

# فصل اول

## تعاریف و اصطلاحات

### ۱-۱ انتقال حرارت

به طور کلی جریان حرارت از جسمی با درجه حرارت بیشتر به جسمی با دمای کمتر را انتقال حرارت گویند. مقدار حرارتی که منتقل می‌شود، تابعی از دما (T) و مقاومت جسم در مقابل جریان حرارتی (R<sub>th</sub>) است.  $(R_{th} = \Delta x / KA)$

به طور کلی حرارت از سه طریق منتقل می‌شود: ۱. هدایت، ۲. جابجایی (وزش)، ۳. تشعشع. گرچه اغلب اوقات حرارت از سه طریق انتقال می‌یابد اما بهتر است برای سهولت، هر یک از این سه طریق را به طور جداگانه محاسبه نمود. انتقال حرارت به طور کلی دو حالت دارد:

۱. جریان حرارتی پایدار (دائم) (Steady State): در این حالت مقدار حرارت منتقل شده نسبت به زمان ثابت است.

۲. جریان حرارتی ناپایدار (گذرا)، (Transient): در این حالت مقدار حرارت منتقل شده برحسب زمان متغیر است.

#### ۱-۱-۱ انتقال حرارت از طریق هدایت

گرما همیشه از جسم گرم به جسم سرد منتقل می‌شود. در روش هدایت، هر مولکول یک جسم به دلیل مجاورت با ذره دیگر، تحت تأثیر انرژی بیشتر آن واقع می‌شود و نیز روی ذره دیگری با انرژی کمتر، اثر می‌کند و آن را گرم می‌کند. جریان حرارتی از رابطه فوریه محاسبه می‌شود:

$$q = \frac{KA\Delta T}{\Delta X} \quad (1-1)$$

=q = جریان حرارتی برحسب w یا Btu/h.

=A = سطح جدار برحسب m<sup>2</sup> یا ft<sup>2</sup>.

= ΔT = اختلاف درجه حرارت دو طرف سطح جدار برحسب °C یا °F.

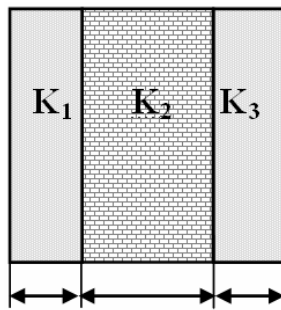
$K$  = ضریب هدایت انتقال حرارت: مقدار گرمایی است که در یک ثانیه از یک مترمربع به ازای یک درجه سانتیگراد اختلاف دما می‌گذرد و برحسب یکی از واحدهای  $w/m \cdot c - BTU/hr.ft^2 \cdot F - kcal/hr.m^2 \cdot c$  بیان می‌شود.

عکس ضریب انتقال حرارتی را مقاومت حرارتی ( $R = \frac{1}{k}$ ) می‌نامند.

هر جسمی که مقاومت حرارتی زیادی داشته باشد، عایق حرارتی خوانده می‌شود. مقاومت حرارتی اجسام تقریباً متناسب با مقاومت الکتریکی آنها است.

**ضریب انتقال حرارت کلی جدار مرکب:** اگر  $\Delta X$  ضخامت و  $k$  ضریب هدایت حرارتی باشد برای یک جدار مرکب شکل ۱-۱ خواهیم داشت:

$$\Delta U = \sum \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{\Delta X_1}{K_1 A_1} + \frac{\Delta X_2}{K_2 A_1} + \frac{\Delta X_3}{K_3 A_1}} \quad (1-2)$$



$\Delta X_i$

شکل ۱-۱ دیوار مرکب

## ۱-۱-۲ انتقال حرارت از طریق جابجایی

انتقال حرارت به وسیله جابجایی سیال گرم به همراه رسانش سیال با محیط را جابجایی گویند. انتقال حرارت جابجایی به دو صورت:

۱. جابجایی اجباری توسط نیروی رانش خارجی مثل فن یا پمپ و...
  ۲. جابجایی طبیعی (آزاد) به دلیل جابجایی هوای گرم و سرد انجام می‌شود.
- عوامل مختلفی مانند سرعت وزش، جهت وزش، وزن مخصوص، گرمای ویژه، غلظت سیال و نوع و ابعاد سطح در انتقال حرارت جابجایی دخالت دارند. معادله عمومی انتقال حرارت جابجایی به صورت زیر است:

$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad (1-4)$$

$T_w$  = درجه حرارت سطح جدار ( $^{\circ}C$ ).

$T_\infty$  = درجه حرارت آزاد سیال (گاز یا مایع) ( $^{\circ}C$ ).

$h =$  ضریب انتقال حرارت جابجایی یعنی مقدار حرارت منتقل شده در یک ثانیه از یک مترمربع سطح به ازای یک درجه سانتی‌گراد اختلاف درجه حرارت ( $w/m^2 \cdot ^\circ C$ ).  
اگر دو طرف یک جدار جریان جابجایی با ضرایب جابجایی  $h_1$  و  $h_2$  برقرار باشد خواهیم داشت:

$$\Delta U = \sum \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{h_1 A} + \sum \frac{\Delta X_i}{K_i A} + \frac{1}{h_2 A}} \quad (1-3)$$

### ۱-۱-۳ انتقال حرارت از طریق تشعشع

در این نوع انتقال حرارت، اجسام به وسیله انتشار امواج الکترومغناطیس حرارت را منتقل می‌کنند و نیازی به محیط مادی ندارند.  
فرمول کلی برای محاسبه حرارت تشعشعی به صورت زیر است:

$$q_{rad} = F_G F_\epsilon \sigma A (T_2^4 - T_1^4) \quad (1-5)$$

که

$q_{rad}$  = مقدار حرارت انتقال یافته از طریق تشعشع ( $w$  یا  $kcal/h$ ).

$F_G$  = ضریب شکل که به شکل ظاهری سطوح تشعشع کننده و سطوحی که تحت تأثیر قرار می‌گیرند، بستگی دارد (بین صفر تا ۱، بدون بعد).

$F_\epsilon$  = ضریب جسم خاکستری (بین صفر تا ۱، بدون بعد).

$A$  = سطح تشعشع کننده ( $m^2$ ).

$T_1$  و  $T_2$  = درجه حرارت مطلق سطوح تشعشع کننده و جذب کننده (کلوین،  $k$ ).

$\sigma$  = ثابت تناسب استفان بولتزمن ( $5.669 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot k^4}$ ).

### ۱-۲ تهویه مطبوع

کنترل دما، رطوبت، درجه خلوص و سرعت حرکت هوا در یک ساختمان را تهویه مطبوع گویند که به منظور تأمین آسایش ساکنان ساختمان و ایجاد شرایطی مطلوب صورت می‌پذیرد.

هدف از تهویه مطبوع، تهیه هوایی است که چهار شرط زیر را داشته باشد:

۱. دمای آن مناسب فضای مورد نظر باشد.

۲. رطوبت آن مناسب فضای مورد نظر باشد.

۳. با توجه به کاربرد آن از نظر تازه بودن و خلوص در شرایط مناسب باشد.

۴. جهت حرکت و سرعت آن مطابق شرایط کار باشد.

### ۳-۱ روش‌های تبادل حرارت بدن با محیط اطراف

بدن انسان ضمن انجام واکنش‌های مختلف شیمیایی مقادیر قابل توجهی انرژی تولید می‌کند که درصد محدودی از آن صرف کار مکانیکی شده و بقیه به حرارت تبدیل می‌شود که موجب افزایش دمای بدن می‌شود. برای تثبیت دمای بدن در  $36/91 + 0/5$  درجه سانتی‌گراد و در نتیجه احساس راحتی و آسایش لازم است انسان با محیط اطراف خود تبادل گرما نماید. این تبادل گرما به طور کلی به چهار روش می‌تواند انجام شود:

۱. جابجایی
۲. تبخیر
۳. تابش
۴. هدایت.

معمولاً انتقال حرارت به طریق هدایت ناچیز است. درصدی که هر یک از سه روش دیگر انتقال حرارت کلی تشکیل می‌دهند بستگی به دما و رطوبت نسبی محیط اطراف دارد. با افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی محیط، مقدار انتقال حرارت به روش‌های جابجایی و تابش کاهش و به روش تبخیر افزایش پیدا می‌کند. در رطوبت نسبی ثابت وقتی دمای خشک محیط افزایش پیدا می‌کند با تعریق بیشتر و افزایش تبخیر در سطح پوست، کاهش انتقال حرارت به طرق جابجایی و تابش را جبران کرده و دمای خود را به حد مطلوب برساند.

### ۴-۱ دمای مؤثر ( $T_e$ )

احساس گرما و سرما در بدن انسان، نه فقط به دمای خشک بلکه به رطوبت هوا نیز بستگی دارد. برای دستیابی به حداقل استاندارد آسایش، گرمای محسوس و نهان، هر دو باید تا سطح قابل قبولی کاهش یابند. بنابراین دمای مؤثر دمایی است که در آن دما چهار عامل مؤثر بر آسایش (دما، رطوبت، سرعت وزش و تمیزی هوا) در حالت بهینه‌ای قرار گرفته باشند.

### ۵-۱ رطوبت

هوا به منزله مخلوطی مکانیکی به خودی خود می‌تواند مقدار متغیری بخار آب را، بسته به دمایی که دارد در خود نگه دارد. وقتی هوا رطوبت را جذب می‌کند یعنی وقتی مرطوب می‌شود، گرمای نهان تبخیر باید از هوا یا منبع دیگری تأمین شود. بر عکس وقتی رطوبت هوا تقطیر می‌شود، گرمای نهان تبخیر بازیافت می‌شود. هوا موقعی اشباع خوانده می‌شود که شامل تمام بخار آبی باشد که می‌تواند در خود نگه دارد. اگر هوای نیمه اشباع، کاهش دما پیدا کند تا محتوای رطوبت آن متناسب با مقداری شود که هوا در آن دما می‌تواند در خود نگه دارد، هوا اشباع می‌شود. اگر دمای هوا باز هم کاهش یابد، متناسب با قابلیت نگهداری، رطوبت آن نیز کاهش می‌یابد در نتیجه رطوبت اضافی تقطیر خواهد شد.

هوای سرد با مقدار کمی بخار آب، اشباع می‌شود درحالی که هوای گرم تا وقتی مقدار زیادی بخار نداشته باشد، اشباع نمی‌شود.

### ۶-۱ سایکرومتریک

علمی است که خواص حرارتی هوای مرطوب را بررسی می‌کند، اندازه‌گیری و کنترل رطوبت هوا را مورد توجه قرار می‌دهد و اثر رطوبت هوای محیط را بر مواد و آسایش اشخاص مطالعه می‌کند.

### ۷-۱ دمای خشک هوا (DB)

دمای هوا که با یک دماسنج معمولی اندازه گرفته می‌شود، دمای خشک هوا نامیده می‌شود. واحد دما در سیستم SI، درجه سلسیوس ( $^{\circ}\text{C}$ ) یا درجه کلونین ( $^{\circ}\text{K}$ ) و در سیستم انگلیسی درجه فارنهایت ( $^{\circ}\text{F}$ ) می‌باشد.

### ۸-۱ دمای مرطوب هوا (WB)

اگر حباب یک دماسنج با یک فتیله مرطوب پوشیده شده و در معرض جریان سریع هوا قرار داده شود (حدود ۵ تا ۱۰ متر بر ثانیه)، دمایی را نشان خواهد داد که دمای مرطوب هوا نامیده می‌شود. تبخیر اثر سرمایی دارد که مستقیماً به میزان رطوبت بستگی دارد. بنابراین درجه دمای مرطوب از دمای خشک کمتر است. مگر آنکه هوا اشباع باشد که در این صورت هر دو دما با هم برابر می‌باشند.

### ۹-۱ دمای اشباع آدیاباتیک

دمایی است که در آن دما، آب بتواند با تبخیر بی‌دررو به داخل هوا (یعنی گرمای نهان خود را از هوای مورد نظر بگیرد)، آن را به حد اشباع برساند.

### ۱۰-۱ دمای نقطه شبنم (DP)

دمایی است که اگر هوا را تا آن دما سرد کنیم، بخار آب موجود در هوا به صورت قطرات آب ظاهر می‌شود (تقطیر می‌شود). توضیح آنکه بخار آب موجود در هوا، در هر درجه حرارتی از هوا دارای یک فشار اشباع می‌باشد که آن دما را دمای اشباع می‌گویند. در یک دمای معین، فشار جزئی بخار ( $P_v$ ) نمی‌تواند از فشار اشباع بیشتر شود. ولی تا حد آن می‌تواند افزایش یابد. از آن پس با افزایش بخار آب، ذرات بخار به صورت مایع ظاهر خواهند شد که در این حالت می‌گویند: هوا از بخار آب اشباع شده و به نقطه شبنم رسیده است. بنابراین دمایی را که در آن بخار آب موجود در هوا به صورت اشباع در می‌آید (یعنی فشار جزئی بخار آب موجود در هوا با فشار اشباع بخار در آن دما برابر می‌شود)، دمای نقطه شبنم می‌نامند که همواره برابر دمای اشباع در فشار جزئی بخار آب می‌باشد.

## ۱-۱۱ رطوبت مطلق

جرم بخار آب موجود در واحد حجم هوا را رطوبت مطلق هوا می‌نامند و بیانگر دانستیه بخار می‌باشد.

## ۱-۱۲ رطوبت نسبی (RH)

نسبت فشار جزئی بخار آب هوا در دمای خشک به فشار جزئی بخار آب هوایی که در همان دمای خشک به حالت اشباع رسیده باشد یا نسبت جرم بخار آب موجود در هوا به جرم بخار آب موجود در هوای اشباع در همان دمای خشک. بسیاری از سیستم‌های تهویه مطبوع، براساس رطوبت نسبی داخلی حدود ۵۰ درصد یا کمی کمتر طراحی می‌شوند. رطوبت نسبی بسته به شرایط فضا تا حد ۶۰ درصد نیز قابل تحمل است.

## ۱-۱۳ نسبت رطوبت (رطوبت ویژه) W

جرم بخار آب موجود در واحد جرم هوای خشک می‌باشد که معمولاً برحسب gr/kg یا kg/kg هوای خشک بیان می‌شود. با معلوم بودن فشار جزئی بخار در نقطه شبنم و دمای نقطه شبنم می‌توان نسبت رطوبت را به دست آورد:

$$W = \frac{(0.622 \text{ kg / kg}) \times P_w}{P - P_w} \quad (1-6)$$

$P_w$ : فشار جزئی بخار آب در دمای نقطه شبنم (Pa)

$P$ : فشار بارومتریک استاندارد در سطح دریا (Pa)

## ۱-۱۴ حرارت محسوس هوا ( $Q_s$ )

صفت محسوس به گرمایش یا سرمایشی اطلاق می‌شود که با افزایش یا کاهش دما، رطوبتی به سیستم افزوده یا از آن کاسته نشود. اگر هوا از روی یک سطح خشک مانند کویل گرمایی، بخاری یا شوفاژ که دمای متوسط آنها از دمای خشک هوا بیشتر باشد، عبور نماید، هوا حرارت محسوس جذب می‌نماید و دمای خشک آن افزایش می‌یابد. اما مقدار بخار (رطوبت مخصوص) آن ثابت می‌ماند.

حرارت محسوس هوا فقط تابع دمای خشک DB است و به عنوان آنتالپی هوای خشک در آن دما در نظر گرفته می‌شود. مثلاً حرارت محسوس لازم برای گرم کردن ۲۰ kg هوای ۱۵°C تا دمای ۵۰°C برابر ۷۰۰ kJ می‌باشد:

$$Q_s = MC_p \Delta T = (20 \text{ kg}) \times (1 \text{ kJ / kg} \cdot \text{K}) \times (50^\circ \text{C} - 15^\circ \text{C}) = 700 \text{ kJ}$$

### ۱-۱۵ حرارت نامحسوس (نهان) هوا ( $Q_L$ )

حرارتی است که وقتی به جسمی اضافه یا از آن کم می‌شود بر دمای جسم اثری نداشته، بلکه حالت آن- را تغییر می‌دهد. حرارت نهان مقدار معینی از هوا، به جرم بخار آب موجود در آن و حرارت نهان تبخیر آب در دمای اشباع بخار آب بستگی دارد و تابع دمای نقطه شبنم است. منبع این حرارت هر عاملی است که بتواند رطوبت هوا را زیاد کند مانند بخار کتری، نفوذ هوای مرطوب از بیرون، اثر بازدم، عرق کردن انسان و غیره.

$$Q_L = M \times W \times h_w \quad (1-7)$$

M: جرم هوای خشک (kg).

W: نسبت رطوبت (kg/kg).

$h_w$ : آنتالپی ویژه بخار آب موجود در هوا که معمولاً برابر آنتالپی بخار اشباع ( $h_g$ ) در دمای نقطه شبنم هوا در نظر گرفته می‌شود (kJ/kg).

### ۱-۱۶ حرارت کل هوا ( $Q_t$ )

حرارت کل هوا (آنتالپی) مجموع حرارت محسوس (آنتالپی هوای خشک) و حرارت نهان (آنتالپی بخار آب) است که برحسب بی‌تی‌یو بیان می‌کنند. این حرارت برابر با کل گرمایی است که دستگاه تهویه مطبوع باید در هر ساعت، از هوا حذف کند:

$$Q_t = Q_s + Q_L \quad (1-8)$$

### ۱-۱۷ جریان حرارتی ( $q$ )

مقدار حرارت منتقل شده در واحد زمان برحسب وات (W) یا ژول بر ثانیه می‌باشد. در دستگاه انگلیسی واحد آن بی‌تی‌یو بر ساعت (BTU/h) می‌باشد.

### ۱-۱۸ مراحل طراحی و محاسبه پروژه‌های تهویه مطبوع

پس از بررسی اولیه ساختمان و انتخاب نوع سیستم تهویه مطبوع، مراحل طراحی شبکه‌ها و محاسبه ظرفیت دستگاه‌ها به صورت زیر انجام می‌شود:

۱. تعیین شرایط طرح برای هوای داخل و خارج ساختمان.

۲. مطالعه و تعیین مشخصات اولیه شامل:

- تعیین موقعیت ساختمان (مشخصات منطقه، جهت یابی، جهت تابش خورشید، وزش باد و...).
- کاربرد ساختمان (مسکونی، اداری، تجاری، صنعتی و...).
- مشخصات هندسی ساختمان (تعیین ابعاد قسمت‌های مختلف ساختمان مانند درب و پنجره، دیوار، سقف، کف و...).

- مصالح ساختمانی (تعیین جنس، ظرفیت حرارتی، ضخامت و...)
  - مشخصات درب و پنجره (چوبی، فلزی، کشویی، لولایی، شیشه‌های یک جداره و چند جداره، جاذب حرارت و...)
  - وضعیت ساکنان (تعداد، نوع فعالیت، تراکم، مدت اقامت، سن و جنس و...)
  - سیستم روشنایی و وسایل برقی (تعیین توان چراغ‌ها، ظرفیت حرارتی وسایل و...).
۳. محاسبه بارهای حرارتی و برودتی ساختمان به صورت دستی یا با کمک نرم‌افزار.
۴. انتخاب نوع سیستم و محاسبه ظرفیت و اندازه‌های تجهیزات سیستم با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، نوع کاربری ساختمان، مسائل اقتصادی و... برای ایجاد شرایط مورد نیاز در داخل ساختمان.
۵. طرح و محاسبه شبکه لوله‌کشی و کانال‌کشی.
۶. تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تهویه مطبوع ساختمان.
۷. برآورد هزینه‌های طرح.

## ۱۹-۱ بار حرارتی (اتلاف حرارتی) ساختمان

- مقدار گرمایی است که ساختمان در فصل زمستان در واحد زمان (یک ساعت) از دست می‌دهد. این تلفات معمولاً به سه روش صورت می‌پذیرد:
۱. اتلاف حرارت به روش هدایت از طریق دیوارها، کف و سقف ساختمان.
  ۲. اتلاف حرارت جابجایی هوای ساختمان به علت نفوذ هوای سرد خارج از طریق درز درب و پنجره‌ها و همچنین تهویه.
  ۳. اتلاف حرارت به وسیله رطوبت زنی هوای ورودی به ساختمان (در صورت استفاده از دستگاه هواساز و نیاز به رطوبت زنی)

## ۲۰-۱ بار برودتی (بهره حرارتی) ساختمان

- مقدار گرمایی است که در فصل تابستان در واحد زمان (یک ساعت) وارد ساختمان می‌شود. این بار مجموعه‌ای از تبادل حرارت از طریق دیوارها، درب‌ها، پنجره‌ها، تابش خورشیدی، گرمای حاصل از حضور ساکنان، سیستم روشنایی و تجهیزات داخل ساختمان، جابجایی هوا به علت نفوذ هوای گرم از درز پنجره‌ها و درب‌ها، تهویه و غیره است.

## ۲۱-۱ شرایط طرح برای داخل ساختمان

- عبارتست از دما، رطوبت، سرعت حرکت و درجه خلوص هوای داخل ساختمان که لازم است با توجه به کاربرد ساختمان در داخل ساختمان به وجود آمده و در طول سال در حد مناسبی کنترل شود.

## ۱-۲۲ شرایط طرح برای خارج ساختمان

عبارت است از دما، رطوبت و سایر مشخصات هوای خارج ساختمان در روز طرح.

### ۱-۲۲-۱ روز بار بیشینه در فصل زمستان

روزی است که دما و رطوبت هوا به پایین‌ترین مقدار ممکن خود در طول سال رسیده و باد با سرعت زیاد وزیدن کند.

### ۱-۲۲-۲ روز بار بیشینه در فصل تابستان

روزی است که دما و رطوبت هوا و میزان تابش خورشید به بیشترین مقدار ممکن در طول سال رسیده باشد و منابع تولید گرما در داخل ساختمان در حد معمول خود مشغول به کار باشند.

### ۱-۲۲-۳ روز طرح

برای هر یک از دو فصل سال، یک روز براساس شرایطی از هوای خارج ساختمان تعیین می‌شود که در طول چند سال به طور مداوم در منطقه مورد نظر تکرار شده باشد. در صنعت تهویه مطبوع، طراحی سیستمی که جوابگوی حداکثر دمای خارج در تابستان باشد، معمولاً ضرورتی ندارد، زیرا این دما به ندرت یا برای مدت کوتاهی به اوج خود می‌رسد. روش معمول این است که سیستم را برای شرایط نه چندان سخت طراحی کرد تا از بالا رفتن هزینه‌ها جلوگیری شود.

