text{ کیلوکالری} \\ \text{ژول} / 186 &= 4 \text{ کیلوکالری} \\ \text{kcal} &= 4186 \text{ J} \end{aligned}$$

#### ۵-۱- گرمای ویژه

انرژی گرمایی لازم برای تغییر دمای یک کیلوگرم از یک جسم به اندازه یک درجه سانتی‌گراد (یک درجه کلوین) را گرمای ویژه گویند و به صورت  $\frac{J}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{K}}$  (ژول بر کیلوگرم بر درجه کلوین) بیان می‌شود. جدول ۱-۱ گرمای ویژه چند ماده را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید 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 به دست آورد :

$$q = mc(t_f - t_i)$$

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

$m$  = جرم بر حسب کیلوگرم (kg)

پایین‌ترین حد دما  $273/15^{\circ}\text{C}$  است که صفر مطلق نامیده می‌شود. صفر مطلق نقطه پایین درجه‌بندی دیگری است که به آن درجه‌بندی مطلق می‌گویند. درجه‌بندی مطلق در سیستم SI درجه‌بندی کلوین نامیده می‌شود و یک درجه آن معادل یک درجه سانتی‌گراد است.

$C$  درجه سلسیوس و  $K$  درجه کلوین است (شکل ۳-۱).

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

درجه کلوین	درجه سلسیوس
$373/15^{\circ}\text{K}$	$100^{\circ}\text{C}$
$273/15^{\circ}\text{K}$	$0^{\circ}\text{C}$
$0^{\circ}\text{K}$	$-373/15^{\circ}\text{C}$

شکل ۳-۱- درجه‌بندی کلوین

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

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

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

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

مثال ۲ :  $273^{\circ}\text{K}$  و  $173^{\circ}\text{K}$  چند درجه سانتی‌گراد است؟

$$K = C + 273$$

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

$$q = (2^\circ\text{kg})(4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}})(75-25)^\circ\text{C}$$

$$q = 4186000 \text{ J} = 4186 \text{ kJ}$$

## ۶-۱- توان گرمایی

همان طور 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.

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

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

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

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

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 ( $\frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$ ) است هر کیلوکالری در ساعت برابر  $1/16$  وات است.

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

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

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

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

$$W = 16 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

جدول ۱-۱- گرمای ویژه مواد بر حسب  $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$  در دمای  $25^\circ\text{C}$

ماده	گرمای ویژه
هیدروژن (گاز)	۱۴۳۰۰
آب	۴۱۸۶
آب دریا	۳۹۰۰
الکل	۲۴۰۰
بخار آب $100^\circ\text{C}$	۲۰۸۰
یخ $10^\circ\text{C}$	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

$$C = \text{گرمای ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم بر درجه کلوین}$$

$$\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) \text{ یا } \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$$

$$t_1 = \text{دمای اولیه بر حسب درجه کلوین یا سلسیوس}$$

$$(\text{K}) \text{ یا } (^\circ\text{C})$$

$$t_2 = \text{دمای نهایی بر حسب درجه کلوین یا سلسیوس}$$

$$(\text{K}) \text{ یا } (^\circ\text{C})$$

مثال: ۲۰ کیلوگرم آب  $25^\circ\text{C}$  را تا دمای  $75^\circ\text{C}$  گرم

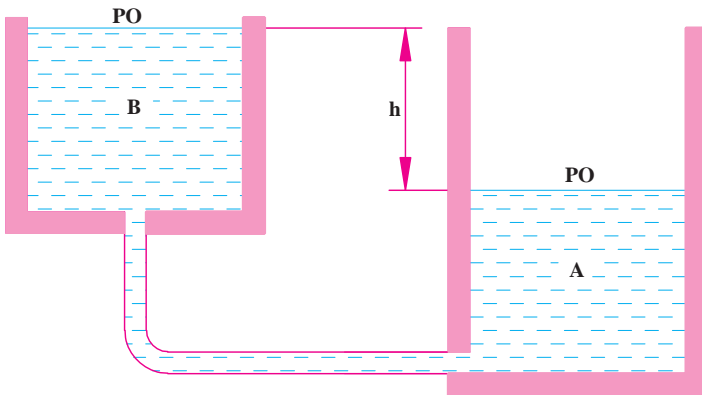
می‌کنیم مقدار گرمای انتقال یافته چند ژول است؟

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

## ۱-۷- 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 ۱-۴) 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 ۱-۵).



شکل ۱-۵- جریان آب به دلیل اختلاف ارتفاع

مثال ۱: مقدار گرمای انتقال یافته از یک پره رادیاتور به هوای اتاق در مدت یک ساعت  $540000 \text{ J}$  است. توان گرمایی چند وات است؟

$$H = \frac{q}{t} = \frac{540000 \text{ J}}{3600 \text{ s}}$$

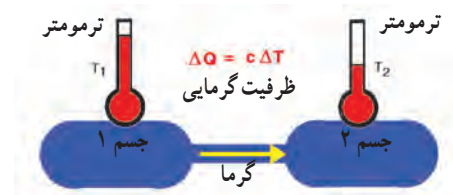
$$= 150 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 150 \text{ W}$$

مثال ۲:  $150 \text{ W}$  معادل چند  $\frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$  است.

$$1 \text{ W} = 0.86 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$150 \text{ W} = 150 \times 0.86 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$= 129 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$



شکل ۱-۴- انتقال گرما از جسم گرم‌تر به جسم سرد

## ۱-۸- روش‌های انتقال گرما

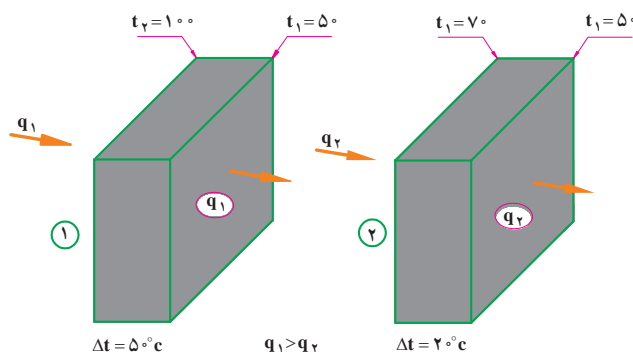
روش‌های انتقال گرما عبارت‌اند از هدایت، جابه‌جایی (وزش) و تابش (شکل ۱-۶). هدایت مانند جریان گرما از یک سر گرم میله آهنی به سر دیگر آن، وزش مانند جریان گرمای باد گرم در صحرا و تابش مانند جریان گرما از خورشید به ما است. در شکل ۱-۶ سه روش انتقال گرما نمایش داده شده است.



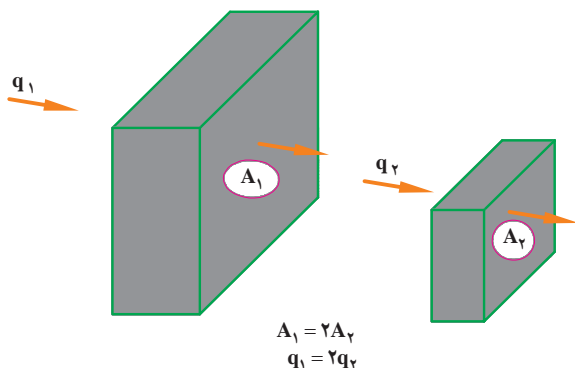
شکل ۱-۶- روش‌های انتقال گرما

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

۱- 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.



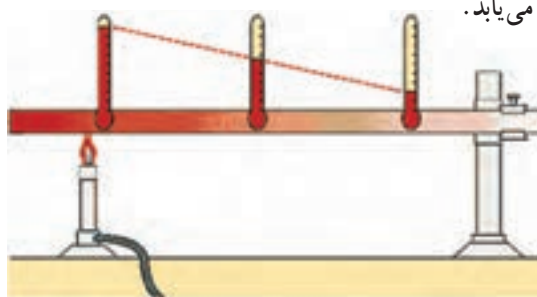
۲- سطح مقطع جسم (A) : بدیهی است که هرچه سطح بزرگ تر باشد مولکول‌هایی که گرما را منتقل می‌نمایند بیشتر خواهند بود.



۳- 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 کم تر باشد هدایت گرما بیشتر خواهد بود.

## ۱-۸-۱ انتقال گرما به روش هدایت<sup>۱</sup> : انتقال گرما

در اجسام جامد به روش هدایت انجام می‌شود. در کوره‌های هوای گرم و در دیگ‌ها، گرمای شعله از طریق بدنه فولادی یا چدنی اتاقک احتراق به سیال طرف دیگر که هوا یا آب است انتقال می‌یابد (شکل ۱-۷). 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 وامی‌دارند. بدین ترتیب انرژی گرمایی در اجسام جامد انتقال می‌یابد.



شکل ۱-۷ انتقال گرما به طریق هدایت

اگر چه تمام اجسام گرما را هدایت می‌کنند و میزان هدایت گرما در همه 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 فاصله مولکول‌های گازها از هم زیاد است. انتقال گرما به روش هدایت در گازها مشکل تر است.

فرمول  $q = \frac{kAT(t_2 - t_1)}{x}$  خلاصه نمود شکل ۸-۱. از آن جایی که در محاسبات از توان گرمایی استفاده می شود 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  $^{\circ}\text{C}$

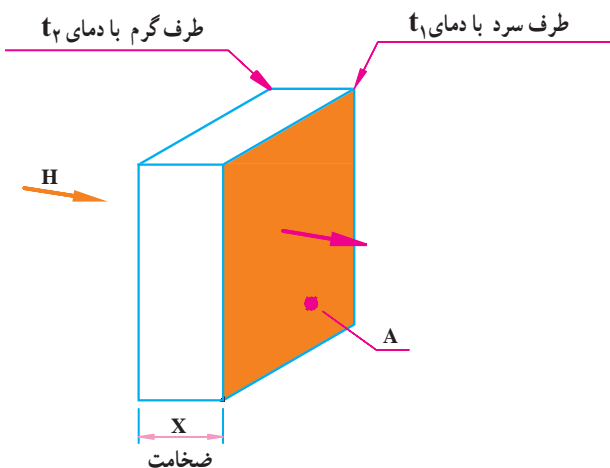
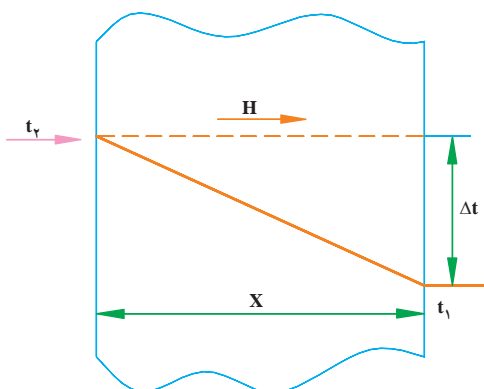
$t_2$  = دمای سطح طرف گرم جسم به  $^{\circ}\text{C}$

$A$  = مساحت سطح در معرض انتقال گرما به  $\text{m}^2$

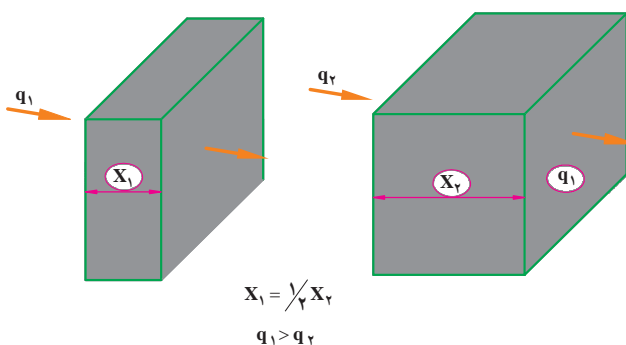
$x$  = ضخامت جسم یا فاصله بین دو سطح گرم و سرد به  $\text{m}$  (متر)

$k$  = قابلیت هدایت گرمایی (گرماسانی) که از جدول ۱-۲ به

دست می آید و واحد آن بر حسب  $\frac{\text{W.m}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  (وات متر بر متر مربع بر درجه سانتی گراد) بیان می شود.



شکل ۸-۱ عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش هدایت

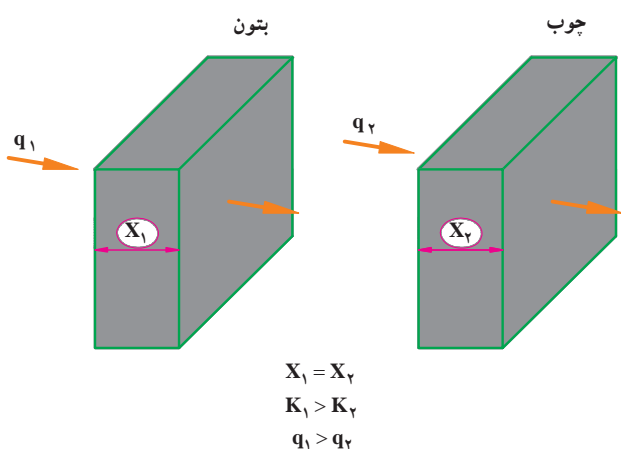


#### ۴- زمان عبور گرما (T) : بدیهی است که هرچه زمان

بیشتر باشد مقدار انتقال گرما بیشتر خواهد شد بنابراین می گوئیم انتقال گرما با زمان (T) رابطه مستقیم دارد.

#### ۵- قابلیت هدایت گرمایی یا قابلیت گرما رسانی :

تمام مواد نمی توانند گرما را با شدت یکسان هدایت نمایند. فلزات هادی یا گرماسان های خوبی هستند. شیشه، آجر، بتن و چوب نسبتاً هادی هستند و چوب پنبه، نمد پشم، پشم معدنی، پلی اورتان و پلی استایرن هادی های خیلی ضعیف هستند. هادی خیلی ضعیف را عایق یا گرمابند می نامند.



در جدول ۱-۲ 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 می توان در

جدول ۱-۲- قابلیت هدایت گرمایی مصالح ساختمانی

نام مصالح	مقدار K (w.m/m <sup>2</sup> k)	جرم مخصوص (kg/m <sup>3</sup> )
پلی یورتان	۰/۰۳۰	۳۰
پشم سنگ	۰/۰۴۰	۳۵
پشم شیشه	۰/۰۵۰	۱۵
پلی استایرین (یونولیت)	۰/۰۵۰	۱۰
چوب پنبه متراکم	۰/۱	۵۰۰
تخته خرده چوب (تئوپان)	۰/۱۲	۵۰۰
چوب طبیعی	۰/۱۵	۶۰۰
الیاف چوب (فیبر)	۰/۲	۹۰۰
بی وی سی	۰/۲	۱۳۰۰
گچ (قطعات پیش ساخته)	۰/۳۵	۹۰۰
پلی اتیلن	۰/۴	۱۰۰۰
کف پوش 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 ماسه ای	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



پاسخ:

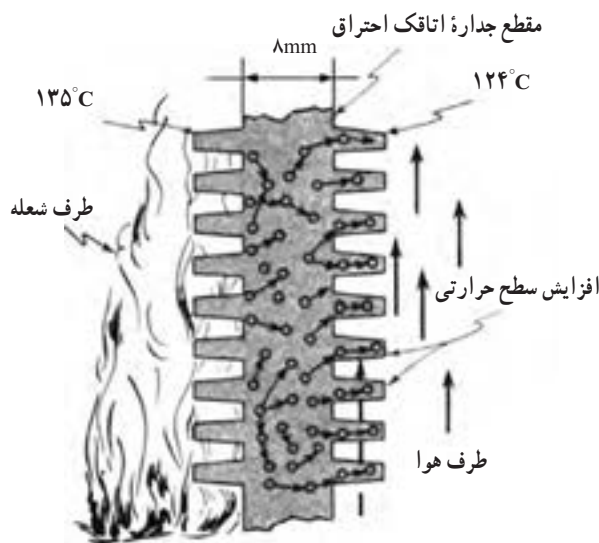
$$x = 8 \text{ mm} = 0.008 \text{ m}$$

$$H = \frac{k}{x} A (t_r - t_l)$$

$$H = \frac{52 \left( \frac{\text{W.m}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right)}{0.008 \text{ (m)}} \times 0.008 \text{ (m)} \times (135 - 124) (^\circ\text{C})$$

$$H = 57200 \text{ W}$$

مثال: یک کوره هوای گرم از طریق جداره فولادی خود به ضخامت 8mm و سطح گرمایی مؤثر  $8 \text{ m}^2$  گرم را از طرف شعله عبور داده و باعث گرم شدن هوای عبوری از کوره می شود در صورتی که دمای سطح طرف شعله  $135^\circ\text{C}$  و دمای سطح طرف هوای گرم  $124^\circ\text{C}$  باشد مقدار گرمای انتقال یافته (یا ظرفیت گرمایی کوره) را حساب کنید.  $k = 52 \frac{\text{W.m}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$  فولاد از جدول ۱-۲.



در هر حال وزش، انتقال گرما به وسیله حرکت مولکول ها از یک محل به محل دیگر است. بدین صورت که مولکول های گرم شده از یک محل به محل دیگر حرکت کرده و گرما را با خود جابه جا می کنند.

هوا در اثر تماس با وسیله گرم کننده مانند رادیاتور یا بخاری گرم شده، انبساط می یابد و در نتیجه سبک تر شده، به طرف بالا حرکت می کند و هوای سرد و سنگین به آرامی جای آن را می گیرد و عمل تکرار می شود (شکل ۹-۱).

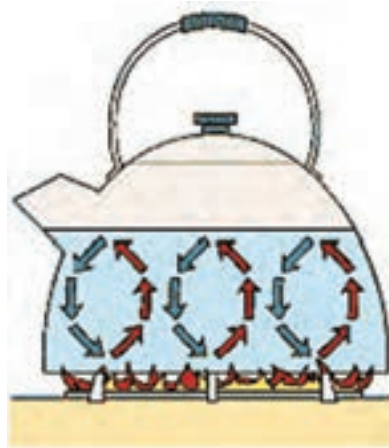
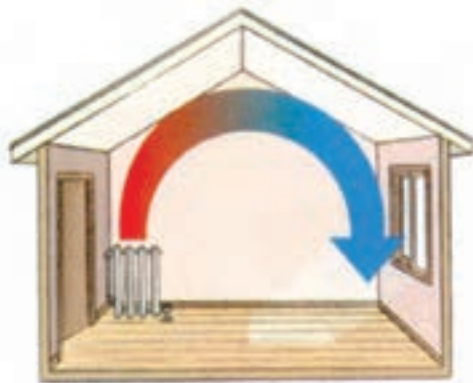
۲-۸-۱- انتقال گرما به صورت وزش<sup>۱</sup>: چنان که قبلاً بیان شد. مایعات و گازها، گرمای قابل توجهی را هدایت نمی کنند، انتقال گرما در مایعات و گازها به وسیله «وزش» یا «جابه جایی» یا «همرفت» صورت می گیرد.

جریان باد کره زمین، گرمایی که از روی شعله بالا می رود، مکش دود کش بخاری نمونه هایی از «وزش طبیعی»<sup>۲</sup> هستند. استفاده از یک پمپ برای گردش آب گرم یا سرد یا استفاده از یک بادزن برای به جریان انداختن هوای گرم یا سرد نمونه هایی از «وزش اجباری»<sup>۳</sup> هستند.

۱- Convection

۲- Natural Convection

۳- Forced Convection



شکل ۹-۱ انتقال گرما به روش وزش (هم رفت، جابه جایی)

$$H = FA(T_s - T_m)$$

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

$$H = 2880 W$$

### ۳-۸-۱ 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 می شود (شکل ۱۰-۱).

بیشترین انرژی گرمایی کره زمین به روش تابش از خورشید، از فاصله ۱۵۰ میلیون کیلومتری تأمین می شود. تابش خورشید از بالای پشت بام خانه در یک روز روشن در منطقه معتدل بر روی وسایل خانه به اندازه ای است که می تواند به مدت یک هفته انرژی الکتریکی آن خانه را تأمین نماید. در تابش کامل و عمود اشعه تابشی، زمین معادل  $83 \frac{W}{m^2}$  انرژی از خورشید دریافت می کند. امواج گرمایی بر اساس دمای جسم منتشرکننده موج ممکن است قابل رؤیت یا نامرئی باشند مثلاً اگر فلزی به اندازه کافی گرم شود سرخ می شود و امواج گرمایی قابل رؤیت (نور) منتشر می کند (مانند بخاری برقی شکل ۱۰-۱).

در مورد انتقال گرما به صورت وزش، نمی توان مانند، هدایت گرمایی رابطه ای 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 قرار گرفتن سطح، چگالی سیال، گرمای ویژه، قابلیت هدایت گرمایی سیال، سرعت سیال و ... بستگی دارد. به طور کلی مقدار گرمایی که به روش وزش، بین سطح و سیال مبادله می شود از رابطه «نیوتون» به دست می آید.

$$H = FA(T_s - T_m)$$

در این رابطه :

$$T_m = \text{دمای متوسط سیال به درجه } ^\circ C$$

$$T_s = \text{دمای سطح جسم داغ به درجه } ^\circ C$$

$$A = \text{سطح جسم داغ به } m^2$$

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

$$H = \text{مقدار گرمای جابه جا شده توسط سیال به } W \text{ است.}$$

مثال : دمای سطح رادیاتور  $80^\circ C$  و سطح گرمایی آن  $6 m^2$  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

$$8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ باشد.}$$

جسم می گردند.

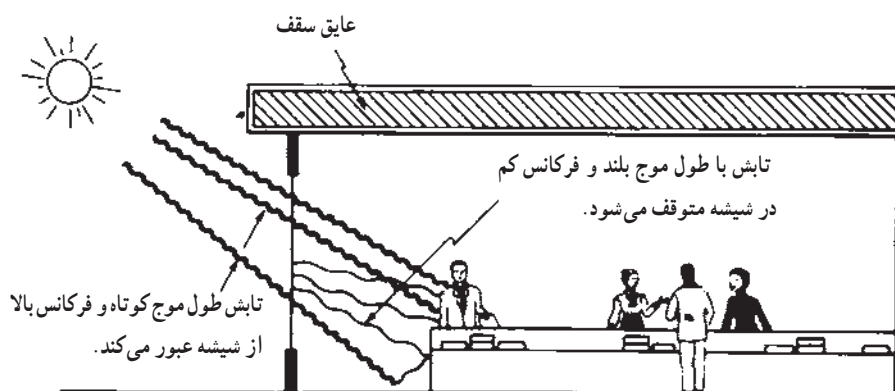
اجسام با رنگ روشن و سطح براق مثل آینه بخش عمده انرژی تابشی را منعکس می کنند در حالی که مواد با سطح تیره و زبر بیشتر انرژی تابشی را جذب می کنند. جسم جذب کننده کامل را جسم سیاه می گویند. اجسام شفاف مانند شیشه و هوا بیشتر امواج تابشی را از خود عبور می دهند.

دیوارهای خارجی رو به آفتاب ساختمان، به علت جذب انرژی تابشی، دمایی بالاتر از دمای محیط دارند. شیشه پنجره ها مقدار زیادی انرژی تابشی را به داخل ساختمان انتقال می دهند. انرژی تابشی پس از عبور از شیشه در مواد داخل ساختمان مانند اثاثیه، دیوارها و ... جذب و باعث بالا رفتن دمای آنها می شوند. ساختمان با شیشه خارجی زیاد و روبه آفتاب به عنوان یک تله گرمایی عمل می کند و در زمستان مطلوب است (شکل ۱۱-۱).



شکل ۱۰-۱ انتقال گرما به روش تابش

هنگامی که امواج تابشی مرئی و نامرئی به جسم برخورد نمایند سه بخش می شوند بخشی از جسم عبور می کند. بخشی منعکس می شود و قسمت دیگر جذب آن می گردد. بخشی از امواج تابشی که جذب جسم می شوند باعث بالا رفتن دمای آن



شکل ۱۱-۱ شیشه خارجی به عنوان یک تله حرارتی عمل می کند و در زمستان مطلوب است.

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 می دهد. انتقال گرما از هوای اتاق به هوای بیرون در زمستان از راه یک دیوار در سه مرحله انجام می شود (شکل ۱۲-۱).

- ۱- انتقال گرما از هوای اتاق به سطح داخلی دیوار که به روش وزش (جابه جایی یا همرفت) انجام می گیرد.
- ۲- انتقال گرما از سطح داخلی دیوار به سطح خارجی آن

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

## ۹-۱ انتقال گرما از یک جدار

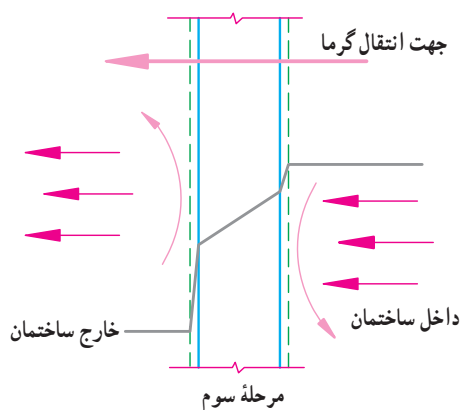
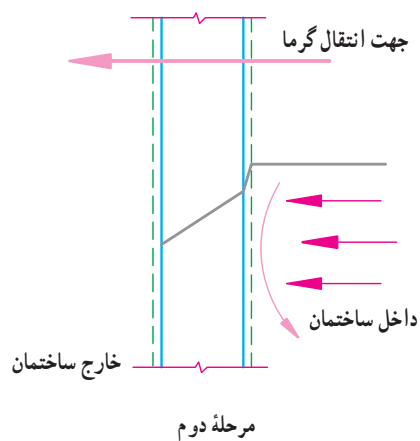
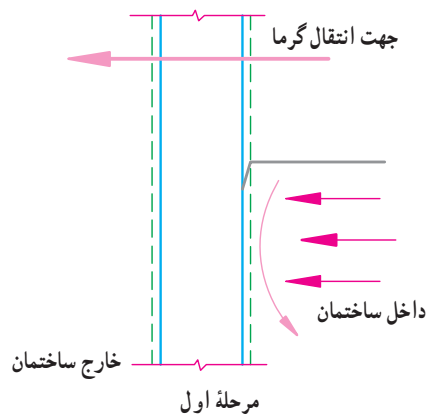
اگر در زمستان بخاری را خاموش کنیم یا شیر رادیاتور را ببندیم پس از مدتی هوای اتاق سرد می شود. علت چیست؟

که به روش هدایت (رسانایی) انجام می گیرد.

مثال ۱: در نمودار شکل ۱۳-۱ مقدار گرمای انتقال یافته

۳- انتقال گرما از سطح خارجی دیوار به هوای بیرون که از یک متر مربع دیوار را حساب کنید.

به روش وزش (جابه جایی یا همرفت) انجام می گیرد.



شکل ۱۲-۱ سه مرحله انتقال گرما از یک جدار

حل :

$$H = \frac{k}{x} \times A \times (t_r - t_l)$$

$$H = \frac{1/2}{0/105} \times 1(12/664 - 6/024)$$

$$H = 75/9 W$$

پ) گرمای انتقال یافته از سطح خارجی دیوار به هوای بیرون

در صورتی ضریب انتقالی سطحی  $F_o = 18/87 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  باشد.

$$H = F_o A (t_r - t_o)$$

$$H = 18/87 \times 1(6/024 - 2)$$

$$H = 75/9 W$$

الف) گرمای انتقال از هوای داخل به سطح داخل در صورتی

که ضریب انتقال سطحی داخل  $F_i = 8/13 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  باشد.

$$H = F_i A (t_i - t_r)$$

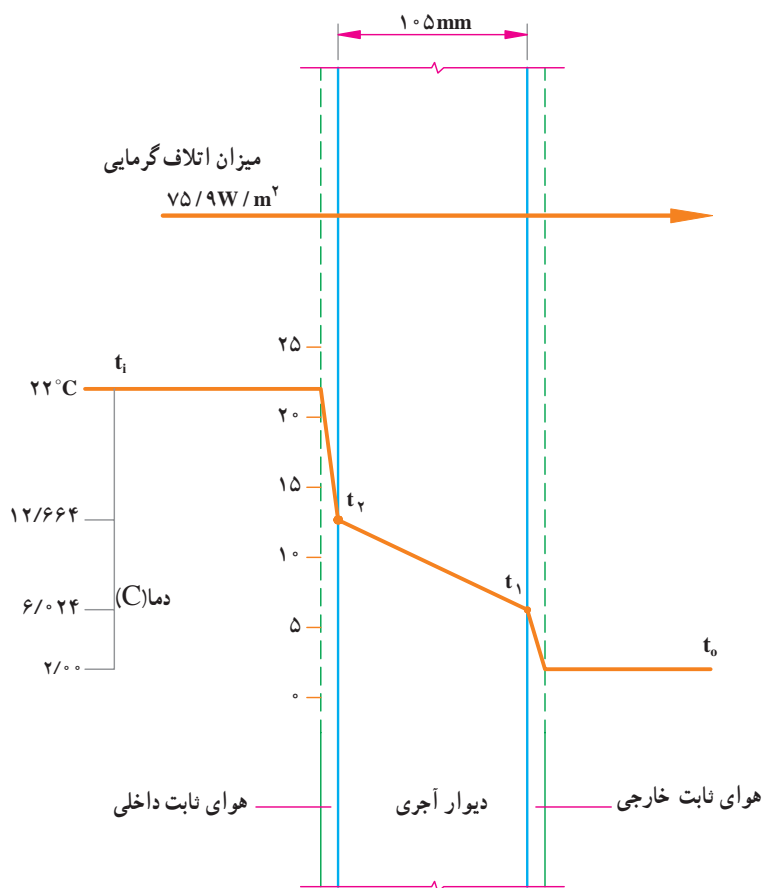
$$H = 8/13 \times 1(22 - 12/664)$$

$$H = 75/9 W$$

ب) گرمای انتقال یافته از سطح داخلی دیوار به سطح

خارجی دیوار در صورتی که قابلیت هدایت گرمایی دیوار آجری

باشد.  $k = 1/2 \frac{W \cdot m}{m^2 \cdot ^\circ C}$



شکل ۱۳-۱ نمودار تغییر دما در انتقال گرما

میسر نیست برای محاسبه گرمای انتقال یافته براساس اختلاف دمای داخل و دمای خارج  $(t_i - t_o)$  عمل کرده و از فرمول زیر استفاده می نمایند.

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

همان طور که در مثال فوق ملاحظه می نمایید مقدار گرمای انتقال در هر سه مرحله برابر است عامل انتقال گرما در مرحله اول،  $(t_i - t_r)$  در مرحله دوم  $(t_r - t_l)$  و در مرحله سوم  $(t_l - t_o)$  می باشد. از آن جایی که تعیین دمای سطح داخل و دمای سطح خارج به آسانی

در این فرمول  $U$  ضریب کلی انتقال گرمای دیوار برحسب

$$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ است.}$$

در مثال فوق مقدار  $U$  باید به اندازه‌ای باشد تا مقدار گرمای به دست آمده از فرمول بالا با مقدار گرمای محاسبه شده در سه

$$H = UA(t_i - t_o) \quad \text{مرحله برابر باشد:}$$

$$75/9 = U \times 1(22 - 2)$$

$$U = \frac{75/9}{20} = 3/796 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

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  $22^\circ C$  و دمای هوای

بیرون  $-8^\circ C$  است در صورتی که مساحت دیوار  $18m^2$  و ضریب

کلی انتقال گرما  $U = 1/5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  باشد مقدار گرمای انتقال یافته از هوای داخل به هوای بیرون را حساب کنید.

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

$$H = 1/5 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) 18(m^2) [22 - (-8)] (^\circ C)$$

$$H = 1/5 \times 18 \times 30 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) \times (m^2) \times (^\circ C)$$

$$H = 810 W$$

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

صرفه جویی 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 کم کردن مقدار  $H$  باید مقدار  $U$  را کم کرد. برای کم کردن مقدار  $U$  به دو طریق می‌توان اقدام کرد.

الف) ضخامت دیوار را زیاد کرد هر چه ضخامت دیوار

بیشتر شود مقدار  $U$  کم می‌شود مثلاً  $U$  برای یک دیوار ۱۱

$$\text{سانتی متری آجری بدون اندود } \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ } 3/25 \text{ و برای دیوار } 22$$

$$\text{سانتی متری آجری بدون اندود } \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ } 2/25 \text{ است به همین علت}$$

در ساختمان‌های قدیمی از دیوارهای ضخیم استفاده می‌کردند باید

توجه داشت که امروزه زیاد کردن ضخامت از دو جهت محدودیت

دارد. اول این که زیاد کردن ضخامت جدارها هزینه ساختمان

را خیلی بالا می‌برد دیگر این که زیاد کردن ضخامت دیوارها در

زمین‌های با ابعاد کوچک غیر عملی 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

$$\text{هدایت گرمایی آنها کم تر از } \frac{W}{m^2 \cdot K} \text{ } 0/065 \text{ باشد مواد عایق گفته}$$

می‌شود. هم چنین برای کاهش مقدار  $U$  پنجره‌ها در ساختمان آن از

شیشه‌های دو جداره یا چند جداره استفاده می‌شود.

امروزه صرفه جویی 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

$$\frac{W}{m^2 \cdot K} \text{ } 0/61 \text{ بیشتر باشد.}$$

برای مشخص شدن تأثیر مواد عایق (گرمابند) به

شکل ۱۴-۱ توجه نمایید. شکل ۱۴-۱ دیوار یک ساختمان

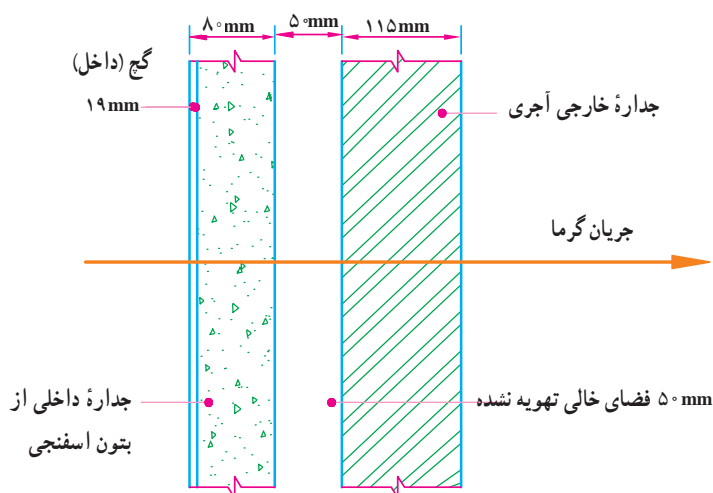
را نشان می‌دهد که در بین لایه‌های آن از ۵۰ میلی متر فاصله

هوایی استفاده شده است. مقدار  $U$  برآورد شده برای این دیوار

$$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ } 0/956 \text{ است اگر در ساختمان این دیوار از فاصله هوایی}$$

$$\text{استفاده نمی‌کردیم، مقدار } U \text{، } \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ } 1/129 \text{ می‌شد و اگر به}$$

جای فاصله هوایی از ۵۰ میلی متر عایق پلی اورتان استفاده نماییم  
 مقدار  $U$ ،  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  ۰/۳۱۶ خواهد شد. در صورت استفاده از  
 فاصله هوایی ۱۵/۴ درصد و در صورت استفاده از عایق پلی اورتان  
 ۷۲/۱ درصد صرفه جویی در مصرف انرژی و سوخت حاصل  
 می شود.



شکل ۱۴-۱ انتقال گرما در دیوار با فاصله هوایی

$$U = 1/129 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ بدون فاصله هوایی}$$

$$U = 0/956 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ با فاصله هوایی}$$

$$U = 0/316 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ با عایق اورتان}$$

$$1/129 - 0/956 = 0/173 = \text{مقدار صرفه جویی در انرژی با داشتن فاصله هوایی}$$

$$\frac{0/173}{1/129} \times 100 = 15/4 = \text{درصد صرفه جویی}$$

$$1/129 - 0/316 = 0/813 = \text{مقدار صرفه جویی در انرژی با ۵۰ میلی متر عایق}$$

$$\frac{0/813}{1/129} \times 100 = 72/1 = \text{درصد صرفه جویی}$$

## ۱۰-۱ عایق کاری گرمایی (گرمابندی)

لایه ای در میان عناصر ساختمانی اجرا شود، و یا مصالح تشکیل دهنده عنصر ساختمانی به تنهایی دارای ضریب هدایت گرمایی اندک بوده و مانند عایق گرمایی عمل نماید.

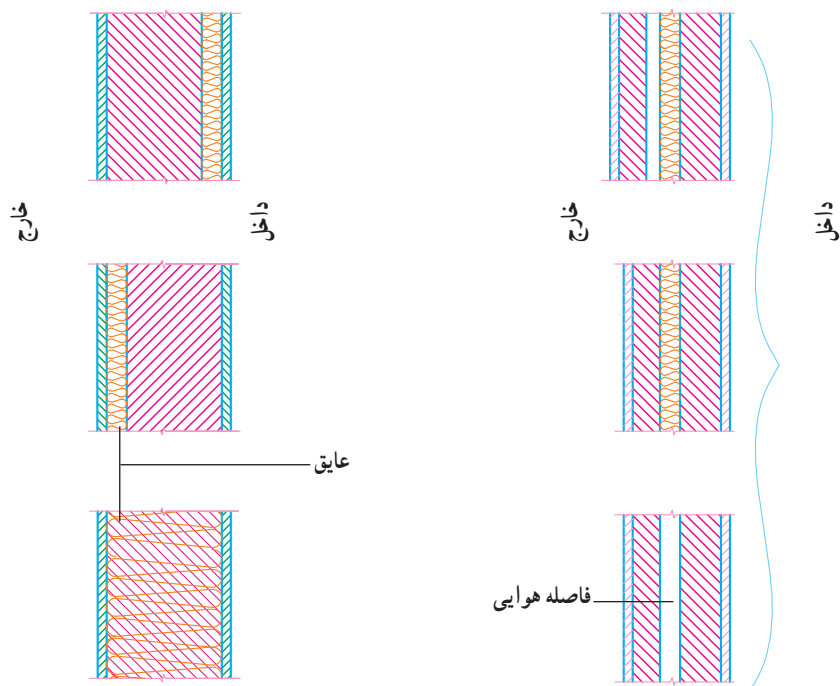
عایق کاری از داخل برای ساختمان های با استفاده منقطع

(مساجد - کلیسا و ...) مناسب ترین نوع محسوب می شود در این

برای صرفه جویی در مصرف انرژی و محدود کردن انتقال گرما باید تمام اجزای تشکیل دهنده پوسته خارجی عایق گرمایی داشته باشند.

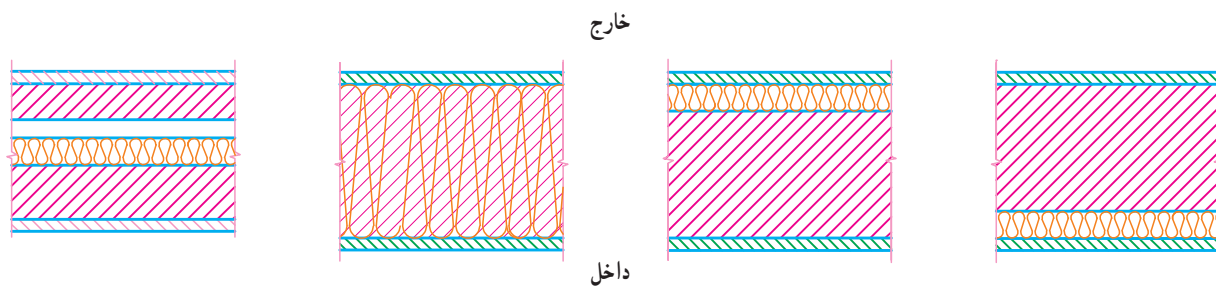
عایق کاری گرمایی می تواند از داخل، خارج یا به صورت

حالت ساختمان زود گرم می‌شود. برای ساختمان با استفاده مداوم (مسکونی و ...) مناسب است. اگر دیوار بخشی از پوسته خارجی ساختمان باشد گرما پندی در عایق کاری از خارج، ساختمان دیر گرم می‌شود و باعث می‌شود که نوسان‌های دمای داخل ساختمان کم شود. این روش آن مانند یکی از شکل‌های ۱-۱۵ خواهد بود.



شکل ۱-۱۵- عایق کاری دیوارها

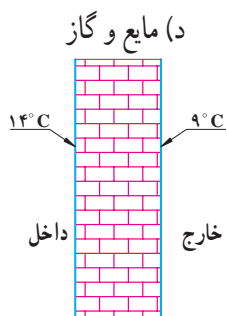
اگر بام و سقف طبقه پوسته خارجی باشند به یکی از روش‌های شکل ۱-۱۶ عایق کاری می‌شوند.



شکل ۱-۱۶- عایق کاری سقف‌ها



- ۱- نظریه فلاسفه قدیم در مورد گرما را بیان کنید.
- ۲- نظریه جنبشی مولکولی را بیان کنید.
- ۳- تفاوت گرما و دما را با ذکر یک مثال توضیح دهید.
- ۴- دمای مطلق را براساس نظریه جنبش مولکولی بیان کنید.
- ۵-  $25^{\circ}\text{C}$  چند درجه کلون است؟
- ۶-  $100^{\circ}\text{C}$  چند درجه کلون است؟
- ۷- رابطه کالری و کیلوکالری را با ژول بنویسید.
- ۸- گرمای ویژه را تعریف کنید و واحد آن را بیان کنید.
- ۹- در صورتی که گرمای داده شده به اجسام و جرم آن‌ها برابر باشند کدام یک زودتر گرم می‌شوند؟  
الف) سرب      ب) آهن      ج) آجر      د) آلومینیم
- ۱۰- کدام یک دیرتر سرد می‌شوند (در شرایط مساوی)؟  
الف) شیشه      ب) آب      ج) الکل      د) آهن
- ۱۱- مقدار گرمای مورد نیاز برای گرم کردن ۵ لیتر آب از  $10^{\circ}\text{C}$  به  $90^{\circ}\text{C}$  را محاسبه کنید.
- اگر برای گرم کردن آن از یک هیتر برقی  $1000$  وات استفاده کنیم پس از چند دقیقه آب گرم می‌شود؟  
(جواب ۲۷/۹ دقیقه) (جرم حجمی آب  $\rho = 1 \frac{\text{kg}}{\text{lit}}$  است)
- ۱۲- 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 گرم کردن هوای اتاق از  $10^{\circ}\text{C}$  تا  $20^{\circ}\text{C}$  توسط یک رادیاتور آلومینیمی  $1500$  وات (۱۰ پره) را به دست آورید در صورتی جرم حجمی هوا  $1/2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  باشد. (جواب ۹/۷ دقیقه)
- ۱۳- انتقال گرما از جسمی به جسم دیگر را بیان کنید.
- ۱۴- انتقال گرما را با انتقال آب با ذکر مثال مقایسه کنید.
- ۱۵- روش‌های مختلف انتقال گرما را با ذکر مثال نام ببرید.
- ۱۶- انتقال گرما به روش هدایت را توضیح دهید.
- ۱۷- عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش هدایت را توضیح دهید.
- ۱۸- انتقال گرما به روش هدایت خاص مواد... است.



شکل ۱۷-۱

- الف) جامد      ب) مایع      ج) گاز      د) مایع و گاز
- ۱۹- دمای سطح داخلی یک دیوار بتنی  $14^{\circ}\text{C}$  و دمای سطح خارجی آن  $9^{\circ}\text{C}$  است (شکل ۱۷-۱) در صورتی که ضخامت دیوار  $10$  سانتی‌متر و مساحت دیوار  $20 \text{ m}^2$  باشد گرمای انتقال یافته از دیوار را حساب کنید. ( $K = 1/4 \frac{\text{W.m}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  بتن) (پاسخ  $1400$  وات)
- ۲۰- انتقال گرما به روش وزش را توضیح دهید.

۲۱- عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش ورزش را نام ببرید.

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

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

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

۲۴- عملکرد اجسام را در مقابل انرژی تابشی بنویسید.

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

۲۶- دمای سطح داخلی دیوار اتاق  $14^{\circ}\text{C}$  و دمای هوای اتاق  $21^{\circ}\text{C}$  است در صورتی که ضریب سطحی داخل

$F_1 = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  باشد مقدار گرمای انتقال یافته از هوای اتاق به سطح دیوار را حساب کنید. مساحت دیوار  $20 \text{ m}^2$  است. (جواب  $1400 \text{ W}$ )

۲۷- دمای سطح خارجی دیوار اتاق و دمای هوای بیرون است در صورتی که ضریب هدایت سطح خارج

$F_0 = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  باشد مقدار گرمای انتقال یافته از سطح خارجی دیوار به هوای بیرون به روش ورزش را حساب کنید مساحت دیوار  $20 \text{ m}^2$  است. (جواب  $1400 \text{ W}$ )

۲۸- دمای هوای داخل اتاق  $20^{\circ}\text{C}$  و دمای هوای بیرون  $1^{\circ}\text{C}$  است مقدار گرمای انتقال یافته از دیواری به

مساحت  $12 \text{ m}^2$  را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

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

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

جواب ( $216 \text{ W}$  و  $810 \text{ W}$ )

۲۹- اگر در اثر گرمابندی ساختمان مقدار انتقال گرما  $100000 \text{ W}$  کم‌تر شود مقدار صرفه جویی در مصرف گاز

را در یک ماه به متر مکعب محاسبه کنید اگر هر متر مکعب گاز طبیعی در اثر سوختن تقریباً  $40000 \text{ kJ}$  گرما تولید کند.

(جواب  $6480 \text{ m}^3$ )

۳۰- در اثر عایق کاری 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  $14000 \text{ W}$  باشد:

۱- اتلاف گرمایی پس از عایق کاری چقدر خواهد شد؟

۲- صرفه جویی انرژی در یک واحد آپارتمان چند وات خواهد بود؟

۳- صرفه جویی انرژی در یک ساختمان ۱۰ واحدی چند وات خواهد بود؟

۴- صرفه جویی در مصرف گاز این ساختمان چند متر مکعب در ماه می‌شود؟

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

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

۳۲- مقدار  $U$  دیوار قبل از عایق کاری  $3/25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  و بعد از عایق کاری، ۵ سانتی‌متر پلی‌استایرن

$64 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  شده است چند درصد در مصرف انرژی صرفه جویی شده است؟ (جواب  $80/3$  درصد)