فصل اول

«تعاریف تهویه مطبوع، روابط و فرآیندهای سایکرومتریک»

تعریف تهویه مطبوع

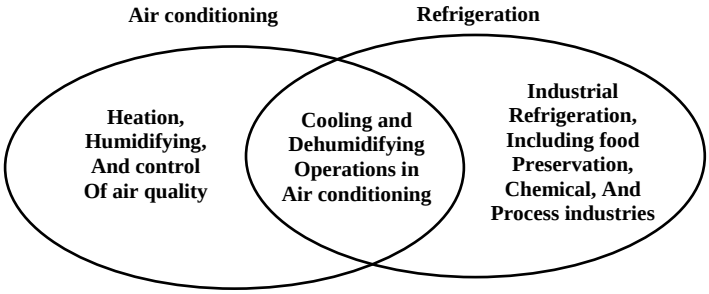
ـ کنترل دما، رطوبت و سرعت حرکت هوا در یک ساختمان را تهویه مطبوع می‌گویند و برای موارد زیر انجام می‌شود:
۱ـ تامین آسایش ساکنان ساختمان.
۲ـ ایجاد شرایطی که برای انجام کار تحقیقاتی، تامین شرایط بهداشتی، تولید محصول و یا نگهداری محصول مورد نیاز است مانند کارخانه‌های نساجی، اتاق‌های عمل بیمارستان‌ها، سالن‌های رنگ کارخانه‌ها و ... .

مثال ۱: کنترل کدامیک از موارد زیر از تعاریف اولیه تهویه مطبوع محسوب می‌شود؟

۱) آنتالپی ۲) رطوبت نسبی ۳) آنتروپی ۴) نوع جریان هوا

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» رطوبت نسبی (RH) یکی از شرایط راحتی محیط و پارامتر اساسی در تهویه مطبوع است.

به همین ترتیب تهویه مطبوع نیز فقط سرمایش را شامل نمی‌شود، تعریف تهویه مطبوع رفاهی (comforf Air- conditioning) عبارت است از «فرآیند بهسازی هوا برای کنترل هم‌زمان درجه حرارت، رطوبت پاکی و توزیع آن برای رفاه آزاد محیط تهویه شده». بنابراین تهویه مطبوع شامل تمام عملیات گرمایش (که عملیات تبرید را دربرنمی‌گیرد مگر در مورد پمپ‌های حرارتی و تنظیم سرعت و درجه حرارت و کیفیت هوا و زدودن ذرات خارجی و بخار موجود در آن می‌باشد.



شکل ۱ـ رابطه زمینه‌های تبرید و تهویه مطبوع

نکته ۱: محدوده درجه حرارت موردنظر در تبرید صنعتی تا $-60^{\circ}C$ می‌باشد.

مثال ۲: کدام‌یک از عملیات‌های ترمودینامیکی زیرشامل تهویه مطبوع محسوب نمی‌شود؟

۱) گرمایش ۲) سرمایش ۳) تبرید ۴) فیلتراسیون

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» عملیات تبرید را نمی‌توان شامل فرآیندهای تهویه مطبوع درنظر گرفت مگر در مورد پمپ‌های حرارتی که در صورت سوال هیچ اشاره‌ای به آن نشده است.

هدف از تهویه مطبوع

ـ هدف از تهویه مطبوع یا هوای مطبوع (Air Condition) فراهم کردن هوایی با شرایط زیر می‌باشد:
۱ـ دمای آن مناسب فضای موردنظر باشد.
۲ـ رطوبت آن مناسب فضای موردنظر باشد.
۳ـ با توجه به کاربرد آن از نظر تازه بودن در شرایط مناسب باشد.
۴ـ جهت حرکت و سرعت آن مطابق شرایط کار باشد.
۵ـ ایجاد شرایطی که در کاربردهای مخصوص با یکدیگر متفاوت است.

به عنوان مثال: در یک کارخانه‌ی پارچه بافی رطوبت باید بیشتر و دمای هوا کمتر باشد تا استحکام نخ‌های به کار رفته در پارچه بیشتر باشد یا در یک کتابخانه لازم است که جریان هوا در امتداد قائم و از بالا به پایین صورت گیرد تا ذرات غباری که از جابجایی کتابها در هوا پخش می‌شوند را در جهت حرکت طبیعی آنها یعنی به طرف کف اتاق و سپس به خارج منتقل کنند و این موضوع باید در سالن‌های رنگ و اسپری ذرات مورد توجه قرار گیرد.

مثال ۳: کدامیک از گزینه‌های زیر پارامتر اساسی تهویه مطبوع می‌باشد؟

۱) افقی بودن جریان هوا ۲) قائم بودن جریان هوا ۳) آنتالپی جریان هوا ۴) جهت حرکت و سرعت جریان هوا

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» افقی یا قائم بودن جریان هوا به کاربردهای ویژه بستگی دارد ولی به طور کلی یکی از اهداف اساسی تهویه مطبوع جهت حرکت و سرعت جریان هوا می‌باشد که باید مطابق شرایط کاری سیستم تهویه مطبوع باشد.

اهمیت سایکرومتری

سایکرومتری (Psy chrometry) مطالعه خواص مخلوط هوا و بخار آب می‌باشد چون هوای اتمسفریک کاملاً خشک نیست و مخلوطی از هوا و بخار آب می‌باشد، این موضوع در تهویه مطبوع عملی از اهمیت خاصی برخوردار است. در برخی از تحولات تهویه مطبوع آب از مخلوط بخار آب و هوای مخلوط گرفته شده و در برخی دیگر آب به آن اضافه می‌شود. اصول سایکرومتری برای محاسبه بار سیستم‌های تهویه مطبوع کویل‌های سرمایی و رطوبت‌گیر، برج‌های خنک‌کننده (coolig Towers) و کندانسورهای تبخیری (Evaporative condensers) و... به‌کار می‌روند. در برخی از دستگاه‌ها تحول انتقال حرارت و جرم بین هوا و سطح مرطوب صورت می‌گیرد. مثل رطوبت‌زن‌ها Humidifiers، کویل‌های سرمایی (Colling coils)، رطوبت‌گیر (Dehumidifying coils) و دستگاه‌های پاشنده آب (water- spray Equipmont).

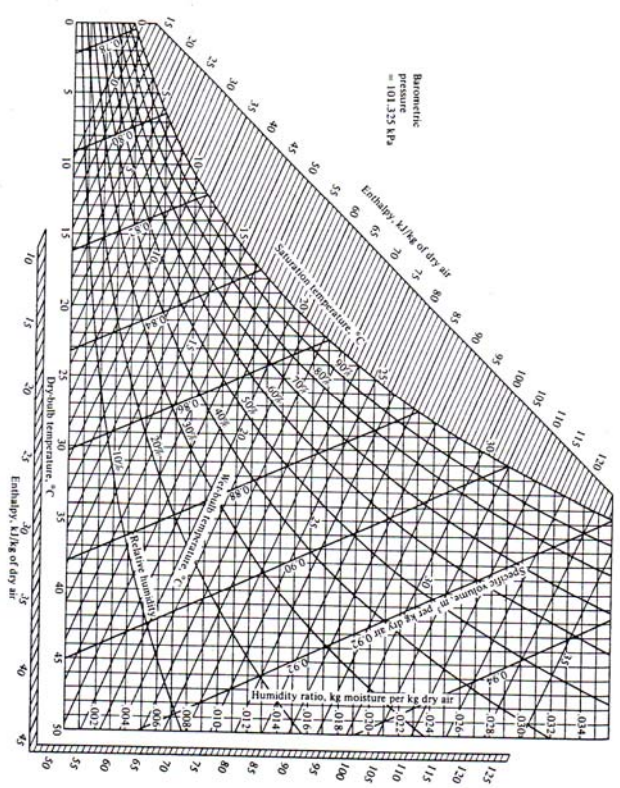
مثال ۴: در کدام‌یک از تجهیزات زیر تحول انتقال حرارت و جرم بین هوا و سطح مرطوب صورت می‌گیرد؟

۱) برج خنک‌کننده ۲) زنت ۳) ایرواشر ۴) همه موارد

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» چون برج خنک‌کننده (coocing Tower) و ایرواشر (Air wosher) و زنت (zent) جز دستگاه‌های پاشنده آب (water- spray Equipment) محسوب می‌شوند.

نمودار سایکرومتریک

با وجود در دسترس بودن نمودارهای نشان‌دهنده خواص سایکرومتری به دو دلیل باید به دنبال تعمیم نمودار باشیم و این خواص باید در شرایط جدید مثلاً فشار اتمسفریک غیراستاندارد قابل محاسبه باشد. تعمیم گام به گام نمودار سایکرومتری از چند فرض برای ساده‌سازی استفاده می‌کند. این فرضیات باید در طول راه با توصیه‌هایی برای محاسبه هر چه دقیق‌تر درنظر گرفته شوند نموداری که به کمک معادلات ساده تعمیم یابد و بتوان آن را در محاسبات مهندسی به‌کار برد، از نظر استدلال دقیق است، ولی باید از دقیق‌ترین نمودار یا اطلاعات موجود استفاده کرد.



شکل ۲ـ نمودار سایکرومتریک

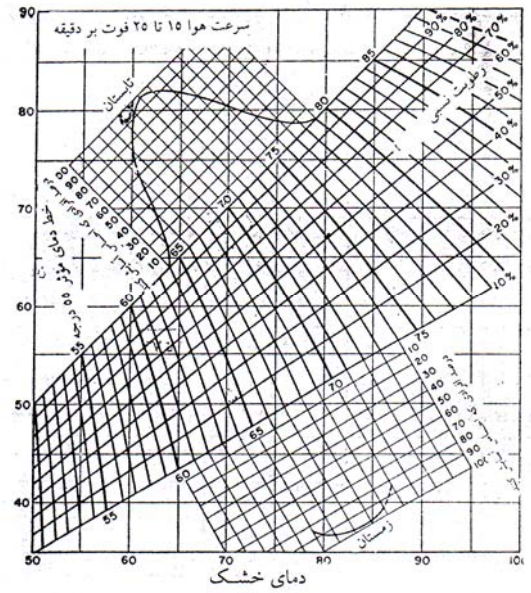
دمای موثر

چهار عامل موثر بر شرایط راحتی و آسایش عبارتند از: دما، رطوبت، سرعت وزش و تمیزی هوا که به طور همزمان روی بدن اثر می‌کنند. بهترین شرایط این است که هر یک از عوامل فوق حالت بهینه خود را داشته باشند، برای نشان دادن نتیجه ترکیب چهار عامل مذکور شاخصی به نام «دمای موثر» تعریف شده است.

ـ شاخص دمای موثر می‌تواند علاوه بر مشخص کردن احساس گرمی و سردی، با تقریب نسبتاً خوبی آسایش را اندازه‌گیری کند که این موضوع در منحنی آسایش مشخص شده است.

اثر عوامل مختلف بر دمای موثر عبارت است از:

۱ـ اثر تبادل حرارت تابشی
۲ـ اثر مناطق آب و هوایی
۳ـ اثر سن و جنس
۴ـ اثر فعالیت
۵ ـ اثر زمان اشغال یا مدت اقامت
۶ـ اثر شوک
۷ـ اثر لباس



شکل ۳ ـ منحنی آسایش

نکته ۲: اگر شخصی لباس مناسب پوشیده باشد، محدوده‌های زیر همواره برقرارند:

۱ـ درجه حرارت موثر $20^\circ C$ تا $26^\circ C$

۲ـ درجه حرارت نقطه‌ی شبنم ۲ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد

۳ـ سرعت میانگین هوا $0/25 m/s$

مثال ۵: عوامل تاثیرگذار بر شاخص اساسی دمای موثر کدامند؟

۱) رطوبت مطلق ـ آنتالپی ـ وزش هوا ـ دمای خشک هوا
۲) دما ـ رطوبت ـ سرعت وزش ـ تمیزی هوا
۳) رطوبت نسبی ـ تمیزی هوا ـ انرژی داخلی هوا ـ سرعت هوا
۴) رطوبت ـ وزش هوا ـ دما ـ ذرات گرد و غبار هوا

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» چهار عامل موثر بر شرایط راحتی (شرایط آسایش) عبارتند از: ۱ـ دما ۲ـ رطوبت ۳ـ سرعت وزش ۴ـ تمیزی هوا که بطور همزمان روی بدن اثر می‌کند.

هوای خشک و هوای مرطوب

هوای مخلوطی از گاز نیتروژن، اکسیژن و مقادیر کمی از سایر گازهاست. هوای اتمسفر معمولاً حاوی مقداری بخار آب (یا رطوبت) است و آن را هوای اتمسفر یک می‌گویند. در مقابل هوایی را که فاقد بخار آب است هوای خشک می‌گویند. اغلب بهتر است هوا را به صورت مخلوطی از بخار آب و هوای خشک در نظر بگیریم زیرا ترکیب هوای خشک نسبتاً ثابت است، اما مقدار بخار آب بر اثر چگالش و تبخیر ناشی از اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، بارش و حتی بدن انسان تغییر می‌کند. اگرچه مقدار بخار آب در هوا کم است، نقش مهمی در آسایش انسان و از این رو در بررسی کاربردهای تهویه مطبوع دارد.

ـ دمای هوا در کاربردهای تهویه مطبوع در گستره‌ی تقریبی $-10^\circ C$ تا $50^\circ C$ است و برای شرایط راحتی انسان در گستره‌ی $23^\circ C$ تا $25^\circ C$ می‌باشد.

ـ در گستره‌ی تقریبی کلی دمای هوا در تهویه مطبوع، هوای خشک را به صورت گاز ایده‌آل با C_p برابر $1/005 \frac{kj}{kg.k}$ [$0/240 \frac{Btu}{Lbm.R}$] با خطای ناچیز کمتر از ۰/۲ درصد می‌توان گرفت.

$$h_{\text{هوای خشک}} = C_p T = [1/005(\frac{kj}{kg^\circ C})]\,T \qquad (\frac{kj}{kg})$$

$$\Delta h_{\text{هوای خشک}} = C_p\,\Delta T = [1/005(\frac{kj}{kg^\circ C})]\Delta T \qquad (\frac{kj}{kg})$$

$h = u + PV$ $\qquad$ C_p = گرمای ویژه در فشار ثابت

u = انرژی داخلی $(\frac{kj}{kg})$ $\qquad$ T = درجه حرارت هوای خشک

h = آنتالپی $(\frac{kj}{kg})$, P فشار (پاسکال Pa) , V حجم (m^3)

مثال ۶: برای شرایط راحتی انسان درجه حرارت باید در چه گستره‌ای قرار گیرد؟

۱) $۲۳^{\circ}C$ تا $۲۶^{\circ}C$ ۲) $-۱۰^{\circ}C$ تا $-۵۰^{\circ}C$ ۳) $۲۳^{\circ}C$ تا $۲۵^{\circ}C$ ۴) $۲۰^{\circ}C$ تا $۳۰^{\circ}C$

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» پارامترهای شرایط راحتی عبارتند از: ۱ـ درجه حرارت ۲ـ رطوبت نسبی ۳ـ سرعت جریان هوا که درجه حرارت باید در گستره‌ی $۲۳^{\circ}C$ تا $۲۵^{\circ}C$ قرار گیرد.

مثال ۷: اگر دمای هوایی $۲۶^{\circ}c$ باشد مطلوبست آنتالپی هوای خشک؟

۱) ۲۹ ۲) ۲۶/۱۳ ۳) ۳۰۰/۴۹۵ ۴) ۶۰

☑ **پاسخ:** گزینه «۲»

$$h = ۱/۰۰۵T = ۱/۰۰۵ \times ۲۶^{\circ}C = ۲۶/۱۳ \ \frac{kj}{kg}$$

ـ هوای اتمسفر یک را به صورت مخلوطی از گازهای ایده‌آل می‌توان در نظر گرفت که فشار آن فشار پاره‌ای هوای خشک Pa و فشار بخار آب P_V برابر است: $P = P_a + P_v \quad (Kpa)$

فشار پاره‌ای بخار آب را معمولاً فشار بخار می‌گویند و فشاری است که بخار آب به تنهایی در دما و حجم مخلوط دارا می‌باشد.

نکته ۳: آنتالپی بخار آب موجود در هوا را با آنتالپی بخار اشباع در همان دما می‌توان برابر دانست یعنی: $h_v \ (T \text{ و کم } P) \cong h_g(T)$

ـ آنتالپی بخار آب در $۰^{\circ}C$ برابر با $۲۵۰۱/۳ \frac{kj}{kg}$ است که در محاسبات تهویه مطبوع گاهی اوقات مقدار آن را $۲۵۰۰ \frac{kj}{kg}$ در نظر می‌گیرند و مقدار متوسط C_P برای بخار آب در گستره‌ی دمایی تهویه مطبوع برابر با $۱/۸۸ \frac{kj}{kg^{\circ}c}$ می‌باشد.

بنابراین آنتالپی بخار آب (هوای مرطوب) را با خطای ناچیز می‌توان از رابطه‌های زیر تعیین کرد:

$$h_g(T) \cong ۲۵۰۱/۳ + ۱/۸۸T \quad (\frac{kj}{kg})$$

ـ T درجه حرارت برحسب $^{\circ}C$

یا $h_g(T) \cong ۲۵۰۰/۳ + ۱/۸۸T \quad (\frac{kj}{kg})$

یا $h_g(T) \cong ۱۰۶۱/۵ + ۰/۴۳۵T \quad (\frac{Btu}{Lbm})$

ـ T درجه حرارت برحسب $^{\circ}F$

مثال ۸: آنتالپی بخار آب در صفر درجه‌ی سانتی‌گراد کدام است؟

۱) $۲۵۰۰ \frac{kj}{kg}$ ۲) $۱/۸۸ \frac{kj}{kg}$ ۳) $۱۰۶۱/۵ \frac{kj}{kg}$ ۴) $۳۰۰۰ \frac{kj}{kg}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» آنتالپی بخار آب در $۰^{\circ}c$ برابر با $۲۵۰۱/۳ \frac{kj}{kg}$ می‌باشد که گاهی اوقات در محاسبات تهویه مطبوع آن را $۲۵۰۰ \frac{kj}{kg}$ در نظر می‌گیرند.

رطوبت مخصوص و رطوبت نسبی هوا و هوای اشباع

ـ رطوبت مخصوص یا نسبت رطوبت (رطوبت مطلق): عبارت است از نسبت جرم بخار آب موجود در حجم معینی از هوا به جرم هوای خشک در همان حجم هوا در یک درجه ثابت را نسبت رطوبت یا رطوبت مخصوص می‌نامیم و آن را با ω نمایش می‌دهیم.

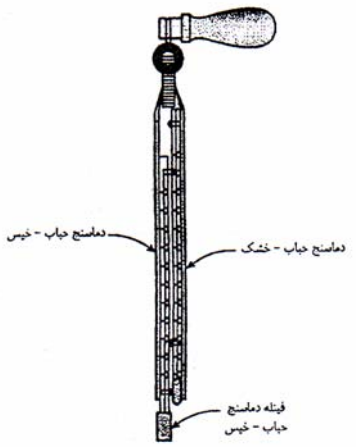
ω = رطوبت مطلق یا مخصوص

m_v = جرم بخار آب موجود در حجم معینی از هوا

m_a = جرم هوای خشک در حجم معینی از هوا

$$۱) \ \omega = \frac{m_v}{m_a} \ (\frac{\text{کیلوگرم بخار آب}}{\text{کیلوگرم هوای خشک}})$$

$$۲) \ \omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{\frac{P_v v}{(R_v T)}}{\frac{P_a v}{(R_a T)}} = \frac{\frac{P_v}{R_v}}{\frac{P_a}{R_a}} = ۰/۶۲۲ \frac{P_v}{P_a}$$



شکل ۴ـ رطوبت‌سنج دمایی چرخان

و چون:

$$P_a = P - P_v \Leftarrow P = P_a + P_v$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$۳) \omega = \frac{۰/۶۲۲P_v}{P - P_v} \ (\frac{\text{کیلوگرم بخار آب}}{\text{کیلوگرم هوای خشک}})$$

P_a فشار هوای خشک = P_a P_v فشار بخار آب = P_a $P = ۱۰۱۳۲۵P_a$ فشار کل =

مثال ۹: اگر فشار هوای خشک برابر با $۴۶۲۵P_a$ باشد مطلوبست فشار بخار آب موجود در هوا؟

۱) $۱۰۵۹۵۰P_a$ ۲) $۱۰۹۵۵۰P_a$ ۳) $۹۶۷۰۰P_a$ ۴) $۹۷۶۰۰P_a$

پاسخ: گزینه «۳»

$P = P_v + P_a$

$P = ۱۰۱۳۲۵P_a = ۱atm = ۱۴/۷psi \;\; ; \;\; P_v = ? \;\; P_a = ۴۶۲۵\ P_a \Rightarrow P_v = P - P_a = ۱۰۱۳۲۵ - ۴۶۲۵ = ۹۶۷۰۰\ P_a$

هوای اشباع

۱ kg هوای خشک را در نظر بگیرید. طبق تعریف، هوای خشک فاقد بخار آب است، و از این روی رطوبت مخصوص آن صفر است. اکنون مقداری بخار آب به این هوای خشک اضافه می‌کنیم. رطوبت مخصوص افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر بخار یا رطوبت، رطوبت مخصوص همچنان افزایش می‌یابد تا این که هوا دیگر نمی‌تواند رطوبت بیشتری را بپذیرد در این حالت می‌گویند هوا از رطوبت اشباع شده است و آن را هوای اشباع می‌گویند.

رطوبت نسبی هوا: نسبت جرم بخار آب موجود در حجم معینی از هوا به جرم بخار اشباع در همان حجم هوا در یک درجه حرارت معین را رطوبت نسبی می‌نامیم و آن را با RH نمایش می‌دهیم.

$$RH = \frac{P_v}{P_s} \times ۱۰۰ \quad \text{و} \quad RH = \frac{m_v}{m_s} \times ۱۰۰$$

یا فشار جزئی آب موجود در هوا در یک درجه حرارت مشخص تقسیم بر فشار اشباع بخار آب در همان درجه حرارت و همان حجم رطوبت نسبی (RH) نامیده می‌شود.

رطوبت نسبی که برحسب درصد بیان می‌شود = RH

m_v = جرم بخار آب موجود در هوا (kg)

m_s = جرم بخار آب موجود در هوای اشباع (kg)

P_v = فشار جزئی بخار آب موجود در هوا (P_a)

P_s = فشار جزئی بخار آب در حالت اشباع (P_a)

مثال ۱۰: نسبت جرم بخار آب موجود در حجم معینی از هوا به جرم بخار اشباع در همان حجم هوا در یک درجه حرارت معین چه نامیده می‌شود؟

۱) رطوبت مخصوص ۲) رطوبت نسبی ۳) رطوبت مطلق ۴) نسبت رطوبت

پاسخ: گزینه «۲»

m_v = جرم بخار آب موجود در حجم معینی از هوا

m_s = جرم بخار آب در حالت اشباع در همان حجم

RH = رطوبت نسبی برحسب درصد

$$RH = \frac{m_v}{m_s} \times ۱۰۰$$

حجم مخصوص هوا و آنتالپی هوا

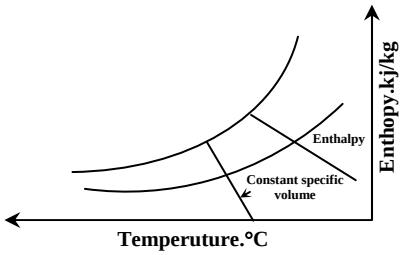
حجم مخصوص هوا: حجم مخصوص هوا عبارت است از حجم هوای مرطوب به جرم هوای خشک در همان حجم.

V = حجم هوای مرطوب ($m^۳$)

m_{da} = جرم هوای خشک (kg da)

υ_a = حجم مخصوص هوا $\frac{m^۳}{kg\ da}$

$$\upsilon_a = \frac{V}{m_{da}}\ [\frac{m^۳}{kg\ da}][\frac{\text{مترمکعب}}{\text{کیلوگرم هوای خشک}}]$$



شکل ۵ـ خط حجم مخصوص ثابت

مثال ۱۱: واحد حجم مخصوص هوا کدام است؟

۱) $\frac{m^۳}{kg}$ ۲) $\frac{m^۳}{kg\ da}$ ۳) $\frac{m^۳}{kg\ wb}$ ۴) $\frac{m^۳}{Lbm}$

پاسخ: گزینه «۲»

$$\upsilon_a = \frac{V}{m_{da}}[\frac{m^۳}{kg\ da}]$$

که همان مترمکعب برکیلوگرم هوای خشک است.

ـ آنتالپی کل هوای اتمسفریک (آنتالپی هوای مخلوط): آنتالپی کل هوای اتمسفریک (که یک خاصیت بسیط است) برابر است با مجموع آنتالپی‌های هوای خشک و بخار آب:

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v$$

با تقسیم کردن بر m_a :

۱) $h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + \omega h_v$ یا ۲) $h = \frac{H}{m_a} = h_a + \omega h_g (\frac{kj}{kg\ da})$

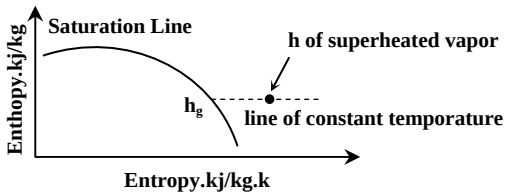
زیرا $h_v \cong h_g$

۳) $h = ۱/۰۰۵t + \omega(۲۵۰۰ + ۱/۸۸t)\ (\frac{kj}{kg})$

ـ T درجه حرارت هوا بر حسب $^{\circ}c$ ـ ω رطوبت مطلق یا مخصوص $(\frac{\text{کیلوگرم بخار آب}}{\text{کیلوگرم هوای خشک}})$

ـ h_a آنتالپی هوای خشک $(\frac{kj}{kg})$ $h_v \cong h_g$ = آنتالپی بخار آب (هوای مرطوب) $(\frac{kj}{kg})$

h = آنتالپی کل هوای اتمسفریک یا آنتالپی هوای مخلوط $(\frac{kj}{kg})$



شکل ۶ـ خط درجه حرارت ثابت نشان می‌دهد که آنتالپی بخار آب مافوق داغ تقریباً برابر با آنتالپی بخار اشباع در همان درجه حرارت است.

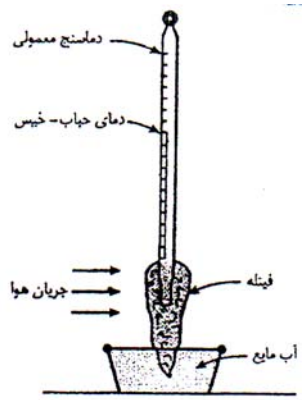
مثال ۱۲: در رابطه‌ی $h = ۱/۰۰۵t + \omega(۲۵۰۰ + ۱/۸۸t)$ کمیت ω کدام است؟

۱) رطوبت نسبی ۲) وزن هوا ۳) حجم مخصوص هوا ۴) رطوبت مطلق

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» کمیت ω رطوبت مطلق یا نسبت رطوبت و کمیت t درجه حرارت می‌باشد.

درجه حرارت خشک (dbt): به درجه حرارتی که به طور معمولی یک دماسنج نشان می‌دهد درجه حرارت خشک می‌گویند و در این حالت مخزن دماسنج آزاد است و پوششی ندارد و به آن درجه حرارت خشک یا دمای حباب ـ خشک گفته می‌شود.

درجه حرارت مرطوب (wbt): دور مخزن دماسنج معمولی را توسط پارچه یا پنبه می‌پوشانیم و آن را با آب خیس می‌کنیم و در برابر جریان هوا قرار می‌دهیم و درجه حرارتی که دماسنج نشان می‌دهد، درجه حرارت حباب خیس یا درجه حرارت مرطوب نامیده می‌شود.



شکل ۷ـ ترتیب ساده‌ای برای اندازه‌گیری دمای حباب خیس (T_{wb})

نکته ۴: همیشه درجه حرارت مرطوب از خشک کمتر است مگر در شرایط هوای اشباع که با یکدیگر مساویند.

مثال ۱۳: به درجه حرارتی که یک دماسنج به طور معمولی نشان می‌دهد ..... می‌گویند.

۱) درجه حرارت خشک ۲) درجه حرارت مرطوب ۳) درجه حرارت مخلوط ۴) درجه حرارت نرمال

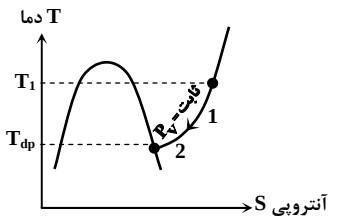
☑ **پاسخ:** گزینه «۱» درصورتی‌که اطراف مخزن دماسنج پوششی نداشته باشد و بطور آزاد در فضایی قرار گیرد دماسنج درجه حرارت حباب خشک (T_{db}) را نشان می‌دهد.

درجه حرارت نقطه‌ی شبنم (dPT)

ـ دمای نقطه شبنم، T_{dp} دمایی است که در آن، با سرد شدن هوا در فشار ثابت چگالش شروع می‌شود. به عبارت دیگر، T_{dp} دمای اشباع آب متناظر با فشار بخار است:

$$T_{dp} = T_{sat} @ P_v$$

طبق شکل مقابل وقتی هوا در فشار ثابت سرد می‌شود، فشار بخار P_v ثابت می‌ماند. بنابراین، بخار موجود در هوا (حالت ۱) دست‌خوش فرآیند سرمایش با فشار ثابت می‌شود تا به خط بخار اشباع برخورد می‌کند (حالت ۲). دما در این نقطه T_{dp} است و اگر دما بیشتر افت کند، مقداری بخار چگالیده می‌شود. در نتیجه مقدار بخار موجود در هوا کاهش می‌یابد، و باعث کاهش P_v می‌شود. هوا در طی فرآیند چگالش به صورت اشباع باقی می‌ماند و از این رو از مسیر رطوبت نسبی ۱۰۰درصد (خط بخار اشباع) پیروی می‌کند. دمای معمولی و دمای نقطه شبنم هوای اشباع با هم یکسانند.



شکل ۸ ـ سرمایش هوای مرطوب در فشار ثابت و دمای نقطه شبنم در نمودار T-S آب

مثال ۱۴: کدامیک از گزینه‌های زیر صحیح است؟

۱) $T_{dp} = T_{wb} @ P_v$ ۲) $T_{dp} = T_{sat} @ P_g$ ۳) $T_{dp} = T_{sat} @ P_v$ ۴) $T_{dp} = T_{wb} @ P_g$

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» چون دمای اشباع آب متناظر با فشار بخار است (در دمای نقطه‌ی شبنم) به عبارت دیگر: $T_{dp} = T_{sat} @ P_v$

ضریب حرارت محسوس (S.H.F): نسبت تغییرات حرارت محسوس به تغییرات حرارت کل را ضریب حرارت محسوس می‌گویند.

ضریب حرارت محسوس = S.H.F

تغییرات حرارت محسوس = ΔHS

تغییرات حرارت کل = ΔHT

$$S.H.F = \frac{\Delta HS}{\Delta HT}$$

مثال ۱۵: درصورتی‌که مقدار گرمای محسوس یک مقدار ثابتی باشد و مقدار گرمای نهان صفر باشد، مقدار ضریب حرارت محسوس چقدر می‌باشد؟

۱) صفر ۲) یک ۳) بی‌نهایت ∞ ۴) ۱۰

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» $(S \cdot H \cdot F)$ ضریب حرارت محسوس $= \frac{\text{حرارت محسوس}}{\text{حرارت نهان} + \text{حرارت محسوس}} \Rightarrow \frac{\text{حرارت محسوس}}{\text{حرارت محسوس} + ۰} = ۱ \Rightarrow S \cdot H \cdot F = ۱$

نمودار رطوبت سنجی (نمودار سایکرومتریک هوا)

نمودار رطوبت سنجی وسیله با ارزشی برای تحلیل فرآیندهای تهویه مطبوع نیز می‌باشد و همه‌ی کمیت‌هایی که تا حال تشریح کردیم را با داشتن دو کمیت معلوم بدون محاسبه‌ی فرمولی ارائه می‌دهد و سرعت عمل را در محاسبات مهندسی تهویه مطبوع افزایش می‌دهد.

T_{db} = درجه حرارت خشک یا دمای حباب خشک هوا

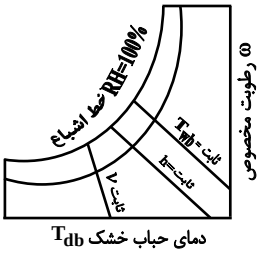
T_{wb} = دمای حباب خیس یا درجه حرارت مرطوب هوا

ω = رطوبت مخصوص یا نسبت رطوبت هوا

RH = رطوبت نسبی هوا

h = آنتالپی هوا

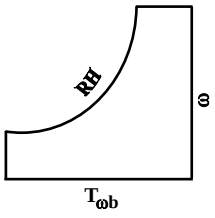
υ = حجم مخصوص هوا



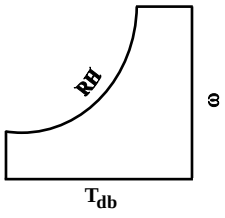
شکل ۹ـ طرحواره نمودار رطوبت سنجی

مثال ۱۶: کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح نمی‌باشد؟

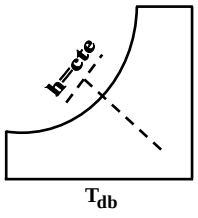
(۱)



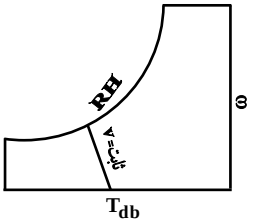
(۲)



(۳)



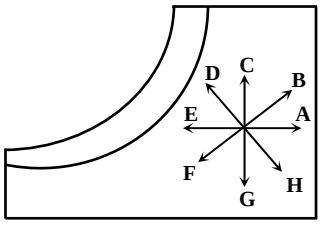
(۴)



☑ **پاسخ:** گزینه «۱» چون در گزینه ۱ در چارت سایکرومتریک خطی که $T_{\omega b}$ را نشان داده است صحیح نمی‌باشد و آن خط T_{db} را نشان می‌دهد ولی بقیه پارامترها یعنی ω و RH صحیح می‌باشند.

تحول‌های مختلف براساس نمودار سایکرومتریک هوا

- **تحول A:** فقط گرم کردن هوا با کویل بخار، کویل آب داغ و یا هیترالکتریکی.
- **تحول B:** گرم کردن و رطوبت زدن هم زمان انجام می‌شود. (رطوبت به صورت بخار یا به صورت آب‌گرم روی کویل اسپری می‌شود).
- **تحول C:** در این تحول به صورت ایزوترم فقط رطوبت به سیستم اضافه می‌شود. (شستشوی هوا با آب‌گرم هم دما)
- **تحول D:** سرد کردن و رطوبت زدن (تحول آدیاباتیک) شستشوی هوا.
- **تحول E:** فقط سرد کردن هوا (نقطه‌ی شبنم ثابت) با کویل سرمایش.
- **تحول F:** سرد کردن و رطوبت‌گیری با استفاده از کویل‌های سرد.
- **تحول G:** فقط رطوبت‌گیری (غیرممکن و غیرعملی)
- **تحول H:** رطوبت‌گیری به روش شیمیایی که در نتیجه درجه حرارت خشک هوا افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰

مثال ۱۷: درصورتی‌که جریان هوایی را از روی یک کویل برودتی عبور دهیم نمودار سایکرومتریک کدام است؟

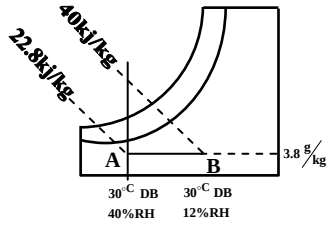
(۴) (۳) (۲) (۱)

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» که در آن تحول ۱ـ۲، تحول فقط سرمایش (نقطه‌ی شبنم ثابت) می‌باشد.

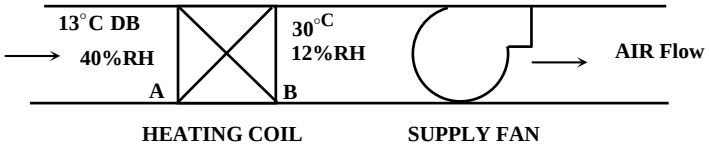
تحول‌های مختلف هوا در سیستم‌های تهویه مطبوع

۱ـ تحول گرمایش با رطوبت مخصوص ثابت:

گرم کردن هوا توسط یک هیتر یا کویل گرمایشی بدون اضافه کردن رطوبت می‌باشد.



شکل ۱۱ ـ نمودار سایکرومتریک تحول گرمایش محسوس

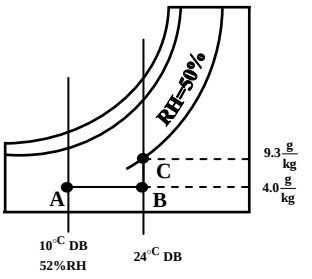


شکل ۱۲ ـ سیستم حرارتی محسوس (تحول گرمایش محسوس)

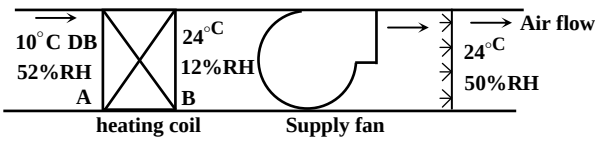
۲ـ تحول گرم کردن و رطوبت زدن:

هوا پس از عبور از روی یک کویل حرارتی، به صورت محسوس گرم شده و رطوبت نسبی (RH) آن به شدت کاهش می‌یابد تحول $A \rightarrow B$ برای افـزایش رطوبت نسبی بایستی مجدداً بخار آب به هوا اضافه شود.

تحول $A \rightarrow B$ گرمایش محسوس و تحول $B \rightarrow C$ ایزوترم می‌باشد در این تحول، بخار همدما به سیستم اضافه می‌شود.

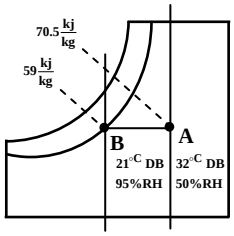


شکل ۱۳ ـ نمودار سایکرومتریک یک سیستم حرارتی با رطوبت‌زن

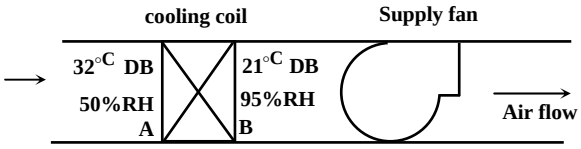


شکل ۱۴ـ یک سیستم حرارتی با رطوبت‌زن

۳ـ تحول سرمایش: در این تحول هوا از روی کویل برودتی سرد و خشک عبور می‌کند و درجه حرارت خشک آن کاهش یافته و رطوبت نسبی آن افزایش می‌یابد (عکس تحول گرمایش)



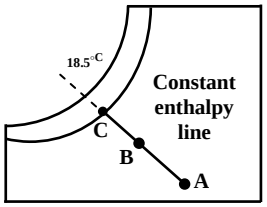
شکل ۱۵ـ تحول سرد کردن روی نمودار سایکومتریک



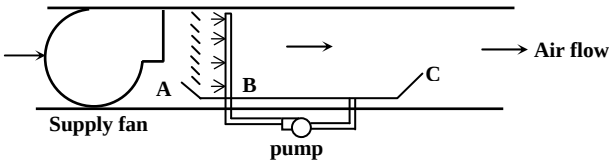
شکل ۱۶ـ سیکل برودتی (سرد کردن هوا)

۴ـ تحول آدیاباتیک (بی‌دررو): این تحول بیشتر در دستگاه‌های شستشوی هوا یا کولرهای آبی انجام می‌شود.

ـ در تحول آدیاباتیک و آنتالپی ثابت زیر با اضافه کردن رطوبت به هوا دمای خشک هوا کاهش می‌یابد. زیرا مقداری از حرارت هوا صرف تبخیر آب می‌شود.



شکل ۱۷ـ نمودار سایکرومتریک سیستم شستشوی هوای ساده



شکل ۱۸ـ سیستم شستشوی هوای ساده

مثال ۱۸: کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد سایکرومتریک کولرهای آبی یا دستگاه‌های شستشو دهنده‌ی هوا صادق است؟

۱) $S_1 = S_2$ ۲) $T_1 = T_2$ ۳) $P_1 = P_2$ ۴) $h_1 = h_2$

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» به دلیل این که تحول آنها آدیاباتیک می‌باشد و آنتالپی در این تحول در حالت ابتدایی و انتهایی برابر است.

بنابراین: $h_1 = h_2 \Rightarrow \Delta h = 0$

آسایش انسان و تهویه مطبوع

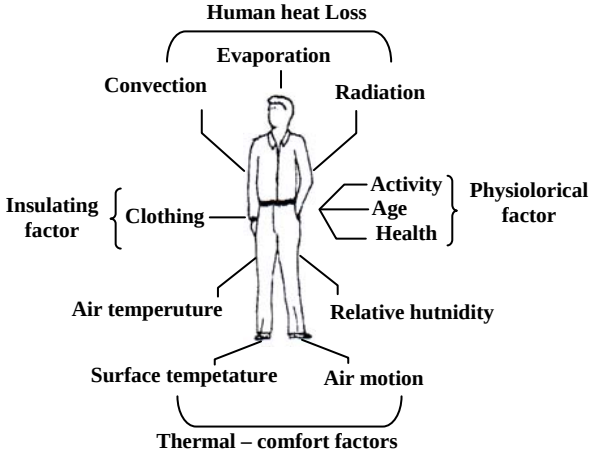
انسان ذاتاً ضعف‌هایی دارد می‌خواهد احساس آرامش کند. انسان می‌خواهد در محیطی که نه گرم است و نه سرد، نه مرطوب است و نه خشک، زندگی کند. اما آسایش به سادگی حاصل نمی‌شود. زیرا نیازهای بدن انسان و آب و هوا معمولاً با هم به طور کامل سازگاری ندارند. کسب آسایش احتیاج به تلاش دائم بر علیه عواملی دارد که ما یه ناراحتی می‌شوند از قبیل: دمای زیاد یا کم، رطوبت زیاد یا کم، سرعت جریان هوای زیاد یا کم.

بنابراین مشخصات شرایط راحتی یا شرایط آسایش عبارتند از:

۱ـ درجه حرارت بین $23^\circ C$ تا $25^\circ C$ می‌باشد. ۲ـ رطوبت نسبی بین ۳۰% تا ۶۰% که حالت ایده‌آل بین ۴۰% تا ۵۰% می‌باشد.

۳ـ سرعت جریان هوا که $0/23 \frac{m}{s}$ می‌باشد.

(D): رفاه حرارتی: شکل زیر عوامل موثر روی رفاه حرارتی را نشان می‌دهد. ابتدا گرمای بدن بر اثر فرآیندهای سوخت و ساز برای حفظ درجه حرارت بدن تولید می‌شود. فرآیندهای سوخت و ساز تحت تاثیر عواملی چون سن، سلامت و میزان فعالیت قرار دارند.



شکل ۱۹ـ عوامل موثر بر رفاه حرارتی

به‌طور مثال محدوده معینی از شرایط محیطی، برای یک شخص سالم در یک محیط کاملاً قابل‌تحمل است، اما برای یک شخص بیمار غیرقابل تحمل می‌باشد. هنگامی که مردم همراه با تغییر فصل خود را برای تعدیل لباس‌هایشان آماده می‌کنند پی می‌برند بهترین لباس نوعی است که در محدوده وسیع‌تری از شرایط محیطی قابل استفاده باشد. بدن به‌طور مداوم حرارت تولید می‌کند و برای ثابت نگه‌داشتن درجه حرارت آن باید این حرارت تلف شود.

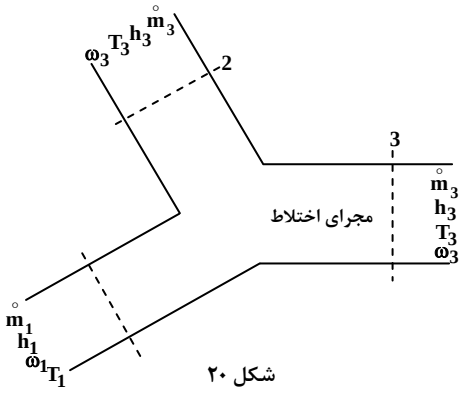
مثال ۱۹: در حالت شرایط راحتی یا آسایش سرعت جریان هوا کدام است؟

۱) $\%۲۳\frac{m}{s}$ ۲) $۰/۴۲\frac{ft}{s}$ ۳) $۰/۲۳\frac{m}{s}$ ۴) $\%۴۲\frac{ft}{s}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۳»

مشخصات هوای مخلوط

در بسیاری از کاربردهای هوا، اختلاط دو جریان هوا مورد نیاز است. این موضوع به خصوص برای ساختمان‌های بزرگ، اغلب واحدهای تولیدی و فرآیندی و بیمارستان‌ها صحت دارد، در این مکان‌ها، هوای تهویه شده قبل از ورود به فضای زندگی باید با کسر معینی از هوای تازه بیرون مخلوط شود. این کار با اختلاط دو جریان هوا انجام می‌شود.



شکل ۲۰

(T_m) درجه حرارت هوای مخلوط: $T_m = \frac{\dot{m}_۱ T_۱ + \dot{m}_۲ T_۲}{\dot{m}_۱ + \dot{m}_۲}$

(h_m) آنتالپی هوای مخلوط: $h_m = \frac{h_۱ \dot{m}_۱ + h_۲ \dot{m}_۲}{\dot{m}_۱ + \dot{m}_۲}$

(ω_m) رطوبت هوای مخلوط: $\omega_m = \frac{\dot{m}_۱ \omega_۱ + \dot{m}_۲ \omega_۲}{\dot{m}_۱ + \dot{m}_۲}$

مثال ۲۰: مقدار $۱۰\frac{kg}{s}$ هوا با آنتالپی $۲۰۰۰\frac{kj}{kg}$ با هوایی با دبی $۰/۳۵\frac{kg}{s}$ و آنتالپی $۳۰۰\frac{kj}{kg}$ مخلوط می‌شود. آنتالپی هوای مخلوط چند $\frac{kj}{kg}$ است؟

۱) $۱۹۰۰\frac{kj}{kg}$ ۲) $۱۹۴۲/۵\frac{kj}{kg}$ ۳) $۸/۷۴\frac{kj}{kg}$ ۴) $۲۳۱۰/۳۵\frac{kj}{kg}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» $h_m = \frac{h_۱ \dot{m}_۱ + h_۲ \dot{m}_۲}{\dot{m}_۱ + \dot{m}_۲}$; $h_m = \frac{۱۰ \times ۲۰۰۰ + ۰/۳۵ \times ۳۰۰}{۱۰ + ۰/۳۵} = ۱۹۴۲/۵۱\frac{kj}{kg}$

مثال ۲۱: با کدام‌یک از روابط زیر می‌توان دمای هوای مخلوط را محاسبه کرد؟

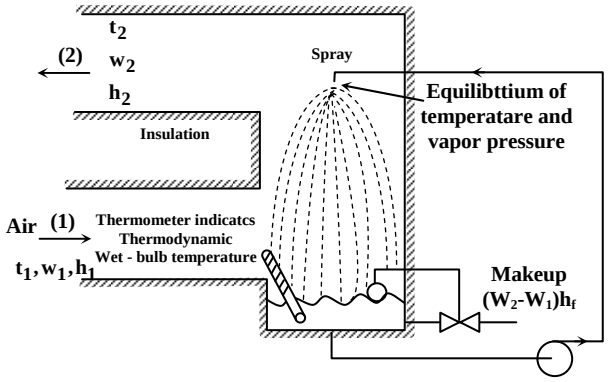
۱) $T_m = \frac{h_۱ \dot{m}_۱ + h_۲ \dot{m}_۲}{\dot{m}_۱ + \dot{m}_۲}$ ۲) $T_m = \frac{T_۱ h_۱ + T_۲ h_۲}{T_۱ + T_۲}$ ۳) $T_m = \frac{T_۱ \dot{m}_۱ + T_۲ \dot{m}_۲}{\dot{m}_۱ + \dot{m}_۲}$ ۴) $T_m = \frac{\omega_۱ \dot{m}_۱ + \omega_۲ \dot{m}_۲}{\dot{m}_۱ + \dot{m}_۲}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» درصورتی‌که $\dot{m}$ دبی جرمی هوا و T درجه حرارت باشد، دمای هوای مخلوط (T_m) از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$T_m = \frac{T_۱ \dot{m}_۱ + T_۲ \dot{m}_۲}{\dot{m}_۱ + \dot{m}_۲}$$

اشباع آدیاباتیک: اشباع‌کننده‌ی آدیاباتیکی (Adiabatic saturator) دستگاهی است که هوا در آن از روی افشانک (spray) آب جریان می‌یابد آب به‌طور پیوسته جریان دارد و افشانک آب سطحی را به‌وجود می‌آورد که هوای خروجی محفظه‌ی افشانک با حفظ درجه حرارت و فشار بخار در حال تعادل با آب باشد. این دستگاه به علت عایق‌دار بودن جداره‌ها و عدم افزایش یا کاهش درجه حرارت و گردش مداوم آب از تشتک (lewis Relation) دستگاه تا

افشانک‌ها، آدیاباتیک می‌باشد برای دایمی کردن تحول لازم است که برای جبران آب تبخیر شده به هوا، آب جبرانی (Make- up) نیز تامین شود، درجه حرارت این آب جبرانی به گونه‌ای کنترل می‌شود که با درجه حرارت تشتک مساوی باشد.



شکل ۲۱ـ اشباع آدیاباتیک

- پس از رسیدن اشباع‌کننده آدیاباتیک، به شرایط پایدار، درجه حرارتی که ترمومتر دقیق غوطه‌ور در تشتک نشان می‌دهد، درجه حرارت مرطوب ترمودینامیکی است. ترکیب‌های مشخص شرایط هوا باعث ایجاد درجه حرارت معینی در تشتک می‌شود و آن را می‌توان با نوشتن یک موازنه انرژی حول اشباع‌کننده تعریف کرد. این موازنه انرژی براساس دبی جرمی واحد هوا عبارت است از:

$$h_1 = h_2 - (w_2 - w_1)h_f$$

که h_f آنتالپی مایع اشباع در تشتک با درجه حرارت مرطوب ترمودینامیکی می‌باشد.

مثال ۲۲: دمایی که یک ترمومتر در تشتک یک کولر آبی نشان می‌دهد کدام است؟

۱) wbT ۲) dbT ۳) dPT ۴) Tbw

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» درجه حرارتی که ترمومتر دقیق غوطه‌ور در تشتک نشان می‌دهد، درجه حرارت مرطوب ترمودینامیکی (wbT) است.

تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول

۱ـ حالت اشباع هوا کدام است؟ (سراسری ۸۰)

۱) جرم بخار آب موجود در هوا بیشتر از جرم هوا است.

۲) دمای هوا آنقدر افزایش یابد که قطرات آب ظاهر گردد.

۳) رطوبت هوا آنقدر افزایش می‌یابد که دیگر قابلیت جذب رطوبت نداشته باشد.

۴) فشار بخار آب موجود در هوا به حد ماکزیمم می‌رسد.

۲ـ $400\frac{Lb}{min}$ هوای برگشتی با دمای ۸۰ درجه فارنهایت با $100\frac{Lb}{min}$ هوای تازه با دمای ۱۰۰ درجه فارنهایت مخلوط می‌شوند. دمای هوای مخلوط چند درجه فارنهایت است؟ (سراسری ۸۰)

۱) ۹۰ ۲) ۸۵ ۳) ۸۴ ۴) ۸۰

۳ـ تعریف رطوبت نسبی کدام است؟ (سراسری ۸۱)

۱) نسبت وزن هوای مرطوب به وزن هوای خشک.

۲) نسبت وزن بخار آب موجود در هوا به وزن هوای خشک.

۳) نسبت جرم بخار آب موجود در هوا به جرم بخار آب موجود در هوای اشباع.

۴) نسبت وزن بخار آب موجود در هوای اشباع به وزن هوای خشک.

۴ـ مقدار $2\frac{kg}{s}$ هوا با آنتالپی $1000\frac{kj}{kg}$ با هوایی با دبی $1/25\frac{kg}{s}$ و آنتالپی $1060\frac{kj}{kg}$ مخلوط می‌شود. آنتالپی هوای مخلوط چند $\frac{kj}{kg}$ است؟ (سراسری ۸۱)

۱) ۱۰۲۳ ۲) ۱۰۳۰ ۳) ۲۰۶۰ ۴) ۱۳۴۸

۵ـ هوای مرطوبی با مشخصات $m = 36\frac{kg}{min}$ و مقدار رطوبت $\omega = 0/008\frac{kg}{kg\,da}$ با هوای دیگری به مشخصات $m = 14\frac{kg}{min}$ و مقدار رطوبت $\omega = 0/008\frac{kg}{kg\,da}$ مخلوط می‌شود. مقدار رطوبت هوای مخلوط چند $\frac{kg}{kg\,da}$ است؟ (سراسری ۸۲)

۱) ۰/۰۰۳ ۲) ۰/۰۰۴ ۳) ۰/۰۰۴۵ ۴) ۰/۰۰۶

۶ ـ کدام‌یک از موارد زیر جز عوامل راحتی انسان‌ها محسوب نمی‌شود؟ (آزاد ۸۲)

۱) دمای محیط ۲) رطوبت محیط ۳) نقطه شبنم محیط ۴) حرکت و سرعت هوای محیط

۷ـ در هوای حالت اشباع کدام مشخصات هوا با هم مساوی است؟ (سراسری ۸۲)

۱) درجه حرارت مرطوب، رطوبت نسبی، نقطه شبنم.

۲) نقطه شبنم، درجه حرارت خشک، درجه حرارت مرطوب.

۳) نقطه شبنم، رطوبت نسبی، مقدار رطوبت.

۴) مقدار رطوبت، درجه حرارت مرطوب، آنتالپی.

۸ ـ در یک سیستم تهویه مطبوع تابستانی، شرایط راحتی (comfort zone) کنترل موردنظر کدام مورد است؟ (سراسری ۸۳)

۱) رطوبت مخصوص wa، دمای مرطوب (t_{wb})و سرعت گردش هوا.

۲) دمای خشک (t_{db})، دمای مرطوب (t_{wb})، رطوبت نسبی RH.

۳) رطوبت نسبی (RH)، دمای خشک (t_{db}) و سرعت گردش هوا.

۴) دمای خشک (t_{db})، تصفیه هوای ورودی، تشعشع

۹ـ فشار جزیی بخار آب موجود درهوایی با دمای $30^{\circ}C$، $1400Pa$ و در همان درجه حرارت و شرایط اشباع فشار آن $4000Pa$ است رطوبت نسبی آن چند درصد است؟ (سراسری ۸۳)

۱) ۲۵ ۲) ۴۰ ۳) ۷۰ ۴) ۸۶

۱۰ـ آنتالپی هوای خشکی با درجه حرارت $20^{\circ}C$ چند $\frac{kj}{kg\,da}$ است؟ (سراسری۸۳)

۱) ۰/۵۰۲۵ ۲) ۲۱۰۱ ۳) ۲۰/۱ ۴) ۵۰/۲۵

۱۱ـ ضریب حرارت محسوس «SHF» در نمودار مشخصات هوا بیان کننده کدام مورد است؟ (سراسری ۸۳)

۱) نسبت حرارت محسوس به حرارت کل

۲) نسبت حرارت نهان به حرارت کل

۳) نسبت حرارت محسوس به حرارت نهان

۴) نسبت حرارت نهان به حرارت محسوس

۱۲ـ حجم ۳ پوند هوا در دمای $80^\circ F$ و فشار آتمسفریک $14/7 \frac{LbF}{in^2}$ چند فوت مکعب است؟ در صورتی که $R_a = 53/4 \frac{Ft - LbF}{Lbm^\circ R}$ (هوا) باشد؟ (آزاد ۸۳)

۱) ۴۰/۸ ۲) ۵۶۰ ۳) ۱۶ ۴) ۶

۱۳ـ با افزایش ارتفاع از سطح دریا مقدار آنتالپی هوا چه تغییری می‌کند؟ (آزاد ۸۳)

۱) افزایش می‌یابد.
۲) تغییری نمی‌کند.
۳) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.
۴) کاهش می‌یابد.

۱۴ـ رطوبت نسبی از کدام رابطه به دست می‌آید؟ (m_v = جرم بخار آب موجود در هوا، m_s = جرم بخار آب موجود در حالت اشباع) (سراسری ۸۴)

۱) $RH = \frac{m_v}{m_s} \times 100$ ۲) $RH = 0/662 \frac{m_v}{m_s} \times 100$ ۳) $RH = 0/662 \frac{m_s}{m_v} \times 100$ ۴) $RH = \frac{m_s \times m_v}{0/622} \times 100$

۱۵ـ در یک سیستم تهویه مطبوع تابستانی مقدار حرارت محسوس $150000 \frac{Btu}{hr}$ و حرارت نهان $50000 \frac{Btu}{hr}$ بدست آمده است. ضریب حرارت محسوس چقدر است؟ (سراسری۸۴)

۱) ۰/۳۳ ۲) ۰/۵ ۳) ۰/۶۶ ۴) ۰/۷۵

۱۶ـ آنتالپی هوای ۱۴۰ درجه فارنهایت چند $\frac{kj}{kg\,da}$ است؟ (سراسری ۸۴)

۱) ۶۰/۳ ۲) ۸۰/۳ ۳) ۱۲۰/۳ ۴) ۱۴۰/۷

۱۷ـ مبنای آنتالپی هوا در کدام درجه حرارت است؟ (سراسری ۸۴)

۱) $-40^\circ F$ ۲) $-32^\circ F$ ۳) $-32^\circ C$ ۴) $0^\circ C$

۱۸ـ با افزایش ارتفاع از سطح دریا رطوبت مخصوص و آنتالپی هوا چه تغییری می‌کند؟ (آزاد ۸۴)

۱) هر دو کم می‌شود.
۲) هر دو زیاد می‌شود.
۳) تغییری نمی‌کند.
۴) آنتالپی هوا کاهش ولی رطوبت مخصوص افزایش می‌یابد.

۱۹ـ فشار جزیی بخار آب در هوایی با دمای $20^\circ C$ ، $2500 Pa$ و فشار اشباع در این دما $12500 Pa$ است، میزان RH چند درصد می‌باشد؟ (سراسری ۸۵)

۱) ۲ ۲) ۵ ۳) ۲۰ ۴) ۵۰

۲۰ـ هوایی با رطوبت مخصوص $\omega = 0/005 \frac{kg}{kg\,da}$ و $T = 20^\circ C$ مفروض است. میزان آنتالپی تقریبی آن چند $\frac{kj}{kg\,da}$ است؟ (سراسری ۸۶)

۱) ۳۳ ۲) ۲۰ ۳) ۱۳ ۴) ۷

۲۱ـ رابطه‌ی رطوبت مخصوص هوا کدام است؟ (سراسری ۸۶)

۱) $0/662(P_a - P_v)$ ۲) $0/662 \frac{P_a}{P_v}$ ۳) $0/662 \frac{m_v}{m_a}$ ۴) $0/662 \frac{P_v}{P_a}$

۲۲ـ آنتالپی هوای ۶۶۰ درجه رانکین چند $\frac{kj}{kgda}$ می‌باشد؟ (مولف)

۱) ۹۴/۳۵ ۲) ۹۳/۸۸ ۳) ۴۲/۵ ۴) ۲۰۱

۲۳ـ درصورتی‌که درجه حرارت هوای مرطوبی $16^\circ C$ باشد، میزان آنتالپی بخار آب موجود در هوا چند $\frac{kj}{kg}$ می‌باشد؟ (مولف)

۱) ۱۶/۰۸ ۲) ۱۶ ۳) ۲۵۱۶ ۴) ۲۵۳۰/۰۸

۲۴ـ رابطه‌ی رطوبت نسبی (RH) هوا کدام است؟ (برحسب درصد) (مولف)

۱) $RH = \frac{m_p}{m_s} \times 100$ ۲) $RH = \frac{m_s}{m_v} \times 100$ ۳) $RH = 0/622 \frac{m_v}{m_s} \times 100$ ۴) $RH = \frac{p_v}{p_s} \times 100$

۲۵ـ در هوای ..... دمای نقطه شبنم و دمای ..... هوا و دمای ..... هوا با هم برابرند. (مولف)

۱) اشباع ـ مرطوب ـ مخلوط ۲) مرطوب ـ خشک ـ اشباع ۳) اشباع ـ مرطوب ـ خشک ۴) خشک ـ مرطوب ـ اشباع

۲۶ـ در یک دستگاه اشباع آدیاباتیک کنترل درجه حرارت Make – up water چگونه باید باشد؟ (مؤلف)

۱) باید از درجه حرارت آب تشتک بیشتر باشد.
۲) باید از درجه حرارت آب تشتک کمتر باشد.
۳) باید مساوی درجه حرارت آب تشتک باشد.
۴) باید همواره شرایط اشباع برآورده شود.

پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول

۱ـ گزینه «۳» اگر به هوا بخار آب (رطوبت) از تزریق کنیم با گذشت زمان به حالتی خواهیم رسید که حجم موردنظر هوا دیگر قادر به جذب رطوبت نیست و به چنین مشخصه‌ای از هوا، هوای اشباع می‌گوییم و در چنین حالتی درجه حرارت هوای خشک و مرطوب و شبنم با هم برابرند.

◆ ◆ ◆ ◆

۲ـ گزینه «۳»

$$\begin{cases} m_1^\circ = 400 \dfrac{Lb}{min} \\ T_1 = 80^\circ F \end{cases} \quad \begin{cases} m_2^\circ = 100 \dfrac{Lb}{min} \\ T_2 = 100^\circ F \end{cases} \quad \text{و} \quad T_m = ?$$

$$T_m = \frac{m_1^\circ T_1 + m_2^\circ T_2}{m_1^\circ + m_2^\circ} = \frac{(400)(80)+(100)(100)}{400+100} = 84^\circ F$$

◆ ◆ ◆ ◆

۳ـ گزینه «۳» نسبت جرم بخار آب موجود در حجم معینی از هوا دریک درجه حرارت معین به جرم بخار آب موجود در هوای اشباع در همان حجم و درجه حرارت ضربدر عدد ۱۰۰ رطوبت نسبی (RH) برحسب درصد می‌گویند.

◆ ◆ ◆ ◆

۴ـ گزینه «۱»

$$m_1^\circ = 2 \frac{kg}{s} \quad \text{و} \quad h_1 = 1000 \frac{kj}{kg}$$

$$m_2^\circ = 1/25 \frac{kg}{s} \quad \text{و} \quad h_m = \frac{m_1^\circ h_1 + m_2^\circ h_2}{m_1^\circ + m_2^\circ} \quad ; \quad h_2 = 1060 \frac{kj}{kg} \quad \text{و} \quad h_m = ?$$

$$h_m = \frac{(2)(1000)+(1/25)(1060)}{2+1/25} = 1023 \frac{kj}{kg}$$

◆ ◆ ◆ ◆

۵ ـ گزینه «۴»

$$m_1^\circ = 36 \frac{kg}{s} \quad \text{و} \quad \omega_1 = 0/0008 \frac{kg}{kgda}, \omega_n = \frac{m_1^\circ w_1 + m_2^\circ w_2}{m_1^\circ + m_2^\circ}$$

$$m_2^\circ = 14 \frac{kg}{min} \quad \text{و} \quad \omega_2 = 0/001 \frac{kj}{min}$$

$$\omega_m = ? \quad \text{و} \quad \omega_m \text{رطوبت هوای مخلوط} \quad \omega_m = \frac{(36)(0/0008)+(14)(0/001)}{36+14} = 0/00064 \frac{kg}{kg\,da} \quad ; \quad \omega_m = \frac{\dot{m}_1\omega_1 + \dot{m}_2\omega_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}$$

◆ ◆ ◆ ◆

۶ـ گزینه «۳» نقطه‌ی شبنم محیط از پارامترهای شرایط راحتی محسوب نمی‌شود و پارامترهای شرایط راحتی عبارتند از: ۱ـ درجه حرارت ۲ـ رطوبت نسبی ۳ـ حرکت و سرعت هوای محیط

◆ ◆ ◆ ◆

۷ـ گزینه «۲» در هوای اشباع دمای نقطه شبنم (T_{dp}) و درجه حرارت خشک (T_{dp}) و درجه حرارت مرطوب (T_{wb}) با یکدیگر مساوی هستند.

◆ ◆ ◆ ◆

۸ ـ گزینه «۳» پارامترهای اساسی شرایط راحتی در تهویه مطبوع (HVAC) عبارتند از:
۱ـ رطوبت نسبی (RH) ۲ـ درجه حرارت (t_{db}) ۳ـ سرعت گردش هوا

◆ ◆ ◆ ◆

۹ـ هیچکدام از گزینه‌ها صحیح نیست.

$$RH = \frac{P_v}{P_s} \times 100 \Rightarrow RH = \frac{1400}{4000} \times 100 = 35$$

$$\text{رطوبت نسبی (RH)} = \frac{\text{فشار جزئی بخار آب موجود در هوا } (P_v)}{\text{فشار جزئی بخار آب موجود در هوا ی اشباع } (P_s)} \times 100$$

◆ ◆ ◆ ◆

۱۰ـ گزینه «۳»

$$T = 20^\circ C \quad \text{و} \quad h_a = ? \frac{kj}{kg}$$

h_a آنتالپی هوای خشک $h_a = 1/005T = 1/005 \times 20 = 20/1 \frac{kj}{kgda}$

◆ ◆ ◆ ◆

۱۱ـ گزینه «۱»

S.H.F = ضریب حرارت محسوس
ΔHS = تغییرات حرارت محسوس
ΔHT = تغییرات حرارت کل

$$S.H.F = \frac{\Delta HS}{\Delta HT}$$

◆ ◆ ◆ ◆

۱۲ـ گزینه «۱» $PV = mRT$; درجه رانکین $R = {}^\circ F + ۴۵۹ = ۸۰ + ۴۵۹ = ۵۳۹R$

$V = ۴۰/۷۹ \simeq ۴۰/۸ Ft^۳$ و $V \times ۱۴/۷ \times ۱۴۴ = ۳ \times ۵۳/۴ \times ۵۳۹$

۱۳ـ گزینه «۱» با افزایش ارتفاع از سطح دریا آنتالپی تبخیر (h_{fg}) افزایش پیدا می‌کند.

۱۴ـ گزینه «۱» نسبت جرم بخار آب موجود در حجم معین از هوا در یک درجه معین (m_v) به جرم بخار آب موجود در هوای اشباع (m_s) در همان حجم و درجه حرارت را رطوبت نسبی می‌نامیم. $RH = \frac{m_v}{m_s} \times ۱۰۰$ (رطوبت نسبی برحسب درصد)

۱۵ـ گزینه «۴» $h_L = ۵۰۰۰۰ \frac{Btu}{hr}$ مقدار حرارت نهان و $h_s = ۱۵۰۰۰۰ \frac{Btu}{hr}$ مقدار حرارت محسوس

$S.H.F = \frac{\Delta HS}{\Delta HT} = \frac{۱۵۰۰۰۰}{۲۰۰۰۰۰} = ۰/۷۵$ و $\Delta HT = h_s + h_L = ۱۵۰۰۰۰ + ۵۰۰۰۰ = ۲۰۰۰۰۰ \frac{Btu}{hr}$

۱۶ـ گزینه «۱» $h = C_p T = ۱/۰۰۵T = ۱/۰۰۵ \times ۶۰ = ۶۰/۳ \frac{kj}{kg\,da}$ و $^\circ C = \frac{^\circ F - ۳۲}{۱/۸} = \frac{۱۴۰ - ۳۲}{۱/۸} = ۶۰^\circ C$ و $T = ۱۴۰^\circ F$

۱۷ـ گزینه «۴» مبنای آنتالپی هوا در درجه حرارت صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد. $(۰^\circ C)$

۱۸ـ گزینه «۲» با افزایش ارتفاع از سطح دریا آنتالپی تبخیر هوا (h_{fg}) افزایش پیدا می‌کند و مقدار جرم بخار آب موجود در هوا به جرم بخار آب در هوای خشک یعنی رطوبت مخصوص (w) افزایش پیدا می‌کند.

۱۹ـ گزینه «۳» P_S = فشار جزئی بخار آب در حالت اشباع $= ۱۲۵۰۰Pa$ و P_v = فشار جزئی بخار آب موجود در هوا $= ۲۵۰۰Pa$

RH = رطوبت نسبی و $RH = \frac{P_v}{P_s} \times ۱۰۰ = \frac{۲۵۰۰}{۱۲۵۰۰} \times ۱۰۰ = ۲۰$ درصد

۲۰ـ گزینه «۱» $T = ۲۰^\circ C$ درجه حرارت و $\omega = ۰/۰۰۵ \frac{kg}{kg\,da}$ رطوبت مخصوص

$h = ۱/۰۰۵t + w(۲۵۰۰ + ۱/۸۸t)$ و $h = (۱/۰۰۵)(۲۰) + (۰/۰۰۵)(۲۵۰۰ + ۱/۸۸ \times ۲۰) = ۳۲/۷۸۸ \frac{kj}{kg} \simeq ۳۳ \frac{kj}{kg}$

۲۱ـ گزینه «۴» W = رطوبت مخصوص و نسبت رطوبت $(\frac{kgH_۲O}{kg\,da})$ $\omega = \frac{m_v}{m_a} = ۰/۶۲۲ \frac{P_v}{P_a}$

P_v = فشار جزیی بخار آب موجود در هوا و m_v = جرم بخار آب موجود در هوا

P_a = فشار جزیی بخار آب موجود در هوایی خشک و m_a = جرم بخار آب موجود در هوای خشک

۲۲ـ گزینه «۱» $R = ۰F + ۴۵۹ \Rightarrow ۶۶۰ = ۰F + ۴۵۹ \Rightarrow ۰F = ۶۶۰ - ۴۵۹ = ۲۰۱$ درجه رانکین

$H = ۱/۰۰۵T = ۱/۰۰۵ \times ۹۳/۸۸ = ۹۴/۳۵ \frac{kj}{kg}$ هوای خشک و $^\circ C = \frac{^\circ F - ۳۲}{۱/۸} = \frac{۲۰۱ - ۳۲}{۱/۸} = ۹۳/۸۸$

۲۳ـ گزینه «۴» $h = ۱/۰۰۵T$ آنتالپی هوای خشک

$h = ۲۵۰۰ + ۱/۸۸T \Rightarrow h = ۲۵۰۰ + ۱/۸۸(۱۶) = ۲۵۳۰/۸ \; kj/kg$ آنتالپی هوای مرطوب

۲۴ـ گزینه «۴» نسبت جرم بخارآب موجود در حجم معینی از هوا (m_v) در یک درجه حرارت معین بر جرم بخارآب موجود در هوای اشباع (m_s) در همان حجم و درجه حرارت را رطوبت نسبی (RH) می‌نامیم که برحسب درصد بیان می‌شود و باید مقدار بدست آمده را ضرب‌در عدد ۱۰۰کنیم.

$RH = \frac{m_v}{m_s} \times ۱۰۰$ یا $RH = \frac{P_v}{P_s} \times ۱۰۰$

۲۵ـ گزینه «۳» در شرایط هوای اشباع درجه حرارت نقطه‌ی شبنم (T_{dp}) و درجه حرارت خشک هوا (dbT) و درجه حرارت مرطوب هوا (wbT) مقدار یکسانی دارند.

۲۶ـ گزینه «۳» درجه حرارت آب جبرانی (Make – up water) یک دستگاه اشباع آدیاباتیک باید به گونه‌ای کنترل شود که با درجه حرارت آب تشتک مساوی باشد.

آزمون فصل اول

۱ـ هوایی که فاقد بخار آب باشد چه نامیده می‌شود؟
۱) هوای مرطوب ۲) هوای مخلوط ۳) هوای خشک ۴) هوای اتمسفریک

۲ـ در کاربردهای تهویه مطبوع گستره‌ی تقریبی درجه حرارت کدام است؟
۱) $-۱۰^{\circ}C$ تا $۵۰^{\circ}C$ ۲) $-۱۰^{\circ}C$ تا $۲۰^{\circ}C$ ۳) $۲۳^{\circ}C$ تا $۲۵^{\circ}C$ ۴) $-۱۰^{\circ}C$ تا $۲۳^{\circ}C$

۳ـ C_P (گرمای ویژه در فشار ثابت) هوای خشک کدام است؟
۱) $۱/۰۰۶\frac{kj}{kg.k}$ ۲) $۱/۰۰۵\frac{kj}{kg.k}$ ۳) $۰/۲۴۰\frac{kj}{kg.k}$ ۴) $۰/۲۵۰\frac{kj}{kg.k}$

۴ـ رابطه‌ی آنتالپی هوای خشک کدام است؟
۱) $h = C_P\ VT$ ۲) $h = C_P\sqrt{CV}$ ۳) $h = ۲۵۰۰ + ۱/۸۸C_PT$ ۴) $h = ۱/۰۰۵T$

۵ ـ اگر درجه حرارت هوای $۲۶^{\circ}C$ باشد مطلوبست مقدار دقیق آنتالپی هوای مرطوب؟
۱) $۲۵۵۰/۱۸\frac{kj}{kg}$ ۲) $۲۵۰۵/۱۸\frac{kj}{kg}$ ۳) $۱۰۷۲/۸۱\frac{kj}{kg}$ ۴) $۱۷۲۰/۸۱\frac{kj}{kg}$

۶ ـ اگر فشار بخار آب موجود در هوای اتمسفریک $۹۷۶۰۰Pa$ باشد مطلوبست مقدار رطوبت مخصوص (ω)؟
۱) $۳۲/۲\frac{kgH_۲O}{kg\ da}$ ۲) $۱۶/۲۹۷\frac{kgH_۲O}{kg\ da}$ ۳) $۳۲/۲\frac{kj}{kg\ da}$ ۴) $۱۶/۲۹۷\frac{kj}{kg\ da}$

۷ـ فشار جزئی بخار آب موجود در هوایی $۱۸۰۰Pa$ و فشار جزئی بخار آب موجود در هوای اشباع $۳۰۰۰Pa$ است مطلوبست تعیین کنید رطوبت نسبی (RH) هوا چقدر است؟
۱) $RH = ۵۰$ ۲) $RH = ۲۰$ ۳) $RH = ۸۰$ ۴) $RH = ۶۰$

۸ـ حجم هوای مرطوب یک گل‌خانه $۲۴۰۰۰m^۳$ می‌باشد در صورتی که جرم هوای خشک آن $۳۰۰۰kg\ da$ باشد مطلوبست تعیین کنید حجم مخصوص هوای گل‌خانه چقدر است؟
۱) $۸\frac{m^۳}{kg\ da}$ ۲) $۰/۱۲۵\frac{m^۳}{kg\ da}$ ۳) $۷/۲\times۱۰^۶\frac{m^۳}{kg\ da}$ ۴) $۱۲۵\frac{m^۳}{kg\ da}$

۹ـ مشخصات هوایی به صورت زیر می‌باشد مطلوبست تعیین کنید که آنتالپی کل هوای اتمسفر یک چقدر است؟
مشخصات هوا: $P_V = ۹۷۶۰۰Pa$ $P = ۱۰۱۳۲۵Pa$ $T = ۲۶^{c}$
۱) $۹۶۸۵۰\frac{kj}{kg}$ ۲) $۹۸۶۵۰\frac{kj}{kg}$ ۳) $۴۵۶۵۱/۲۴۷\frac{kj}{kg}$ ۴) $۴۱۵۶۵/۲۲۷\frac{kj}{kg}$

۱۰ـ در کدام‌یک از حالت‌های زیر درجه حرارت خشک و مرطوب و شبنم با یکدیگر برابرند؟
۱) شرایط هوای اشباع ۲) شرایط هوای مرطوب ۳) شرایط هوای خشک ۴) شرایط هوای اتمسفریک

۱۱ـ ..... دمایی است که در آن با سرد شدن هوا در فشار ثابت چگالش شروع می‌شود.
۱) دمای هوای خشک ۲) دمای هوای مرطوب ۳) دمای نقطه‌ی شبنم ۴) دمای نقطه‌ی اشباع

۱۲ـ در صورتی که تغییرات حرارت محسوس $(\Delta HS)۲۰۰$ و تغییرات حرکت کل $(\Delta HT)۵۰$ باشد مطلوبست ضریب حرارت محسوس؟
۱) $S.H.F = ۱۰۰۰۰$ ۲) $S.H.F = ۴$ ۳) $S.H.F = ۴۰$ ۴) $S.H.F = ۰/۲۵$

۱۳ـ درصورتی‌که جریان هوایی را از روی یک کویل برودتی عبور دهیم، نمودار سایکرومتریک کدام است؟

(۴) (۳) (۲) (۱)

۱۴ـ در منطقه‌ای شرایط راحتی رطوبت نسبی هوا (RH) کدام است؟
۱) ۲۰% تا ۶۰% ۲) ۴۰% تا ۷۰% ۳) ۳۰% تا ۸۰% ۴) ۳۰% تا ۶۰%

۱۵ـ پارامترهای اساسی در تعیین مشخصات شرایط راحتی در تهویه مطبوع کدامند؟
۱) رطوبت نسبی ـ رطوبت مطلق ـ درجه حرارت ۲) رطوبت مطلق ـ سرعت جریان هوا ـ درجه حرارت
۳) رطوبت نسبی ـ درجه حرارت ـ سرعت جریان هوا ۴) دمای نقطه شبنم ـ سرعت جریان هوا ـ رطوبت نسبی