



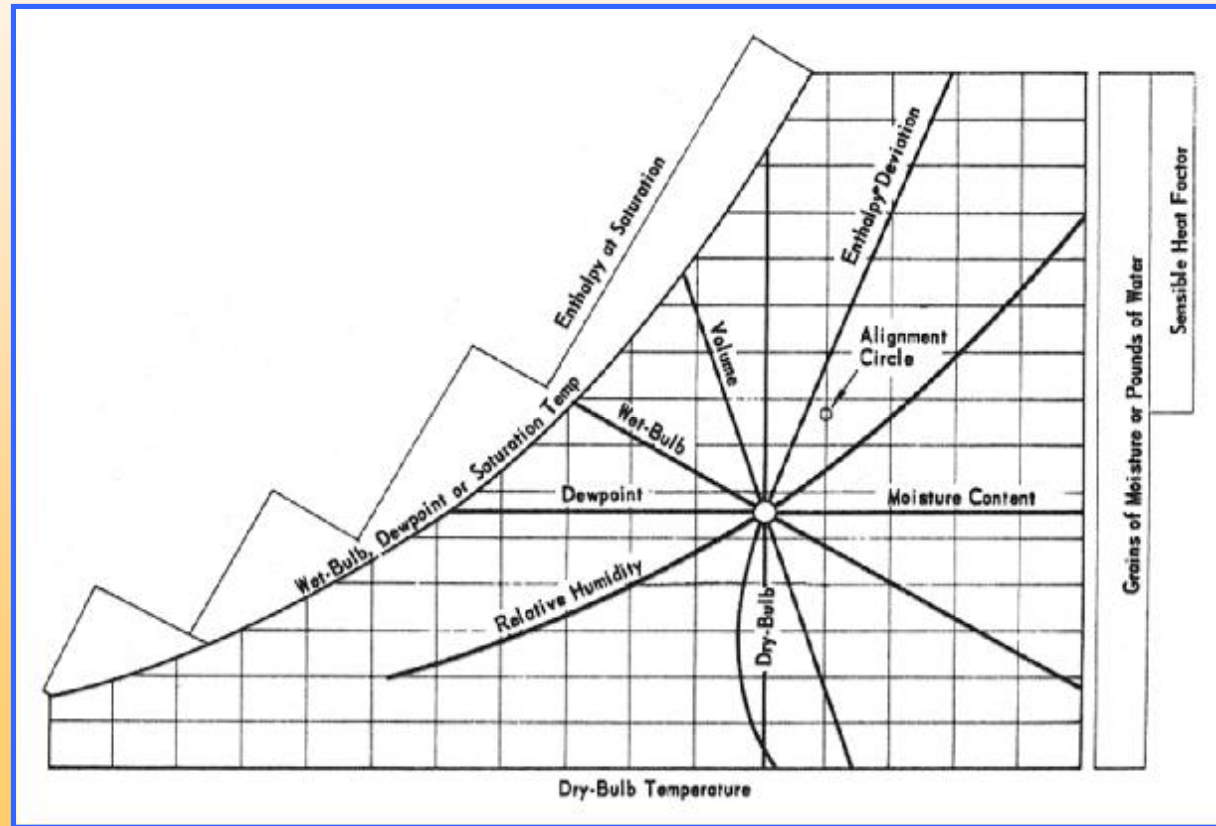
دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مهندسی مکانیک

# طرح سیستمهای تهویه مطبوع

دکتر محمد حسن سعیدی

# رطوبت سنجی

§ رطوبت سنجی (سایکرومتریک) علمی است که به مطالعه خواص ترمودینامیکی هوای مرطوب، اثرات رطوبت هوا بر روی مواد و آسایش انسان و روش‌های کنترل خواص حرارتی هوای مرطوب می‌پردازد.

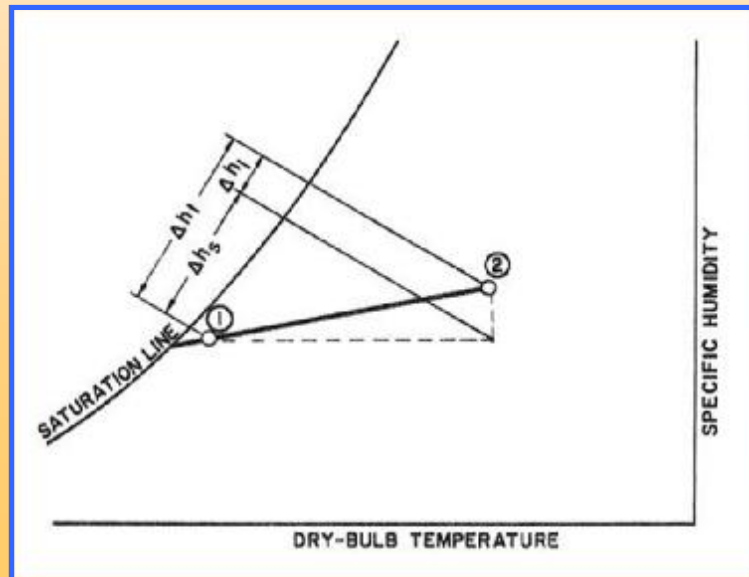


# رطوبت سنجی

§ منظور از **SH** مقدار حرارتی است که به هوا داده شده یا از آن گرفته می‌شود تا درجه حرارت هوا به مقدار معینی برسد و در این تحول مقدار رطوبت هوا تغییر نخواهد کرد.

§ منظور از **LH** مقدار حرارتی است که باید به صورت رطوبت به هوا داده یا از آن گرفته شود تا مقدار رطوبت آن به اندازه معینی برسد. در این تحول درجه حرارت هوا ثابت خواهد بود.

§ هرگاه در یک تحول هم درجه حرارت و هم مقدار رطوبت هوا تغییر کند، مقدار کل حرارتی را که در این تحول به هوا داده شده یا از آن گرفته می‌شود را می‌توان مجموع دو نوع حرارت **SH** و **LH** دانست.



$$SH = 1.08 \times cfm \times (t_2 - t_1)$$

$$LH = 0.68 \times cfm \times (w_2 - w_1)$$

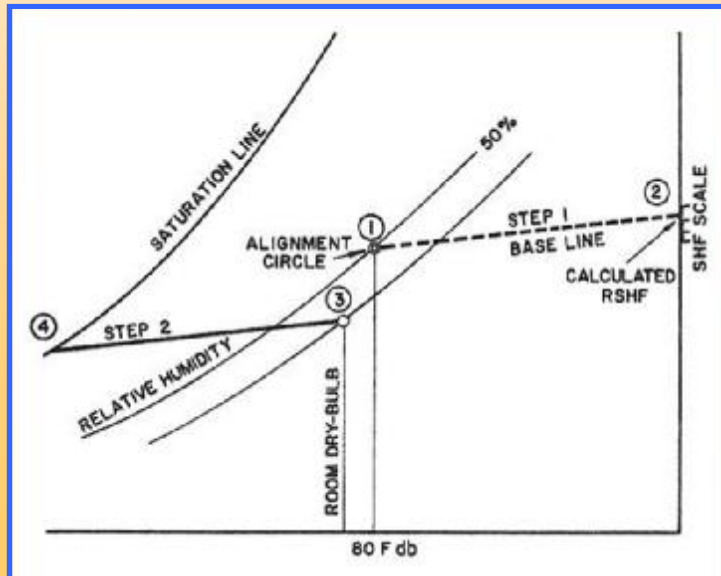
$$TH = SH + LH = 4.45 \times cfm \times (h_2 - h_1)$$

# رطوبت سنجی

§ نسبت SH به TH، **Sensible Heat Factor** نامیده شده و با SHF نشان داده می‌شود. بنابراین:

$$SHF = \frac{SH}{TH} = \frac{SH}{SH + LH}$$

§ در منحنی سایکرومتریک برای پیدا کردن SHF هر تحول کافی است از **دایره مبنی** خطی به موازات تحول رسم کرد تا **محور SHF** را قطع کند و بالعکس، مسئله مهم در تحولات این است که صرفنظر از مسیر واقعی یک تحول، می‌توان آن را با خطی که شرایط اولیه و نهایی تحول را در منحنی سایکرومتریک به هم وصل می‌کند، نشان داد.



# بارهای اتاق (RSH، RLH، RTH و RSHF)

§ منظور از **RSH** جمع اتلاف حرارتی آشکار یک اتاق و یا مجموعه اتاق‌ها یا کل ساختمان است. این حرارت صرف بالا بردن درجه حرارت (تابستان) یا پایین آوردن درجه حرارت (زمستان) می‌شود.

§ منظور از **RLH** جمع اتلاف حرارتی نهان یک اتاق یا مجموعه اتاق‌های یک ساختمان است. در تابستان این حرارت به صورت رطوبت وارد اتاق‌ها شده و در زمستان به علت کم بودن اتلافات رطوبت از محاسبه آن صرف‌نظر می‌شود. جمع **RLH** و **RSH** را با **RTH** نشان می‌دهند.

§ نسبت **RSH** به **RTH**، **Room Sensible Heat Factor** نامیده شده و با **RSHF** نشان داده می‌شود. بنابراین:

$$RSHF = \frac{RSH}{RTH} = \frac{RSH}{RSH + RLH}$$

§ خطی که شرایط **هوای تغذیه** و **هوای اتاق** را روی نمودار رطوبت‌سنجی به هم متصل می‌کند، **خط RSHF** نامیده شده و نشان‌دهنده فرآیندی است که هوای تغذیه در اتاق طی می‌کند. شیب این خط نشان‌دهنده نسبت بار محسوس به بار نهان اتاق است.

# بارهای اتاق (RSHF و RTH، RLH، RSH)

§ اگر در سیستم تهویه مطبوع از هوا استفاده شود، شرایط هوا هنگام ورود به اتاقها (از دریچهها) باید طوری باشد که بعد از اضافه شدن RTH به آن (در تابستان) یا از دست رفتن RSH (در زمستان) از آن، به شرایط ایده آل داخلی، که برای اتاق در نظر گرفته شده، برسد. در تهویه تابستانی یا زمستانی با هوا کافی است از نقطه ای روی منحنی سایکرومتریک که نشان دهنده شرایط داخلی است خطی با RSHF معین (که از روی بار برودتی معلوم است و در زمستان مقدارش 1 است) رسم شود. هوای ورودی به اتاقها باید توسط نقطه ای روی این خط مشخص گردد.

HEATING COOLING

$$\text{RSH} = 1.08 \times \text{cfm}_{\text{sa}} \times (t_{\text{rm}} - t_{\text{sa}})$$

$$\text{RLH} = 0.68 \times \text{cfm}_{\text{sa}} \times (w_{\text{rm}} - w_{\text{sa}})$$

$$\text{RTH} = \text{RSH} + \text{RLH} = 4.45 \times \text{cfm}_{\text{sa}} \times (h_{\text{rm}} - h_{\text{sa}})$$

$$\text{RSH} = 1.08 \times \text{cfm}_{\text{sa}} \times (t_{\text{sa}} - t_{\text{rm}})$$

$$\text{RLH} = 0$$

$$\text{RTH} = \text{RSH} = 1.08 \times \text{cfm}_{\text{sa}} \times (t_{\text{sa}} - t_{\text{rm}})$$

# بارهای کل (TSH, TLH, GTH و GSHF)

§ منظور از **TSH** مقدار حرارت محسوسی است که در دستگاه هواساز بایستی به هوا داده یا از آن گرفته شود تا به هنگام خروج از دستگاه به شرایط لازم برسد.

§ منظور از **TLH** حرارتی است که باید در دستگاه به صورت رطوبت از هوا گرفته یا به آن اضافه نمود تا رطوبت آن به میزان معین برسد. جمع TLH و TSH را با **GTH** نشان می‌دهند.

§ نسبت TSH به **GTH**، **Grand Sensible Heat Factor** نامیده شده و با **GSHF** نشان داده می‌شود. بنابراین:

$$\text{GSHF} = \frac{\text{TSH}}{\text{GTH}} = \frac{\text{TSH}}{\text{TSH} + \text{TLH}}$$

§ خطی که شرایط **هوای ورودی به دستگاه** (مخلوط هوای برگشت و هوای تازه) و **هوای خروجی از دستگاه** را روی نمودار رطوبت‌سنجی به هم متصل می‌کند، **خط GSHF** نامیده شده و نشان‌دهنده فرآیندی است که هوای تغذیه در عبور از دستگاه طی می‌کند. شیب این خط نشان‌دهنده نسبت بار محسوس به بار نهان کل است.

# بارهای کل (GSHF و GTH, TLH, TSH)

§ چنانچه شرایط هوای ورودی به دستگاه هواساز مشخص باشد، می توان از آن نقطه خطی با شیب GSHF رسم نمود. شرایط هوای خروجی از دستگاه باید توسط نقطه ای روی این خط مشخص می شود. شرایط هوای ورودی به اتاق ها از کانال تقریباً با شرایط هوای خروجی از دستگاه هواساز یکسان بوده و چون شرایط هوا ورودی به اتاق ها نیز روی خط RSHF قرار دارد، لذا محل تلاقی این دو خط شرایط خروج از دستگاه یا ورودی به اتاق ها خواهد بود.

HEATING COOLING

$$TSH = 1.08 \times cfm_{da} \times (t_e - t_1)$$

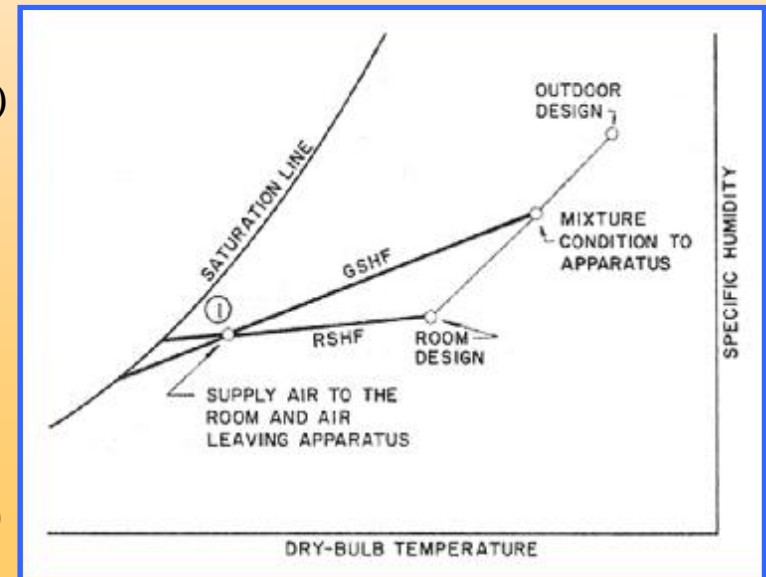
$$TLH = 0.68 \times cfm_{da} \times (w_e - w_1)$$

$$GTH = TSH + TLH = 4.45 \times cfm_{da} \times (h_e - h_1)$$

$$TSH = 1.08 \times cfm_{da} \times (t_1 - t_e)$$

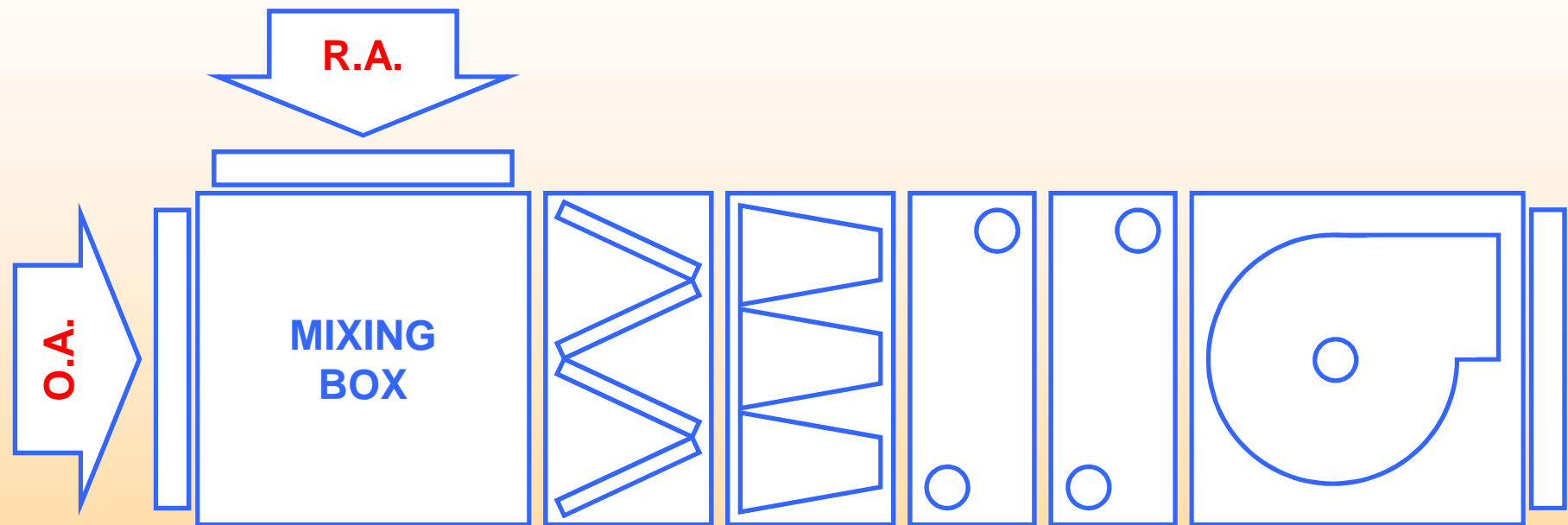
$$TLH = 0.68 \times cfm_{da} \times (w_1 - w_e)$$

$$GTH = TSH + TLH = 1.08 \times cfm_{da} \times (h_1 - h_e)$$





# رطوبت سنجی



§ دستگاه‌های هواساز با کویل، واشر یا مخلوط آنها کار کرده و فوق‌العاده متنوع هستند. بحث در مورد تمامی انواع هواساز از حوصله این بخش خارج بوده و در اینجا فقط نوعی از دستگاه آن که بسیار متداول است، بررسی می‌گردد. این دستگاه از کویل یا واشر سرد برای تهویه تابستانی و از کویل یا واشر گرم برای تهویه زمستانی استفاده می‌کند. دستگاه ابتدا برای بار تابستانی طراحی شده و سپس برای کار زمستانی هم کمیات آن کنترل و بررسی شود.

# بررسی شرایط برودتی

§ منظور از **OASH**، **OALH** و **OATH** حرارت‌هایی هستند که باید از هوای تازه گرفت تا به شرایط هوای برگشتی (یا همان شرایط اتاق) برسد. لذا:

$$\text{OASH} = 1.08 \times \text{cfm}_{\text{oa}} \times (t_{\text{oa}} - t_{\text{rm}})$$

$$\text{OALH} = 0.68 \times \text{cfm}_{\text{oa}} \times (w_{\text{oa}} - w_{\text{rm}})$$

$$\text{OATH} = \text{OASH} + \text{OALH} = 4.45 \times \text{cfm}_{\text{oa}} \times (h_{\text{oa}} - h_{\text{rm}})$$

§ منظور از **ERSH**، **ERLH** و **ERTH** به ترتیب عبارت است از مجموع (**RSH**، **RLH** و **RTH**) با (**SH**، **LH** و **TH**) هوای تازه‌ای که تغییر نکرده از دستگاه عبور می‌کند. لذا:

$$\text{ERSH} = \text{RSH} + \text{BF} \times \text{OASH}$$

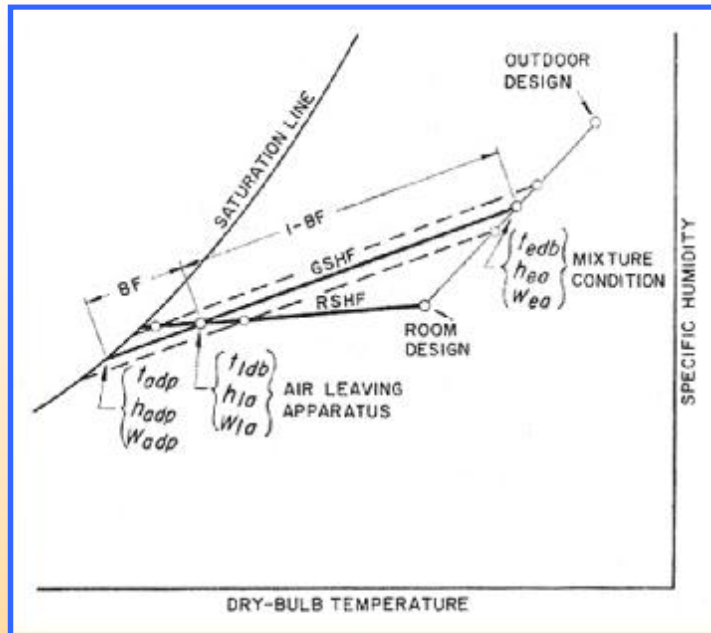
$$\text{ERLH} = \text{RLH} + \text{BF} \times \text{OALH}$$

$$\text{ERTH} = \text{ERSH} + \text{ERLH} = \text{RTH} + \text{BF} \times \text{OATH}$$

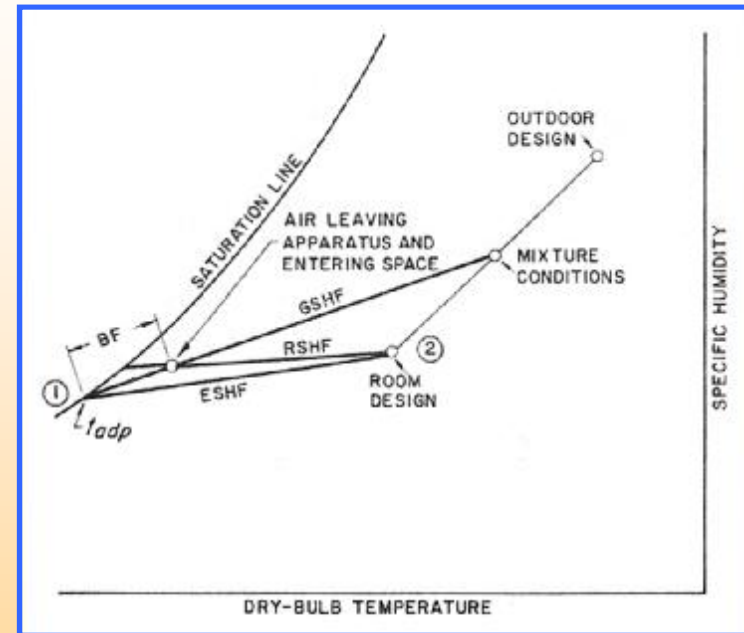
§ نسبت **ERSH** به **ERTH**، **Effective Sensible Heat Factor** نامیده شده و با **ESHF** نشان داده می‌شود. لذا:

$$\text{ESHF} = \text{ERSH} / \text{ERTH}$$

# بررسی شرایط برودتی



## BYPASS FACTOR



## ESHF & ADP

§ مفهوم فیزیکی این حرارت‌ها آن است که فرض می‌شود هوا در **شرایط اشباع** از کویل سرد خارج و سپس باید علاوه بر **سرد کردن هوایی که بدون تغییر از کویل عبور کرده**، **بار اتاق‌ها** را نیز خنثی کند. هوایی که بدون تغییر از کویل عبور نموده مجموع دو نوع هواست: **هوای برگشتی** و **هوای تازه**. از آنجا که هوای برگشتی در شرایط اتاق بوده و باری ندارد، فقط بخش مربوط به هوای تازه باید سرد شود.

# بررسی شرایط برودتی

§ اگر  $e$  هوای ورودی به دستگاه،  $rm$  شرایط اتاق،  $l$  شرایط واقعی خروج از دستگاه و  $adp$  شرایط ایده‌آل و تئوری خروجی از دستگاه (کویل سرد) باشد، تحول بین  $l$  و  $rm$  همان **خط RSHF** است ولی تحول بین  $adp$  و  $rm$  **تحولی فرضی** است که در آن هوا با شرایط  $adp$  خارج شده و علاوه بر تامین بارهای اتاق، قسمتی از هوای تازه که بدون تغییر از کویل عبور می‌کند، را نیز سرد می‌کند (همان حرارت‌های ERSH، ERLH و ...). بنابراین خط دوم همان **خط ESHF** خواهد بود. با پارامترهایی که انتخاب شده می‌توان نوشت:

$$TSH = RSH + OASH$$

$$TLH = RLH + OALH$$

$$GTH = TSH + TLH = RTH + OATH$$

§ به علاوه:

$$ERSH = 1.08 \times (1 - BF) \times cfm_{da} \times (t_{rm} - t_{adp})$$

# بررسی شرایط برودتی (مثال)

§ محل: فروشگاه

§ شرایط طرح خارج در تابستان: 95 °F DB و 75 °F WB

§ شرایط طرح داخل در تابستان: 75 °F DB و 50% RH

§ بار محسوس 200000 Btu/hr و بار نهان 50000 Btu/hr

§ هوای لازم برای تهویه: 2000 cfm



$$cfm_{oa} = 2000$$

$$OASH = 1.08 \times cfm_{oa} \times (t_{oa} - t_{rm}) = 1.08 \times 2000 \times (95 - 75) = 43200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$OALH = 0.68 \times cfm_{oa} \times (w_{oa} - w_{rm}) = 0.68 \times 2000 \times (99 - 65) = 46200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$OATH = OASH + OALH = 43200 + 46200 = 89400 \quad \text{Btu/hr}$$

## بررسی شرایط برودتی (مثال)

2

COIL BYPASS FACTOR	TYPE OF APPLICATION	EXAMPLE
0.30 to 0.50	A <i>small</i> total load or a load that is somewhat larger with a low sensible heat factor (high latent load).	Residence
0.20 to 0.30	Typical comfort application with a <i>relatively small</i> total load or a low sensible heat factor with a somewhat larger load.	Residence, Small Retail Shop, Factory
0.10 to 0.20	Typical comfort application.	Dept. Store, Bank, Factory
0.05 to 0.10	Applications with high internal sensible loads or requiring a large amount of outdoor air for ventilation.	Dept. Store, Restaurant, Factory
0 to 0.10	All outdoor air applications.	Hospital Operating Room, Factory

$$BF = 0.15$$

$$ERSH = RSH + BF \times OASH = 200000 + 0.15 \times 43200 = 206480 \quad \text{Btu/hr}$$

$$ERLH = RLH + BF \times OALH = 50000 + 0.15 \times 46200 = 56930 \quad \text{Btu/hr}$$

$$ERTH = ERSR + ERLH = 206480 + 56930 = 263410 \quad \text{Btu/hr}$$

3

$$ESHF = ERSR / ERTH = 206480 / 263410 = 0.785$$

$$t_{adp} = 50 \text{ } ^\circ\text{F}$$

## بررسی شرایط برودتی (مثال)

4

$$\text{cfm}_{\text{da}} = \frac{\text{ERSH}}{1.08 \times (1 - \text{BF}) \times (t_{\text{rm}} - t_{\text{adp}})} = \frac{20640}{1.08 \times (1 - 0.15) \times (75 - 50)} = 9000$$

$$t_{\text{rm}} - t_{\text{sa}} = \frac{\text{RSH}}{1.08 \times \text{cfm}_{\text{da}}} = \frac{200000}{1.08 \times 9000} = 20.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{cfm}_{\text{da}} = \text{cfm}_{\text{sa}} = 9000$$

$$\text{cfm}_{\text{ra}} = \text{cfm}_{\text{sa}} - \text{cfm}_{\text{oa}} = 9000 - 2000 = 7000$$

5

$$t_{\text{edb}} = \frac{\text{cfm}_{\text{oa}}}{\text{cfm}_{\text{sa}}} t_{\text{oa}} + \frac{\text{cfm}_{\text{ra}}}{\text{cfm}_{\text{sa}}} t_{\text{rm}} = \frac{2000}{9000} 95 + \frac{7000}{9000} 75 = 79.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_{\text{ewb}} = 65.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_{\text{ldb}} = t_{\text{sa}} = t_{\text{rm}} - (t_{\text{rm}} - t_{\text{sa}}) = 75 - 20.5 = 54.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_{\text{lw b}} = 52.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

# بررسی شرایط برودتی (مثال)



$$\text{TSH} = \text{RSH} + \text{OASH} = 200000 + 43200 = 243200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$\text{TLH} = \text{RLH} + \text{OALH} = 50000 + 46200 = 96200 \quad \text{Btu/hr}$$

$$\text{GTH} = \text{TSH} + \text{TLH} = 243200 + 96200 = 339400 \quad \text{Btu/hr}$$

