

## 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 درجه‌بندی سلسیوس و درجه‌بندی 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- عایق‌کاری (گرمابندی) را توضیح دهد.

## ۱- انتقال گرما<sup>۱</sup>

### ۱-۱-۱- گرما<sup>۲</sup>

فلاسفه‌ی قدیم بر این باور بودند که گرما سیالی (شاره‌ای) نامبری است که از جسم گرم به سوی جسم سرد جریان دارد و برای این سیال اصطلاح کالری را به کار می‌بردند. در ایده‌ی 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

### 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.



دارند «انرژی پتانسیل» نیز دارند. وقتی جسمی را گرم می کنیم انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکول های آن افزایش می یابد. طبق نظریه «جنبشی مولکولی» گرما مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکول هاست.

## ۱-۲-۱ دما

وقتی به جسمی گرما (انرژی) می دهیم سرعت مولکول ها و انرژی جنبشی داخلی آن افزایش می یابد. این افزایش به صورت افزایش دما متجلی می شود برعکس با گرفتن گرما (انرژی) از جسم سرعت مولکول ها و دمای جسم کاهش می یابد. بنابراین «دمای یک جسم نشانه ای از سرعت متوسط مولکول های تشکیل دهنده» آن است. براساس نظریه ی جنبشی مولکولی در صورتی که کاهش انرژی یک جسم تا به صفر ادامه داشته باشد دمای آن به صفر مطلق ( $-273/15^{\circ}\text{C}$ ) می رسد و حرکت مولکولی کاملاً متوقف می شود.

دما را نباید با گرما که شکلی از انرژی است اشتباه کرد. دما میزان سرعت مولکول های یک جسم را نشان می دهد در حالی که گرما نه تنها نشان دهنده ی سرعت حرکت مولکول هاست بلکه تعیین کننده ی تعداد مولکول هایی است که تحت تأثیر آن قرار گرفته اند.

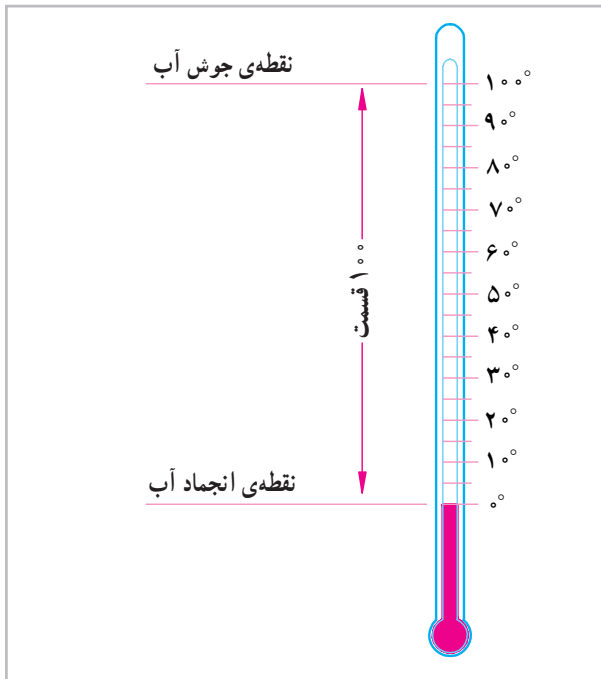
فرض کنید اتاقی که در آن نشسته اید به طور کامل بسته و ایزوله باشد کبریتی را روشن کنید دماسنج نصب شده در اتاق را به دقت در نظر بگیرید با وجود این که دمای شعله کبریت بالای  $1000^{\circ}\text{C}$  است، نمی توانید تغییر دمای هوای اتاق را بر روی دماسنج ببینید. حال یک شمش فولادی به وزن  $3000$  کیلوگرم و دمای  $200^{\circ}\text{C}$  داخل همان اتاق می آوریم در مدت کمی بدون نیاز به خواندن ترمومتر افزایش دما را احساس می کنید گرچه دمای شعله کبریت خیلی بیش تر از دمای شمش است ولی شمش فولادی گرمای خیلی بیش تر دارد و دمای اتاق را بالا می برد.

شکل ۱-۱- دمای شعله کبریت بیش تر از بلوک فولادی است با وجود این بلوک فولادی گرمای بیش تری را در وجود خود دارد و هوای اتاق را بیش تر گرم خواهد کرد.

## ۱-۳-۱ اندازه گیری دما

برای سنجش دما از «دماسنج» استفاده می شود. دماسنج شیشه ای براساس انبساط مایعات در اثر گرما عمل می کند. در دماسنج های شیشه ای معمولاً از الکل یا جیوه استفاده می شود. زیرا دمای انجماد آن ها 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



شکل ۱-۲-۱ دماسنج سلسیوس

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

#### 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 درباره‌ی 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 کیلوکالری است که معادل  $1000$  کالری است.

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

#### ۵-۱ گرمای ویژه

انرژی گرمایی لازم برای تغییر دمای یک کیلوگرم از یک جسم به اندازه‌ی یک درجه سانتی‌گراد (یک درجه کلوین) را گرمای ویژه گویند و به صورت  $\frac{J}{kg \cdot K}$  (ژول بر کیلوگرم بر درجه‌ی 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:

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

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

$$m = \text{جرم بر حسب کیلوگرم (kg)}$$

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 درجه‌ی سلسیوس ( $1^{\circ}C$ ) نامیده می‌شود. پایین‌ترین حد دما  $273/15^{\circ}C$  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).

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

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

شکل ۳-۱- درجه‌بندی کلوین

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

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

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

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

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

$$K = C + 273$$

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

جدول ۱-۱- گرمای ویژه مواد بر حسب  $\frac{J}{kg \cdot K}$  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

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

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

$$q = (20 \cdot \text{kg}) \left( 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right) (75 - 25)^{\circ}\text{C}$$

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

$C =$  گرمای ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم بر درجه کلونین

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

$t_1 =$  دمای اولیه بر حسب درجه کلونین یا سلسیوس

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

$t_2 =$  دمای نهایی بر حسب درجه کلونین یا سلسیوس

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

$$(^{\circ}\text{C}) \text{ یا}$$

## ۱-۶- 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. واحد

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

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

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

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

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.

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

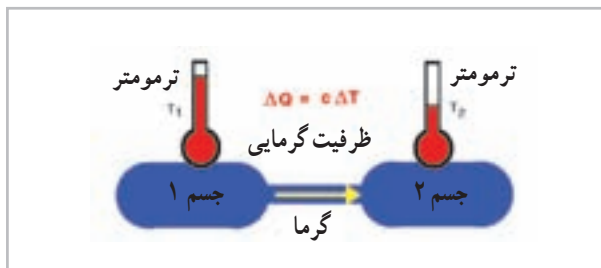
$$150 \text{ W} = 150 \times 0.86 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

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

## 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 ۴-۱) 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 ۱-۴- انتقال گرما از جسم گرم‌تر به جسم سرد

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.

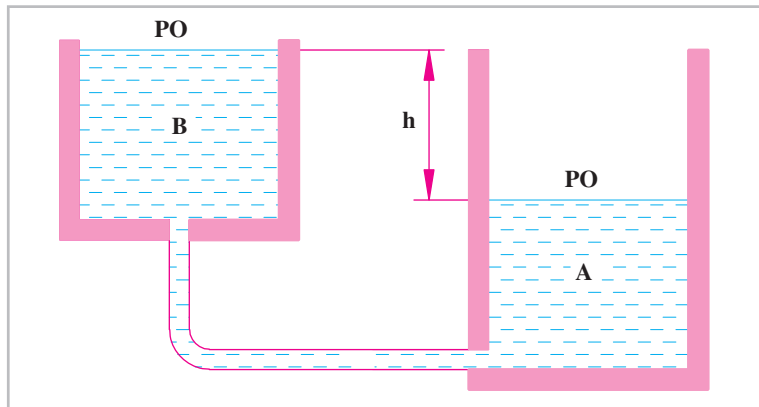
$$\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$$

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

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

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

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

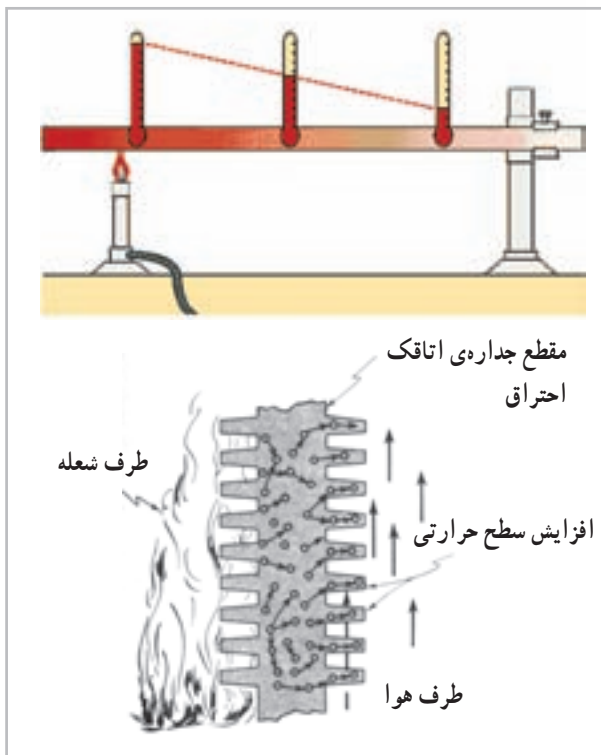


شکل ۱-۵- جریان آب به دلیل اختلاف ارتفاع

### ۱-۸- روش‌های انتقال گرما

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.

روش‌های انتقال گرما عبارت‌اند از هدایت، جابه‌جایی (وزش) و تابش (شکل ۱-۶). هدایت مانند جریان گرما از یک سرگرم 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 ۱-۷- انتقال گرما به طریق هدایت



شکل ۱-۶- روش‌های انتقال گرما

### ۱-۸-۱- انتقال گرما به روش هدایت: انتقال گرما

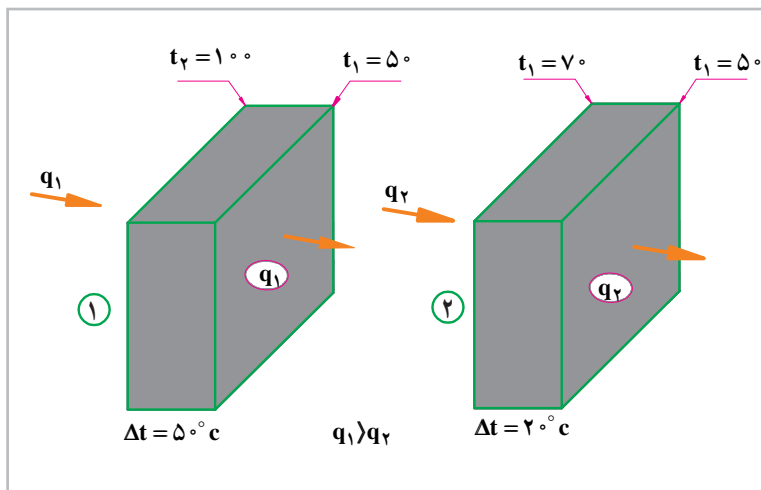
در اجسام جامد به روش هدایت انجام می‌شود. در کوره‌های هوای گرم و در دیگ‌ها، گرمای شعله از طریق بدنه فولادی یا چدنی اتاقک احتراق به سیال طرف دیگر که هوا یا آب است

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

۱- اختلاف دمای سطح گرم و سطح سرد ( $t_2 - t_1$ ):

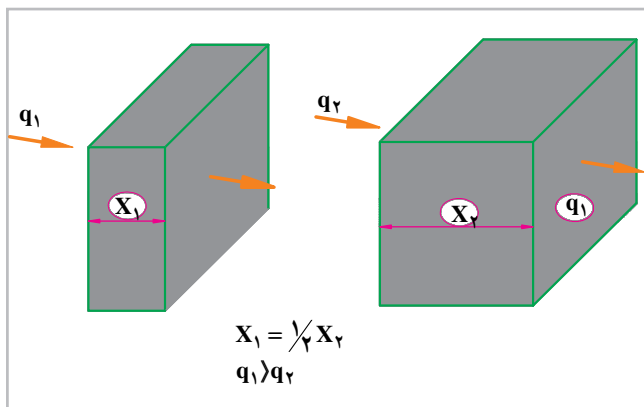
اختلاف دما علت انتقال گرما است بنابراین هر چه ( $t_2 - t_1$ ) بیش تر شود انتقال گرما بیشتر خواهد شد.

اگر چه تمام اجسام گرما را هدایت می کنند و میزان هدایت گرما در همه ی 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 مولکول ها انجام می شود و فاصله ی مولکول های گازها از هم زیاد است. انتقال گرما به روش هدایت در گازها مشکل تر است.



دارد یعنی هر چه ضخامت جسم کم تر باشد هدایت گرما بیش تر خواهد بود.

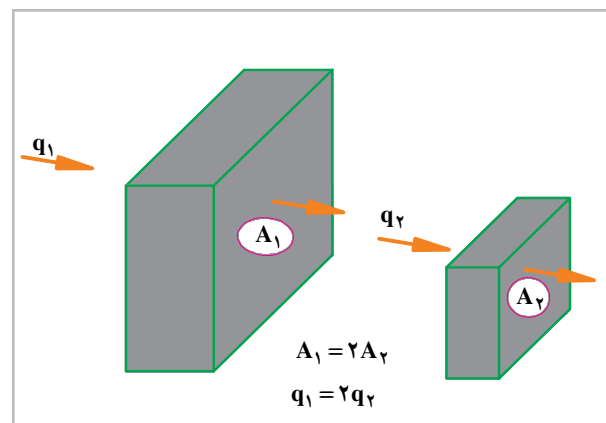
۲- سطح مقطع جسم ( $A$ ): بدیهی است که هرچه سطح بزرگ تر باشد مولکول هایی که گرما را منتقل می نمایند بیش تر خواهند بود.



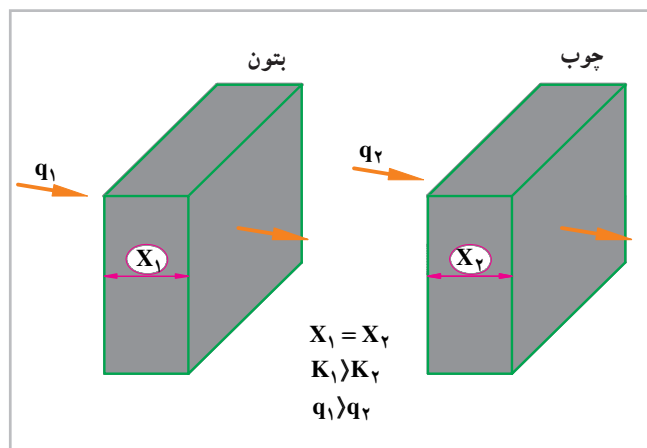
۴- زمان عبور گرما ( $T$ )

۵- قابلیت هدایت گرمایی یا قابلیت گرما رسانی:

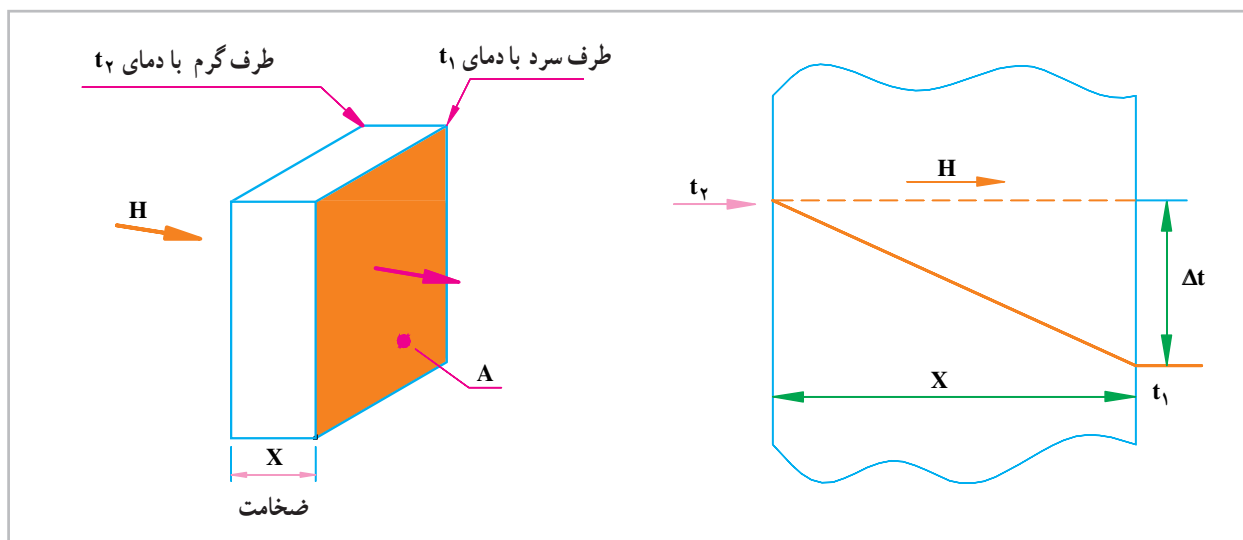
تمام مواد نمی توانند گرما را با شدت یکسان هدایت نمایند. فلزات هادی یا گرماسان های خوبی هستند. شیشه، آجر، بتن و چوب



۳- ضخامت جسم ( $x$ ): هدایت گرما با ضخامت جسم یا به عبارت دیگر فاصله بین سطح گرم و سطح سرد رابطه معکوس



نسبتاً هادی هستند و چوب پنبه، نمد پشم، پشم معدنی، پلی اورتان ضعیف را عایق یا گرمابند<sup>۱</sup> می نامند (شکل ۸-۱). پلی استایرن هادی های خیلی ضعیف هستند. هادی خیلی



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

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  $m^2$

در جدول (۲-۱) قابلیت هدایت گرمایی برخی از مواد آمده است. هر چه مصالح مورد استفاده در ساختمان بیش تر از موادی باشد که قابلیت هدایت گرمایی کمتری دارند، انتقال گرما و اتلاف گرمایی کم تر خواهد بود.

عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش هدایت را می توان در

فرمول  $q = \frac{kAT(t_2 - t_1)}{x}$  خلاصه نمود. از آن جایی که در

محاسبات از توان گرمایی استفاده می شود بنابراین با تقسیم دو

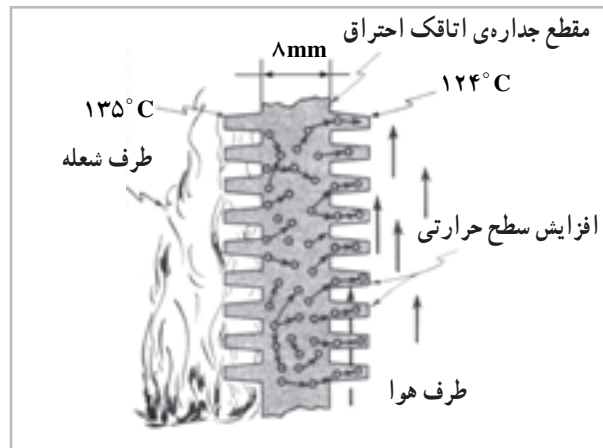


جدول ۱-۲- قابلیت هدایت گرمایی مصالح ساختمانی

جرم مخصوص (kg/m <sup>۳</sup> )	مقدار K (w.m/m <sup>۲</sup> °k)	نام مصالح
۳۰	۰/۰۳۰	پلی یورتان
۳۵	۰/۰۴۰	پشم سنگ
۱۵	۰/۰۵۰	پشم شیشه
۱۰	۰/۰۵۰	پلی استایرین (یونولیت)
۵۰۰	۰/۱	چوب پنبه متراکم
۵۰۰	۰/۱۲	تخته خرده چوب (تئوپان)
۶۰۰	۰/۱۵	چوب طبیعی
۹۰۰	۰/۲	الیاف چوب (فیبر)
۱۳۰۰	۰/۲	پی وی سی
۹۰۰	۰/۳۵	گچ (قطعات پیش ساخته)
۱۰۰۰	۰/۴	پلی اتیلن
۱۲۰۰	۰/۴	کف پوش لاستیکی
۱۵۰۰	۰/۵	بتن سبک با پوکه طبیعی
۱۲۰۰	۰/۵	گچ
۲۱۰۰	۰/۷	آسفالت خالص
	۰/۸	کاشی
۱۶۰۰	۰/۸	آجر سبک
۲۰۰۰	۱	آسفالت ماسه ای
۱۹۰۰	۱/۱	اندود ملات و درزگیر
۲۷۰۰	۱/۱	شیشه
۲۰۰۰	۱/۲	سفال
	۱/۲	آجر متوسط
۲۰۰۰	۱/۵	آجر متراکم
۲۳۰۰	۱/۷	بتن معمولی
۲۲۴۰	۱/۸	موزائیک
۲۳۰۰	۱/۹	سنگ آهکی
۲۵۰۰	۱/۹	ماسه آهکی
۲۸۰۰	۲/۲	سنگ گرانیت
۲۶۰۰	۲/۶	ماسه کوارتزی
۲۶۰۰	۲/۹	سنگ مرمر
۷۷۸۰	۵۲	فولاد
۲۷۰۰	۲۳۰	آلومینیم
۸۹۳۰	۳۸۰	مس

به ضخامت  $8\text{mm}$  و سطح گرمایی مؤثر  $8\text{m}^2/\text{m}^2$  گرما را از طرف شعله عبور داده و باعث گرم شدن هوای عبوری از کوره می‌شود 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.  $k = 52 \frac{\text{W}\cdot\text{m}}{\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}}$  فولاد از جدول (۱-۲).

$x =$  ضخامت جسم یا فاصله بین دو سطح گرم و سرد به (متر)  
 $k =$  قابلیت هدایت گرمایی (گرماسانی) که از جدول (۱-۲) به دست می‌آید و واحد آن برحسب  $\frac{\text{W}\cdot\text{m}}{\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}}$  (وات متر بر متر مربع بر درجه سانتی‌گراد) بیان می‌شود.  
 مثال: یک کوره هوای گرم از طریق جداره فولادی خود



می‌رود، مکش دودکش بخاری نمونه‌هایی 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 نمونه‌هایی از «وزش اجباری»<sup>۲</sup> هستند.

در هر حال وزش، انتقال گرما به وسیله‌ی 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 وسیله‌ی 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 ۱-۹).

پاسخ:

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

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

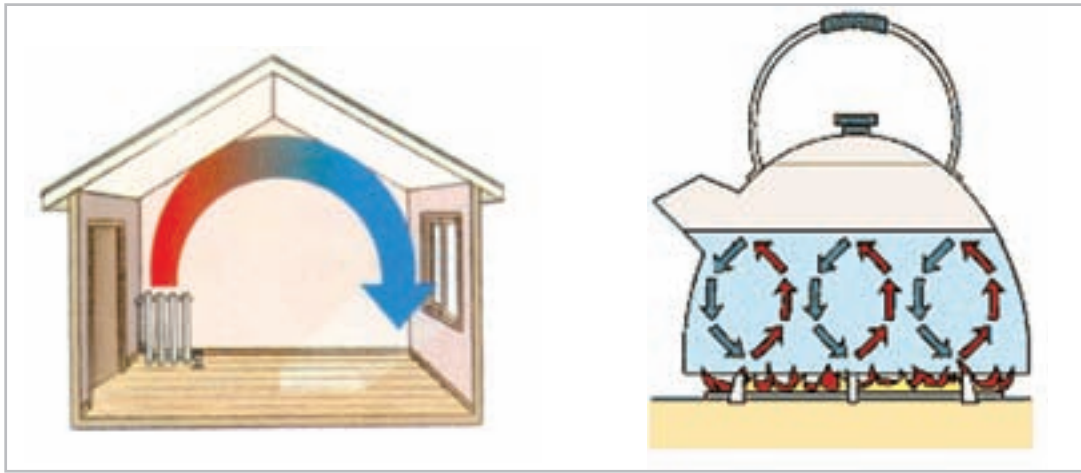
$$H = \frac{52 \left( \frac{\text{W}\cdot\text{m}}{\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}} \right)}{0.008 \text{ (m)}} \times 0.8 \text{ (m}^2) \times (135 - 124) (^\circ\text{C})$$

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

۱-۸-۲- انتقال گرما به صورت وزش<sup>۱</sup>: چنان که

قبلاً بیان شد. مایعات و گازها، گرمای قابل توجهی را هدایت نمی‌کنند، انتقال گرما در مایعات و گازها به وسیله‌ی «وزش» یا «جابه‌جایی» یا «هم‌رفت» صورت می‌گیرد.

جریان باد کوره‌ی زمین، گرمایی که از روی شعله بالا



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

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

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

$$H = 288 \cdot W$$

### 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 می‌شود (شکل ۱۰-۱).

بیش‌ترین انرژی گرمایی کره‌ی زمین به روش تابش از خورشید، از فاصله‌ی ۱۵۰ میلیون کیلومتری تأمین می‌شود. تابش خورشید از بالای پشت بام خانه در یک روز روشن در منطقه‌ی 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  $\frac{W}{m^2} 830$  انرژی از خورشید دریافت می‌کند.

امواج گرمایی بر اساس دمای جسم منتشرکننده‌ی موج ممکن است قابل رؤیت یا نامرئی باشند مثلاً اگر فلزی به اندازه‌ی کافی گرم شود سرخ می‌شود و امواج گرمایی قابل رؤیت (نور) منتشر می‌کند (مانند بخاری برقی شکل ۱۰-۱).

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 رابطه‌ی «نیوتون» به دست می‌آید.

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

در این رابطه:

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

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

$$A = \text{سطح جسم داغ به } m^2$$

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

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

مثال: دمای سطح رادیاتور  $80^\circ C$  و سطح گرمایی

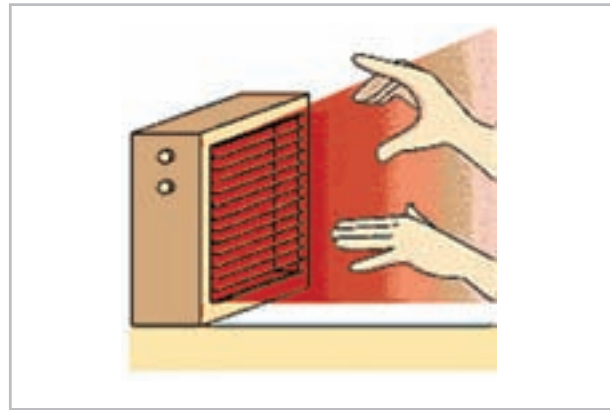
آن  $6 m^2$  است مقدار گرمای انتقال یافته از رادیاتور به هوای اتاق را حساب کنید در صورتی که دمای هوای اتاق  $20^\circ C$  و

ضریب هدایت سطحی  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} 8$  باشد.

جسم می گردند.

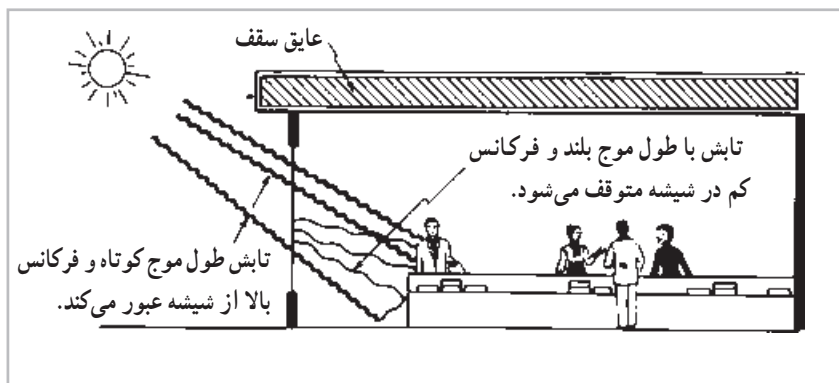
اجسام با رنگ روشن و سطح براق مثل آینه بخش عمده‌ی انرژی تابشی را منعکس می کنند در حالی که مواد با سطح تیره و زبر بیشتر انرژی تابشی را جذب می کنند. جسم جذب کننده‌ی کامل را جسم سیاه می گویند. اجسام شفاف مانند شیشه و هوا بیش تر امواج تابشی را از خود عبور می دهند.

دیوارهای خارجی رو به آفتاب ساختمان، به علت جذب انرژی تابشی، دمایی بالاتر از دمای محیط دارند. شیشه‌ی پنجره‌ها 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 بالارفتن 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 بالارفتن دمای آن



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

ضعیفی هستند چون آن‌ها بیش تر انرژی تابشی را منعکس می کنند.

مقدار تابش به دمای منبع و به نوع سطح بستگی دارد. سطوح سیاه و ناصاف تابش کننده و جذب کننده‌ی خوبی هستند ولی سطوح براق، صاف و روشن، تابش کننده و جذب کننده‌ی

## عوامل مؤثر در تابش گرمایی

مقدار تابش از سطح یک جسم تابش کننده‌ی کامل یا جسم سیاه<sup>۱</sup>، متناسب با توان چهارم دمای مطلق جسم است.

$$H = \sigma A(T^4 - T_e^4)$$

این رابطه به عنوان قانون تابش «استفن» و «بولتزمن»<sup>۲</sup> شناخته شده است. در این رابطه:

T - دمای مطلق هوای محیط بر حسب درجه °K

T - دمای مطلق جسم بر حسب درجه °K

H - گرمای تابشی بر حسب  $\frac{\text{kcal}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$  یا  $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

و  $\sigma$  ثابت تابش است که مقدار آن  $(\frac{\text{kcal}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \times 10^{-11})$  یا  $(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \times 10^{-8})$  است.

مثال: یک رادیاتور دارای سطح سیاه و دمای  $82^\circ\text{C}$  است. اگر سطح مؤثر ۱ متر مربع باشد، مقدار گرمای تابشی را بر حسب W در اتاقی با دمای  $21^\circ\text{C}$  حساب کنید.  
پاسخ:

$$T = 82 + 273 = 355^\circ\text{K}$$

$$T_e = 21 + 273 = 294^\circ\text{K}$$

$$H = 1/35 \times 10^{-11} \frac{\text{kcal}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \times (355^4 - 294^4) \text{K}^4 = 0.114 \frac{\text{kcal}}{\text{s}} = 410 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$H = 5/67 \times 10^{-8} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}\right) \times 1(\text{m}^2) \times (355^4 - 294^4) (\text{K}^4) = 476/9 \text{W}$$

## ۹-۱- انتقال گرما از یک جدار

۱- انتقال گرما از هوای اتاق به سطح داخلی دیوار که به

روش وزش (جابه‌جایی یا همرفت) انجام می‌گیرد.

۲- انتقال گرما از سطح داخلی دیوار به سطح خارجی

آن که به روش هدایت (رسانایی) انجام می‌گیرد.

۳- انتقال گرما از سطح خارجی دیوار به بیرون که

به روش وزش (جابه‌جایی یا همرفت) انجام می‌گیرد.

مثال ۱: در نمودار شکل ۱۲-۱ مقدار گرمای انتقال

یافته از یک متر مربع دیوار را حساب کنید.

اگر در زمستان بخاری را خاموش کنیم یا شیر رادیاتور

را ببندیم پس از مدتی هوای اتاق سرد می‌شود. علت چیست؟

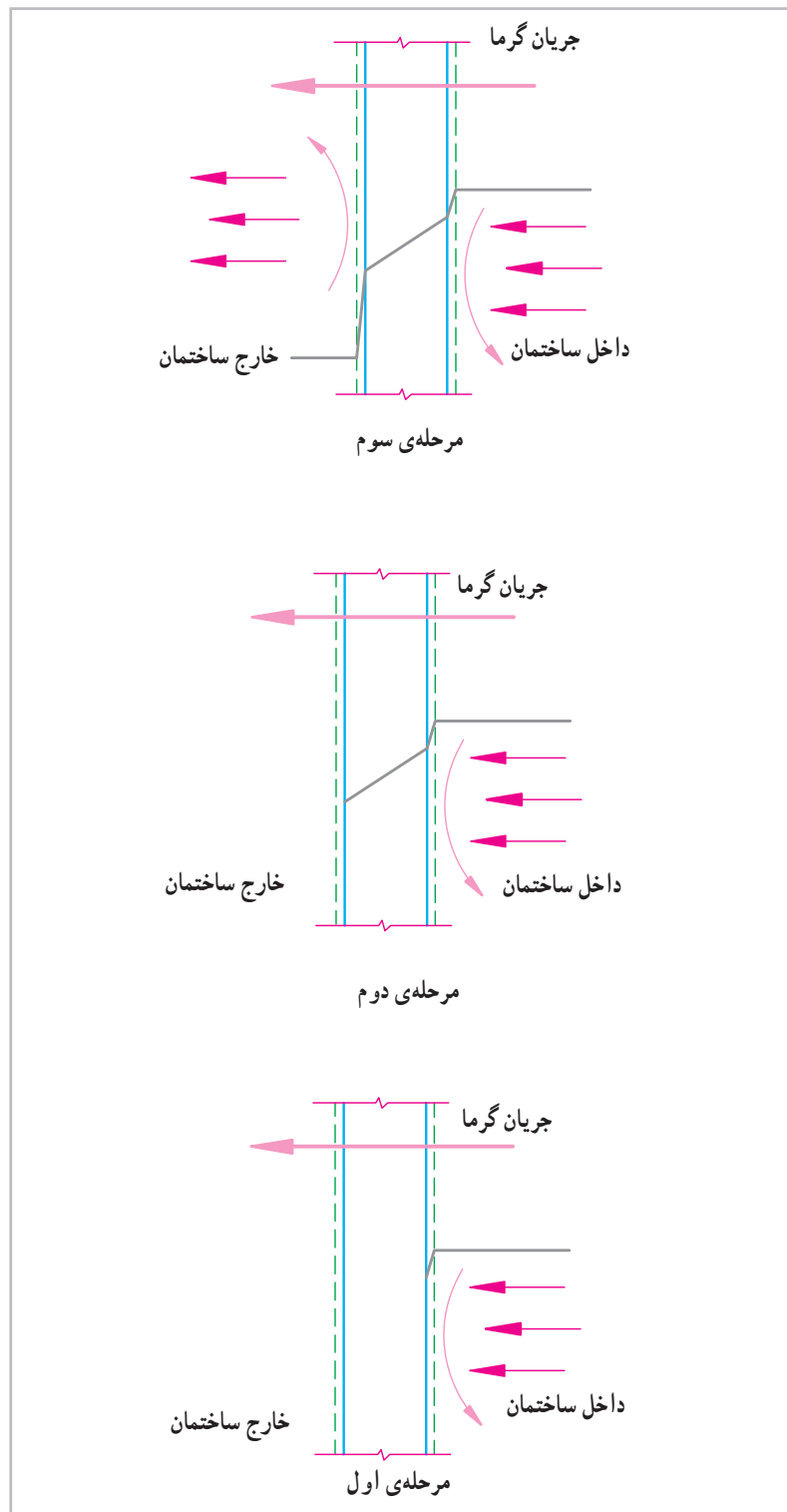
زیرا اتاق نسبت به هوای بیرون دارای دمای بالاتری است در

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.



باشد.

حل:

الف - گرمای انتقال از هوای داخل به سطح داخل

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

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

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

$$H = 75/9 \text{ W}$$

پ - گرمای انتقال یافته از سطح خارجی دیوار به هوای

$$F_o = 18/87 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}}$$

باشد.

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

$$H = 18/87 \times 1 (6/0.24 - 2)$$

$$H = 75/9$$

$$H = 75/9 \text{ W}$$

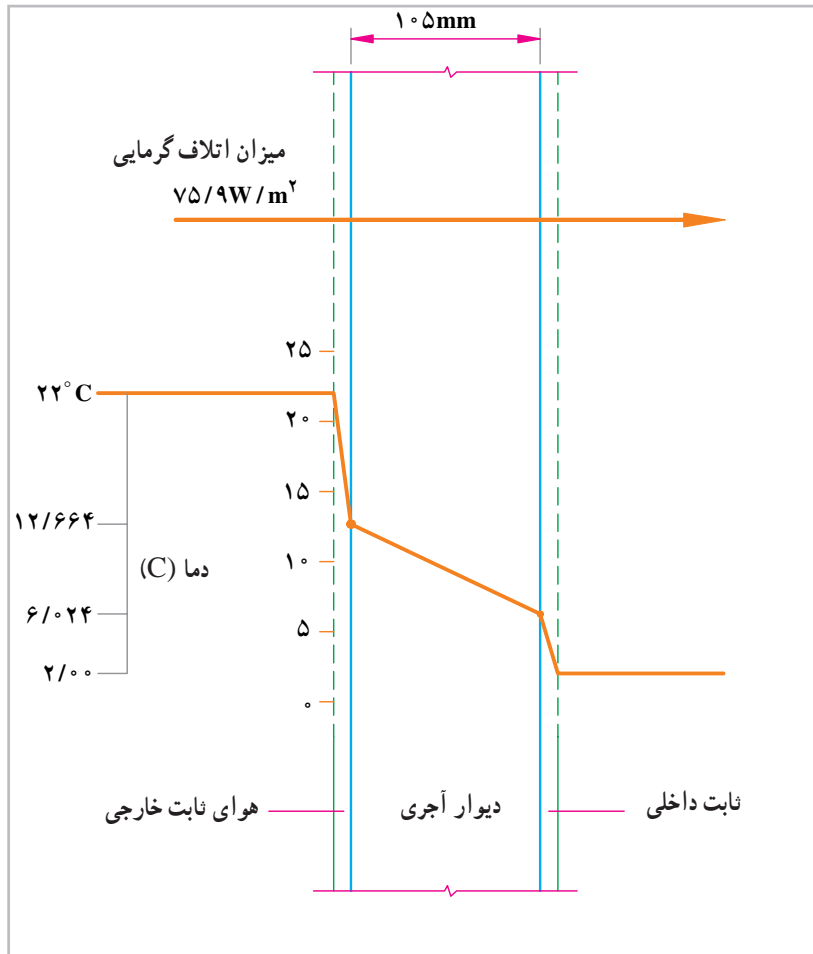
ب - گرمای انتقال یافته از سطح داخلی دیوار به سطح

خارجی دیوار در صورتی که قابلیت هدایت گرمایی

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

$$H = \frac{k}{x} \times A \times (t_f - t_i)$$

$$H = \frac{1/2}{0.105} \times 1 \times (12/664 - 6/0.24)$$



شکل ۱۲-۱- نمودار تغییر دما در انتقال گرما

همان طور که در مثال فوق ملاحظه می‌نمایید مقدار گرمای انتقال در هر سه مرحله برابر است عامل انتقال گرما در مرحله اول  $(t_i - t_f)$ ، در مرحله دوم  $(t_f - t_i)$  و در مرحله سوم

می‌باشد. از آنجایی که تعیین دمای سطح داخل و دمای سطح خارج به آسانی میسر نیست برای محاسبه ی 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

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

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 مرحله برابر باشد:

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

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

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

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.

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

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

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

$$H = 810W$$

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 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

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

۲۲ سانتی‌متری آجری بدون اندود  $2/25 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  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 هدایت گرمایی آن‌ها کم‌تر از  $0/065 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

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

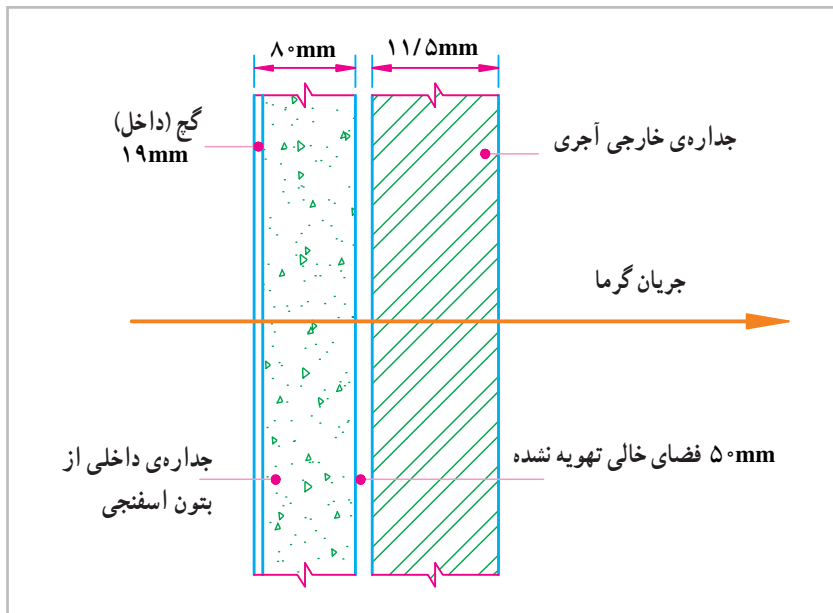
پیدا کرده است که به عنوان وظیفه ملی از آن یاد می‌شود و مقرراتی وضع شده است که مردم و سازندگان را ملزم می‌نماید که در ساختمان دیوارها و سقف‌ها از مواد عایق استفاده کنند و پنجره‌ها و نورگیرها را از شیشه‌های دو جداره بسازند. مقدار  $U$  برای جدارهای خارجی ساختمان نباید از حدود تعیین شده‌ای

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



اگر به جای فاصله هوایی از ۵۰ میلی‌متر عایق پلی‌اورتان 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 پلی‌اورتان ۷۲/۱ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی و سوخت حاصل می‌شود.

برای مشخص شدن تأثیر مواد عایق (گرمابند) به شکل ۱-۱۳ توجه نمایید. شکل ۱-۱۳ 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  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  ۰/۹۵۶ است اگر در ساختمان این دیوار از فاصله هوایی استفاده نمی‌کردیم، مقدار  $U$ ،  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  ۱/۱۲۹ می‌شد و



شکل ۱-۱۳- انتقال گرما در دیوار با فاصله هوایی

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

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

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

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

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

$$\text{مقدار صرفه‌جویی در انرژی با ۵۰ میلی‌متر عایق} = 1/129 - 0/316 = 0/813$$

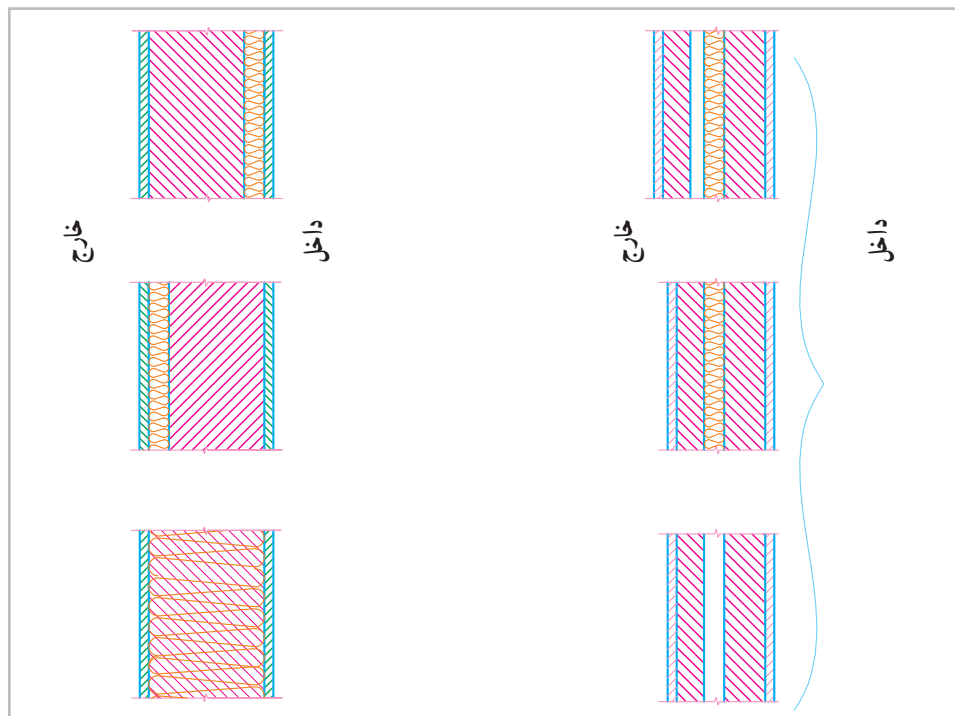
$$\text{درصد صرفه‌جویی} = \frac{0/813}{1/129} \times 100 = 72/1$$

## ۱-۱۰- عایق کاری گرمایی (گرمابندی)

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

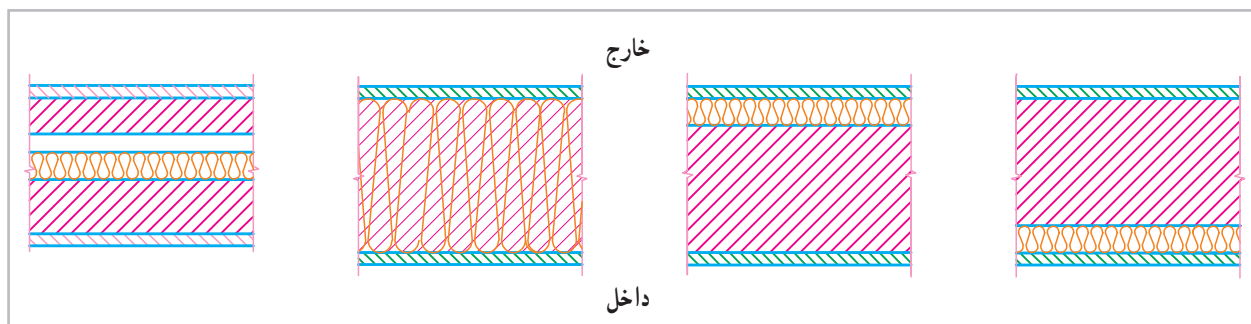
عایق کاری گرمایی می‌تواند از داخل، خارج یا به صورت لایه‌ای در میان عناصر ساختمانی اجرا شود، و یا مصالح تشکیل دهنده عنصر ساختمانی به تنهایی دارای ضریب هدایت گرمایی اندک بوده و مانند عایق گرمایی عمل نماید.

عایق کاری از داخل برای ساختمان‌های با استفاده منقطع (مساجد - کلیسا و ...) مناسب‌ترین نوع محسوب می‌شود در این حالت ساختمان زود گرم می‌شود.  
در عایق کاری از خارج، ساختمان دیرگرم 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 ۱-۱۴ خواهد بود.



شکل ۱-۱۴- عایق کاری دیوارها

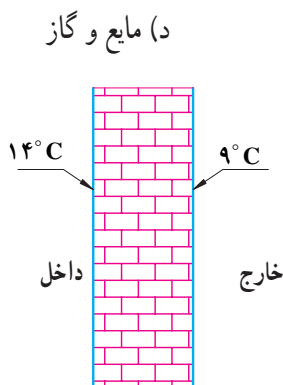
اگر بام و سقف طبقه پوسته خارجی باشند به یکی از روش‌های شکل ۱-۱۵ عایق کاری می‌شوند.



شکل ۱-۱۵- عایق کاری سقف‌ها

## پرسش و تمرین

- ۱- نظریه فلاسفه‌ی 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 جنبشی مولکولی بیان کنید.
- ۵-  $25^{\circ}\text{C}$  چند درجه کلوین است؟
- ۶-  $10^{\circ}\text{C}$  چند درجه کلوین 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  $1^{\circ}\text{C}$  به  $9^{\circ}\text{C}$  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)
- ۱۲- اتاقی به طول ۴ متر و به عرض ۳ متر و ارتفاع ۳ متر در نظر بگیریم اگر مقدار انتقال گرما از اتاق را ناچیز فرض کنیم زمان لازم برای گرم کردن هوای اتاق از  $0^{\circ}\text{C}$  تا  $20^{\circ}\text{C}$  توسط یک رادیاتور آلومینیمی  $1500$  وات (۱۰ پره) را به دست آورید در صورتی جرم حجمی هوا  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{1}{2}$  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 ۱-۱۶

- ۱۹- دمای سطح داخلی یک دیوار بتنی  $14^{\circ}\text{C}$  و دمای سطح خارجی آن  $9^{\circ}\text{C}$  است (شکل ۱-۱۶) در صورتی که ضخامت دیوار  $10$  سانتی‌متر و مساحت دیوار  $20\text{m}^2$  باشد گرمای انتقال یافته از دیوار را حساب کنید.  $(K = \frac{1}{4} \frac{\text{W}\cdot\text{m}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}})$  (پاسخ  $1400$  وات)

۲۰- انتقال گرما به روش وزش را توضیح دهید.

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

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

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

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  $F_i = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  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  $8^{\circ}\text{C}$  و دمای هوای بیرون  $415^{\circ}\text{C}$  است در صورتی که ضریب هدایت

سطح خارج  $F_o = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  باشد مقدار گرمای انتقال یافته از سطح خارجی دیوار به هوای بیرون به روش وزش

را حساب کنید مساحت دیوار  $20\text{m}^2$  است. (جواب  $1400\text{W}$ )

۲۸- دمای هوای داخل اتاق  $2^{\circ}\text{C}$  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  $22$  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  $5$  سانتی‌متر عایق اضافه شود و مقدار  $U$  آن برابر  $0/6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  باشد.

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

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

گاز را در یک ماه به متر مکعب محاسبه کنید اگر ارزش گرمایی گاز طبیعی تقریباً  $40000 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$  باشد.

(جواب  $6480\text{m}^3$ )

۳۰- در اثر عایق‌کاری جدارهای خارجی ساختمان با  $2$  سانتی‌متر عایق پلی‌استایرن به طور متوسط  $5\%$  درصد

از اتلاف گرمایی ساختمان کاسته می‌شود اگر اتلاف گرمایی از یک آپارتمان  $70$  متر مربعی در تهران  $14000\text{W}$  باشد؟

۱- اتلاف گرمایی پس از عایق‌کاری چقدر خواهد شد؟

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

۳- صرفه‌جویی انرژی در یک ساختمان  $10$  واحدی چند وات خواهد بود؟

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

(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 عایق‌کاری  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$   $3/25$  و بعد از عایق‌کاری،  $5$  سانتی‌متر پلی‌استایرن

شده است چند درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی شده است؟  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$   $0/64$

(جواب  $80/3$  درصد)