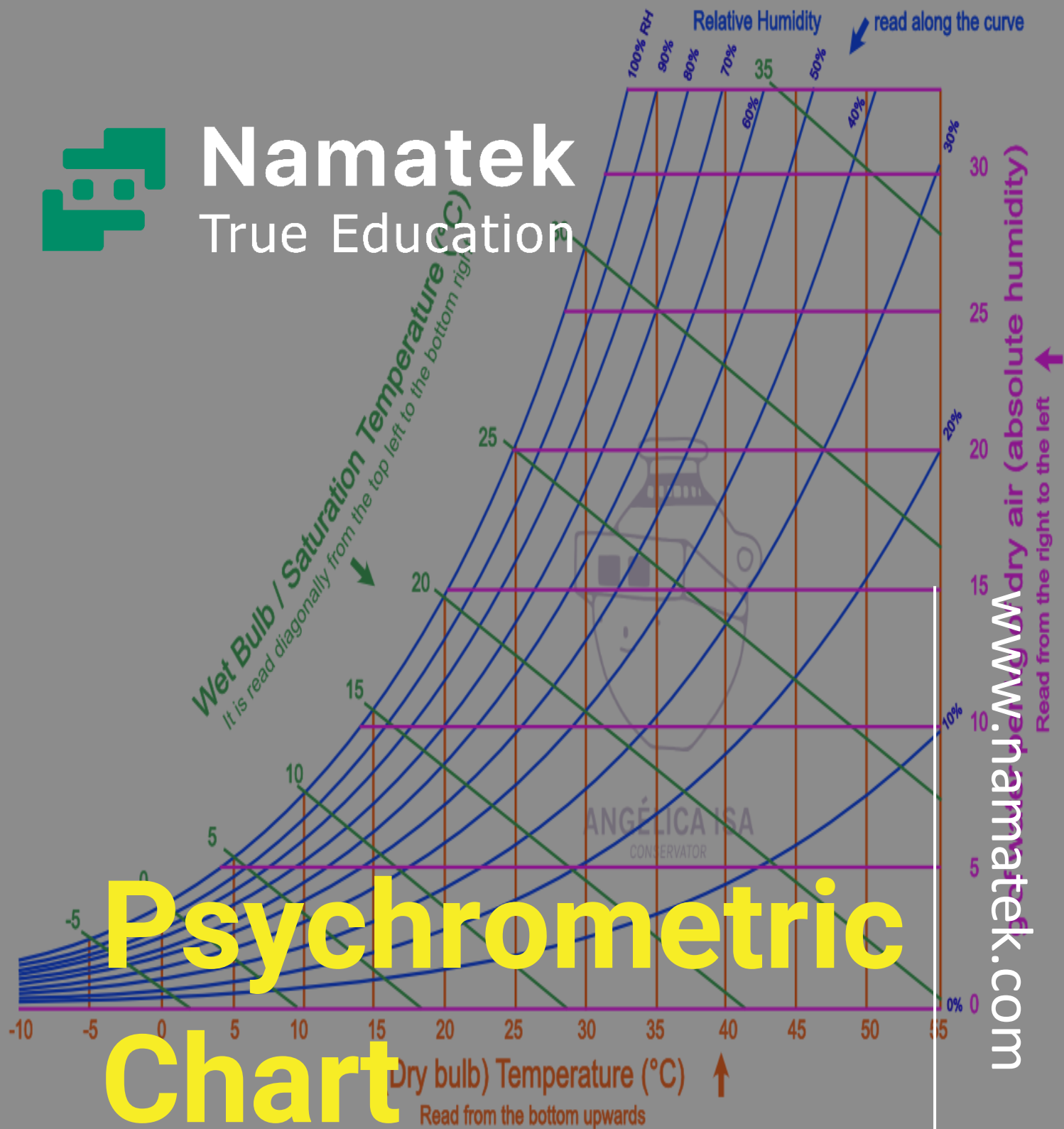




**Namatek**  
True Education



آشنایی جامع با نمودار  
سایکرومتریک در تهویه  
مطبوع

## فهرست مطالب

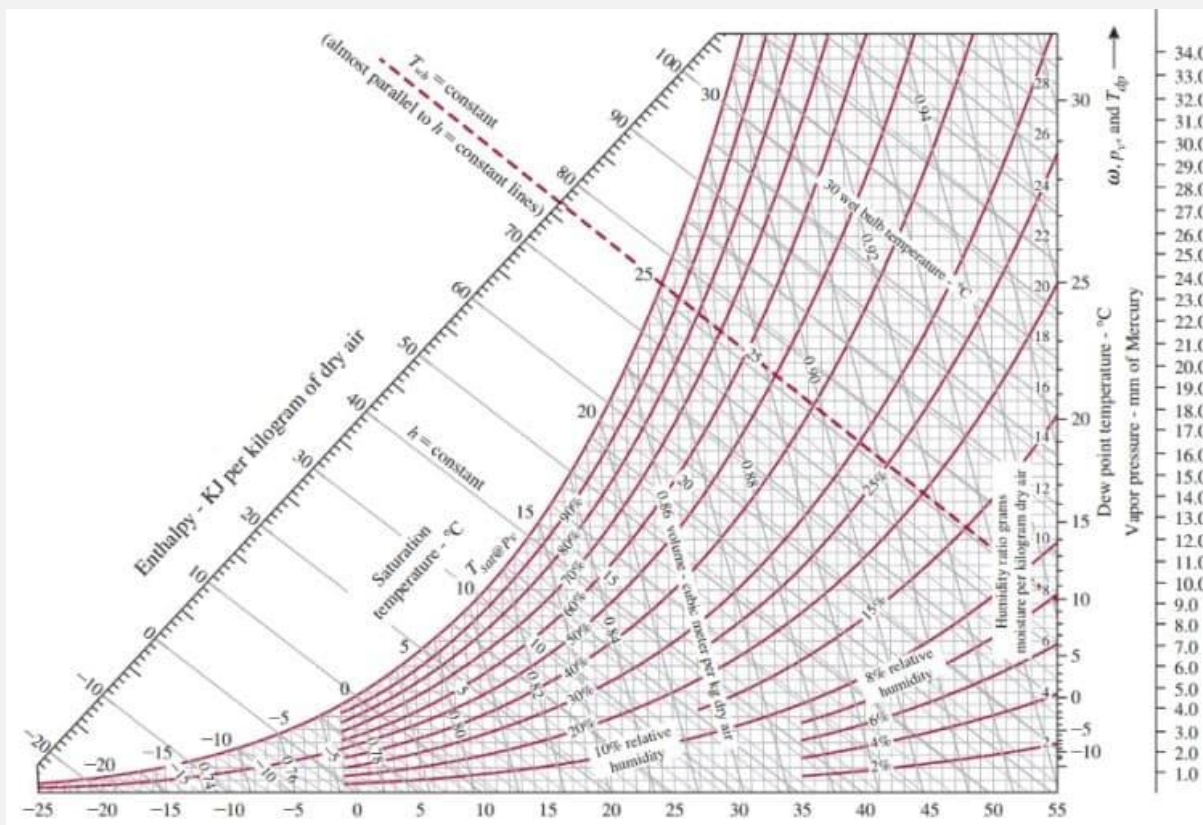
۱. نمودار سایکرومتریک و اجزای آن
۲. آموزش استفاده از نمودار سایکرومتریک
۳. فرآیندهای تهویه مطبوع در نمودار سایکرومتریک

نمودار سایکرومتریک یکی از پرکاربردترین ابزارهای جانبی برای تحلیل مسائل تهویه مطبوع است. در مسائل تهویه مطبوع تمام تمرکز ما روی بررسی شرایط هوا در یک محیط است. برای سهولت تحلیل مسائل، نموداری تحت عنوان سایکرومتریک طراحی شده که داده های مورد نیاز به راحتی از آن قابل استخراج هستند. در این مطلب قصد داریم به معرفی کامل این نمودار بپردازیم.

تا انتها با ما همراه باشید.

## #۱ نمودار سایکرومتریک و اجزای آن

در مسائل تهویه مطبوع به دنبال آن هستیم که شرایط هوا را در یک مکان به گونه ای تنظیم کنیم که آسایش حرارتی در محیط برقرار شود. برای این منظور نیاز به محاسبه بار گرمایش یا سرمایش مورد نیاز در محیط مورد نظر داریم. نمودار سایکرومتریک (Psychrometric Chart) به ما کمک می کند که داده های مورد نیاز برای محاسبه بار سرمایش و گرمایش را به راحتی استخراج کنیم. بدون استفاده از این نمودار باید محاسبات ریاضی پیچیده، طولانی و خسته کننده انجام دهیم. تصویر زیر نمایی از نمودار سایکرومتریک است.

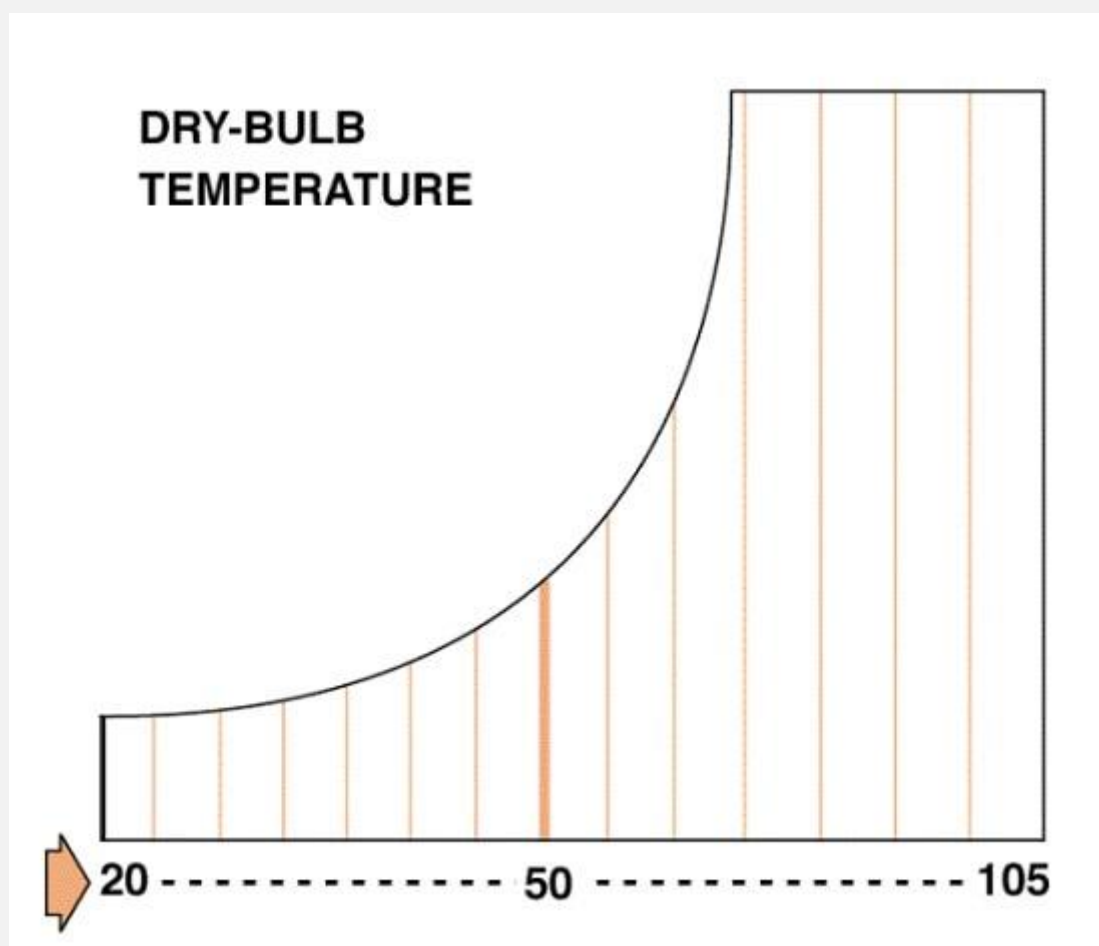


در وهله اول این نمودار به دلیل وجود خطوط زیاد، شلوغ و پیچیده به نظر می رسد. اما واقعیت این است که با شناخت هر یک از خطوط نمودار خیلی راحت می توان با این نمودار کار کرد. در نمودار سایکرومتریک چندین پارامتر وجود دارند که در این بخش به آن ها می پردازیم.

## ۱-۱# دمای حباب خشک (Dry Bulb Temperature)

محور افقی که در پایین نمودار مشاهده می کنید و خطوط عمودی دارد، نشان دهنده پارامتر دمای حباب خشک است. این پارامتر به اختصار دمای DB نیز نامیده می شود. وقتی از سمت چپ به راست نمودار سایکرومتریک حرکت می کنید، مقدار دمای حباب خشک افزایش می یابد. لازم به ذکر است که تمام نقاط واقع در امتداد یک خط عمودی در

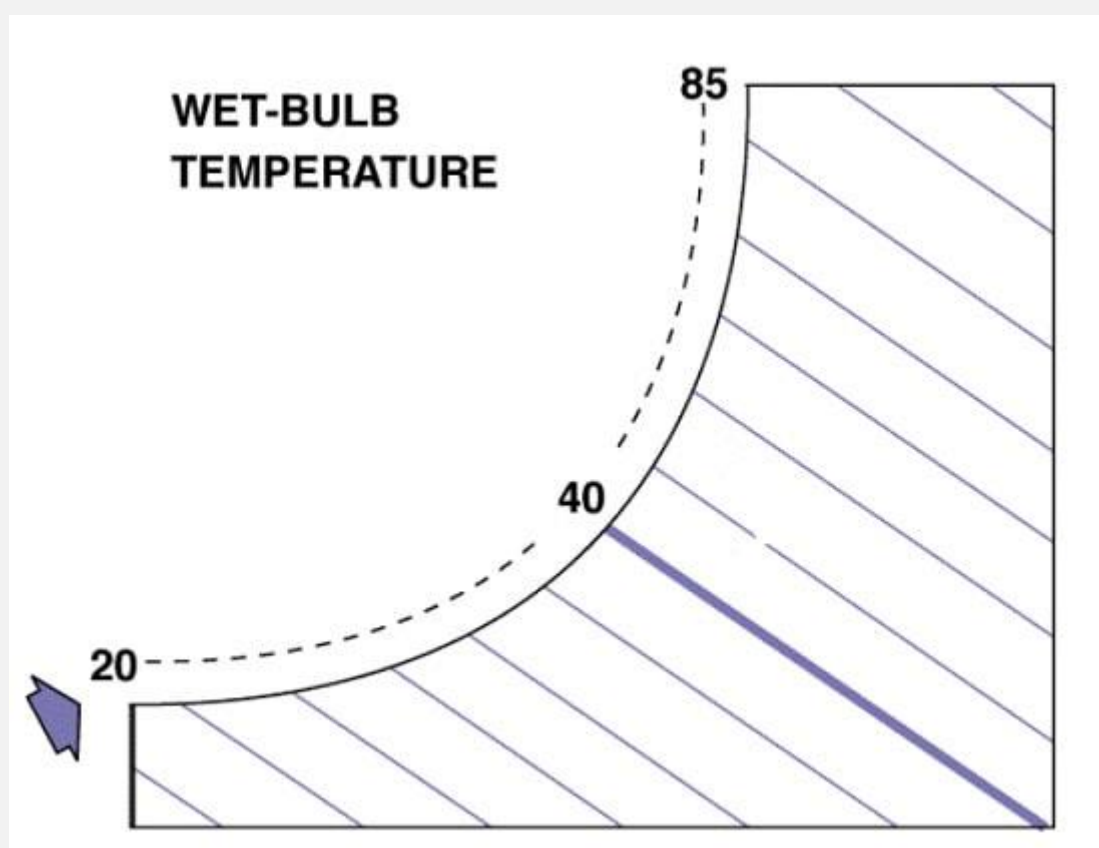
نمودار سایکرومتریک دمای حباب خشک یکسانی دارند. شاید بپرسید منظور از دمای حباب خشک چیست. دمایی که دماسنج در یک محیط در تماس مستقیم با هوا نشان می دهد، دمای حباب خشک نامیده می شود.



## ۱-۲# دمای حباب تر (Wet Bulb Temperature)

محور منحنی شکل سمت چپ نمودار سایکرومتریک به پارامتر دمای حباب تر اختصاص دارد. کلیه نقاط روی یک خط مورب که از این محور به سمت پایین - راست نمودار امتداد پیدا می کند، دمای حباب تر یکسان دارند. این دما در نمودار به اختصار با WB نشان داده می شود. بد نیست

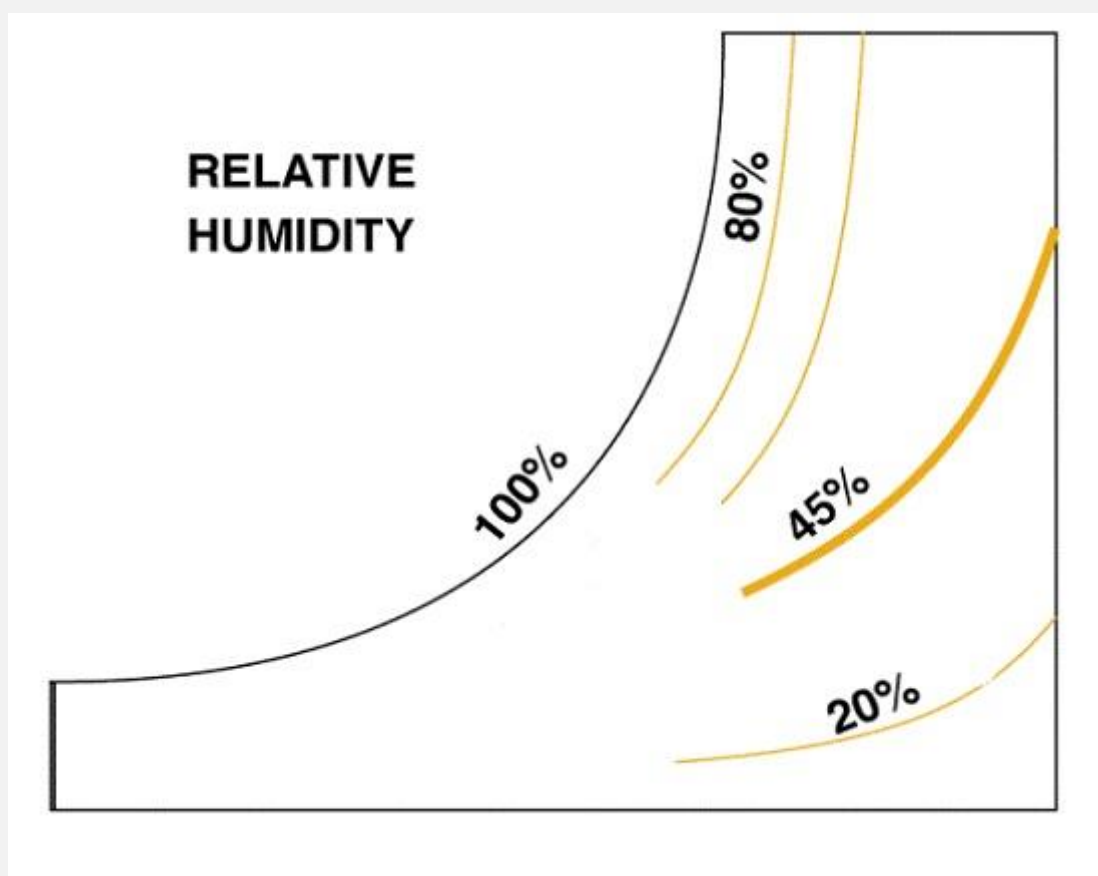
که در این جا اشاره ای به مفهوم دمای حباب تر نیز داشته باشیم. فرض کنید که یک دماسنج را در تماس با هوای یک محیط قرار دهید. سپس یک دستمال پنبه ای خیس را به دور حباب دماسنج بپیچید. در این شرایط هوای محیط ابتدا از منافذ دستمال عبور می کند و مرطوب می شود. سپس با دماسنج تماس پیدا می کند. به دمایی که دماسنج در این شرایط نشان می دهد، دمای حباب تر گفته می شود.



### ۳-۱# رطوبت نسبی (Relative Humidity)

رطوبت نسبی یکی دیگر از پارامترهایی است که در نمودار سایکرومتریک وجود دارد. در اصطلاح به نسبت فشار جزئی بخار آب به فشار بخار اشباع در یک دمای خاص، رطوبت نسبی می گویند. این پارامتر به صورت

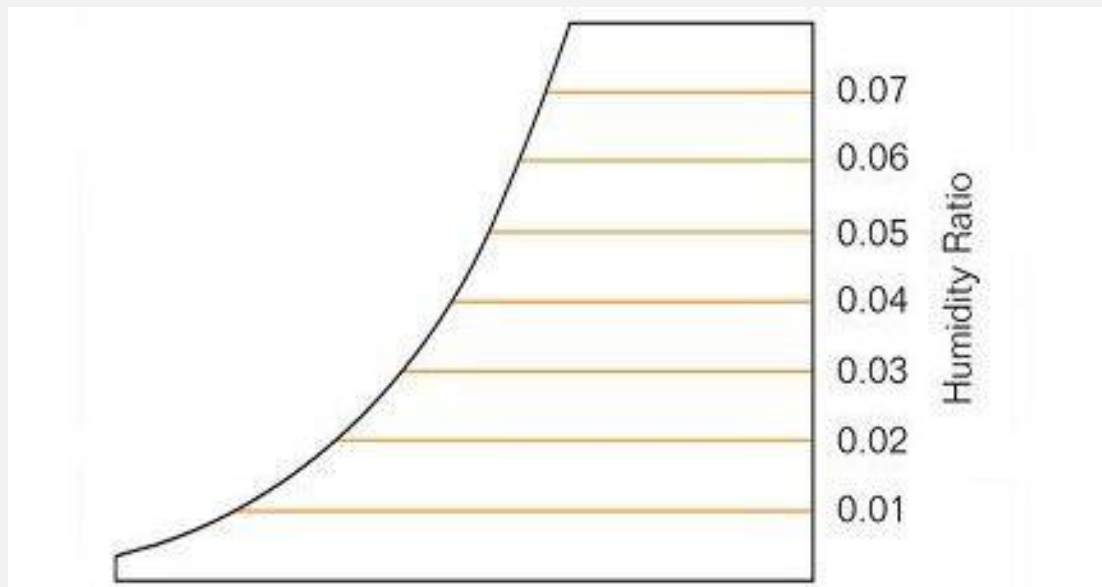
درصدی بین ۰ تا ۱۰۰ بیان می شود. هر چه رطوبت نسبی افزایش پیدا کند، شرایط هوا در یک محیط به بخار اشباع نزدیک می شود. رطوبت نسبی در سایکرومتریک به صورت خطوط مورب و مشابه تصویر زیر نشان داده می شود. هر چه به سمت بالا حرکت می کنیم، رطوبت نسبی هوا افزایش پیدا می کند.



## ۴-۱# نسبت رطوبت (Humidity Ratio)

به نسبت وزن بخار آب موجود در هوا به وزن هوای خشک، نسبت رطوبت گفته می شود. این کمیت به نوعی کمیت بدون بعد است. در نمودار سایکرومتریک محور عمودی سمت راست به این پارامتر اختصاص دارد. هر چه به سمت بالا حرکت کنیم نسبت رطوبت افزایش پیدا می

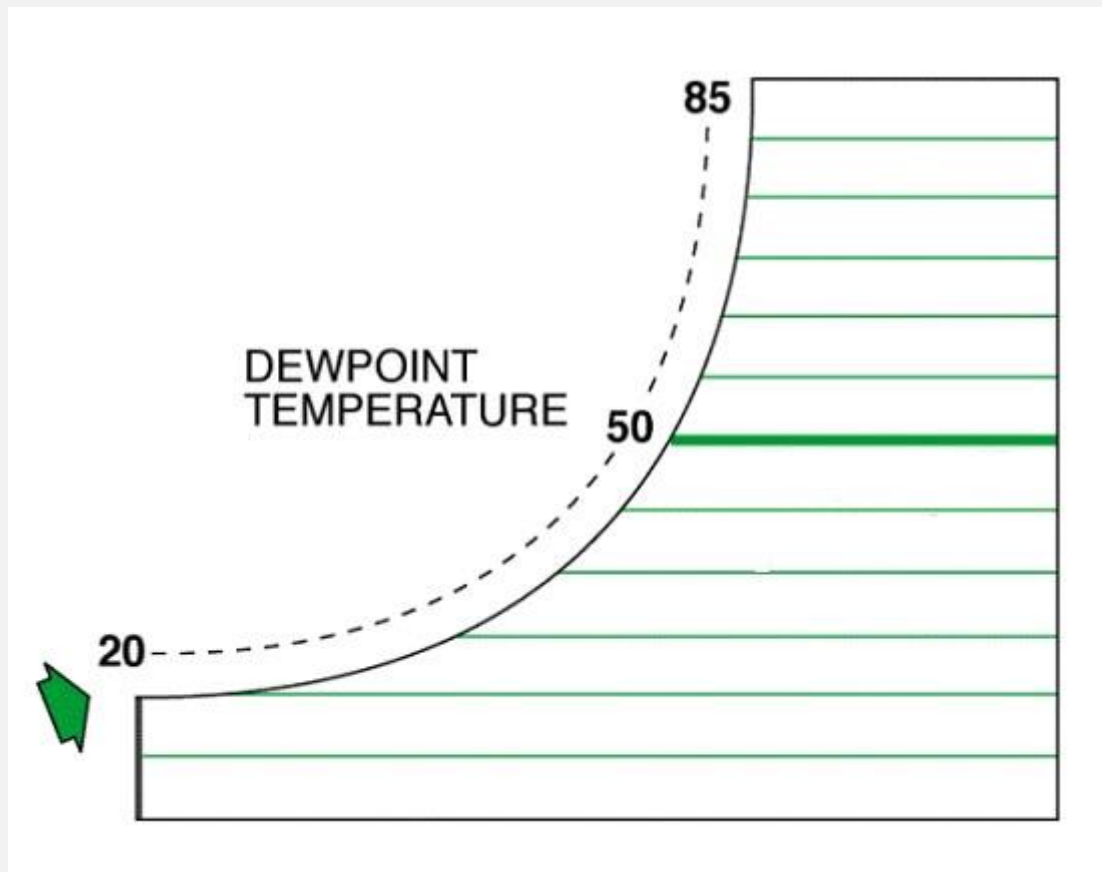
کند. در ضمن کلیه نقاطی که روی یک خط افقی در نمودار قرار می گیرند، دارای نسبت رطوبت یکسانی هستند.



## #۱-۵ دمای نقطه شبنم (Dew Point Temperature)

دمای نقطه شبنم از جمله پارامترهای مهم نمودار سایکرومتریک است که روی محور مورب در سمت چپ نمودار قرار دارد. به طور کلی دمایی که هوای مرطوب در آن به حد اشباع می رسد، دمای نقطه شبنم است. وقتی هوای مرطوب سرد می شود، میزان بخار آب موجود در آن افزایش می یابد. به محدوده مشخصی که در آن بخار آب تقطیر می شود و به حالت مایع در می آید، دمای نقطه شبنم می گویند. کلیه خطوط افقی که از محور مورب در نمودار سایکرومتریک خارج می شوند، معرف دمای نقطه شبنم هستند. هر چه به سمت بالا حرکت کنیم، دمای نقطه شبنم افزایش

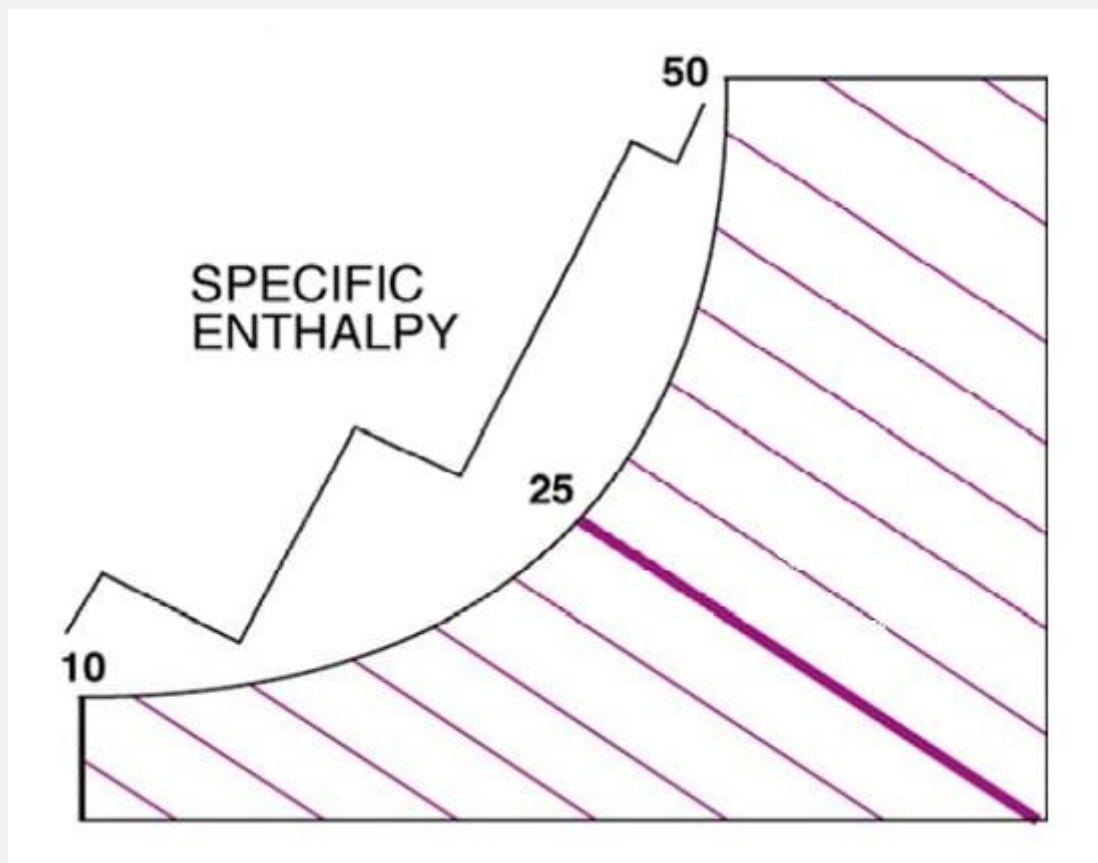
می یابد. همچنین کلیه نقاطی که روی یکی از این خطوط افقی قرار می گیرند، دمای نقطه شبنم یکسانی دارند.



## ۶-۱ # آنتالپی ویژه (Specific Enthalpy)

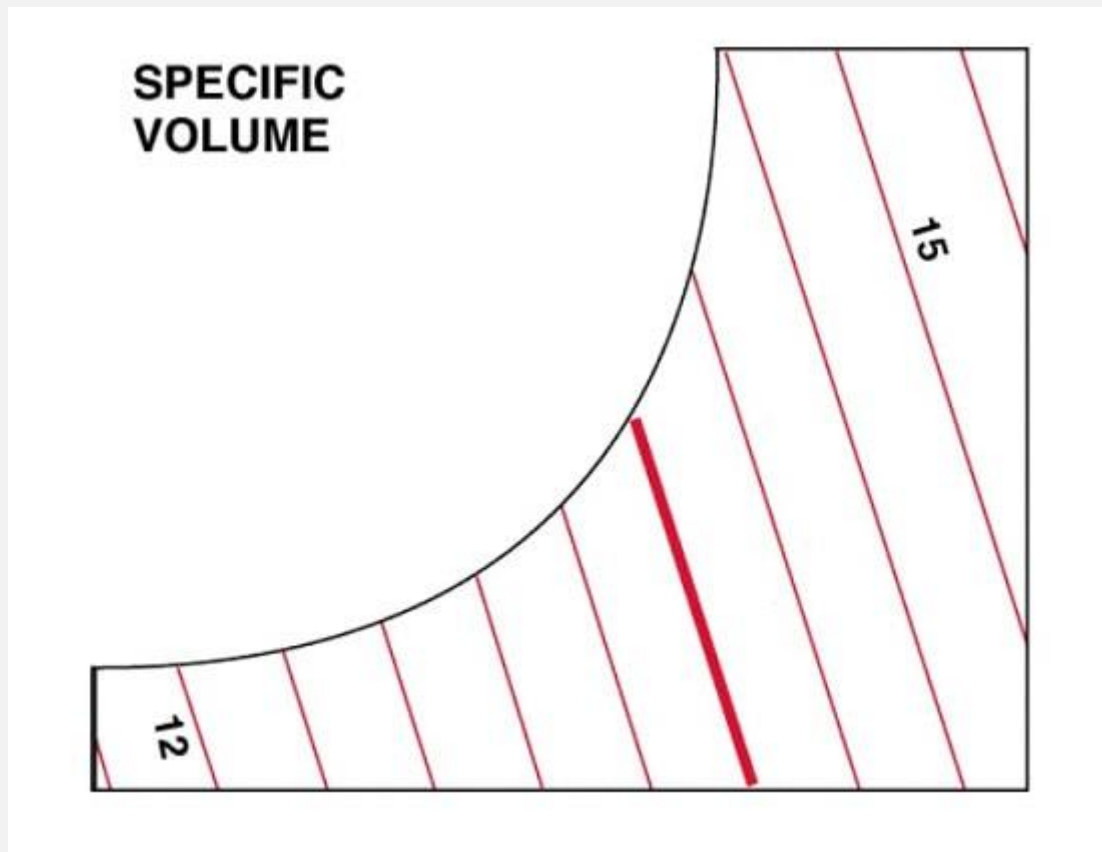
در یک مقاله جداگانه به بحث و بررسی در خصوص مفهوم آنتالپی پرداختیم که برای مطالعه بیشتر می توانید به آن مراجعه کنید. به نسبت آنتالپی به جرم سیستم ترمودینامیکی آنتالپی ویژه گفته می شود. پارامتر آنتالپی ویژه در نمودار سایکرومتریک روی محور منحنی سمت چپ تعریف شده است. در این نمودار خطوط آنتالپی ثابت مانند تصویر زیر، به صورت مورب کشیده می شوند. دقت داشته باشید که بین خطوط با آنتالپی ویژه

ثابت با خطوط دمای هوای تر تفاوت وجود دارد. به طور کلی در نمودار هر چه به سمت بالا حرکت کنیم، آنتالپی ویژه هوا افزایش می یابد.



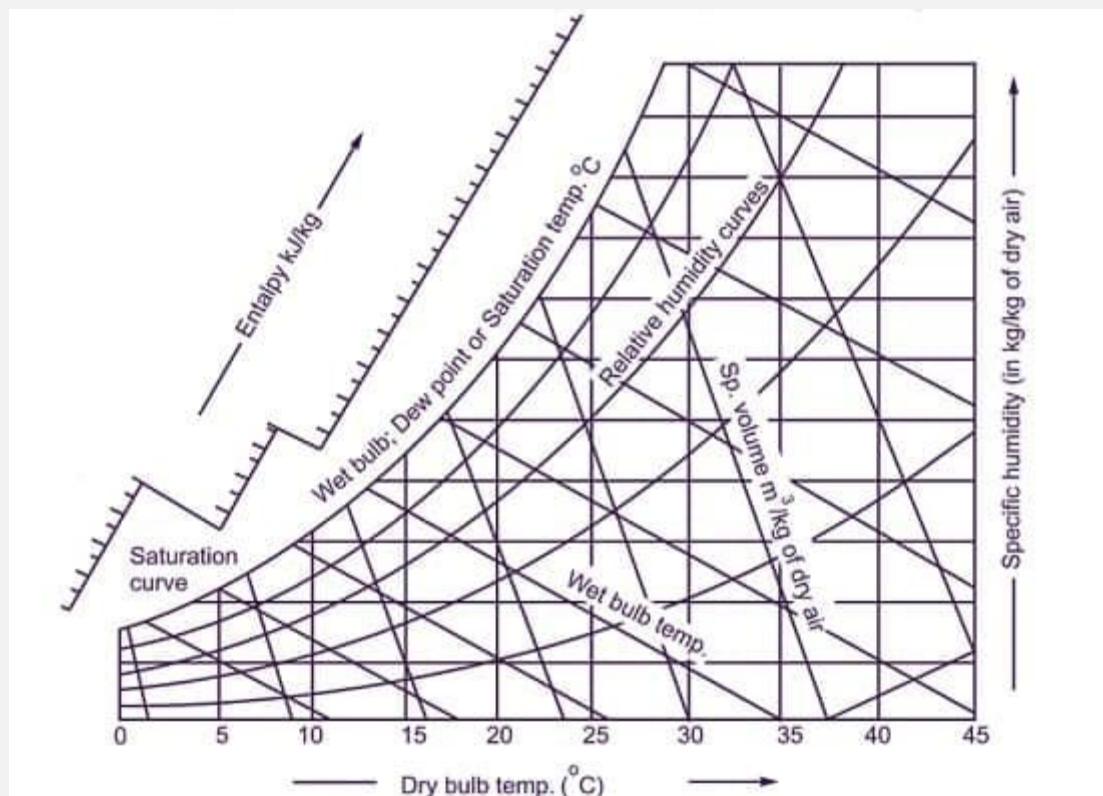
## ۷-۱# حجم مخصوص (Specific Volume)

حجم مخصوص آخرین پارامتری است که روی نمودار سایکرومتریک وجود دارد. به نسبت حجم هوا به جرم آن حجم مخصوص هوا گفته می شود. خطوط با حجم مخصوص ثابت نیز مشابه خطوط آنتالپی و دمای هوای تر به صورت مورب از منحنی سمت چپ نمودار به سمت پایین ترسیم می شوند. لازم به ذکر است که هرچه به سمت راست حرکت کنیم، حجم مخصوص هوا افزایش پیدا می کند.



## #۲ آموزش استفاده از نمودار سایکرومتریک

تا این جا به معرفی پارامترهای مختلفی که در چارت سایکرومتریک وجود دارند، پرداختیم. در ادامه به نحوه استفاده از این نمودار می پردازیم. قاعده کلی استفاده از نمودار سایکرومتریک بسیار ساده است. اگر مقدار دقیق دو پارامتر از موارد هفت گانه ای که در بالا معرفی کردیم، مشخص باشند، می توان سایر پارامترها را از روی نمودار به دست آورد.



اجازه دهید با یک مثال به توضیح بیشتر بپردازیم. تصور کنید دمای حباب خشک و حباب تر هوا به ترتیب برابر ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد باشد. همان طور که اشاره کردیم، دمای حباب خشک را روی محور افقی نمودار تعیین می کنند. مقدار ۲۵ درجه سانتی گراد را روی این محور مشخص کرده و سپس یک خط عمودی از آن رسم می کنیم. مقدار ۲۰ درجه سانتی گراد را نیز روی محور مورب مربوط به دمای حباب تر تعیین می کنیم. سپس یک خط عمود بر آن ترسیم می کنیم. دو خطی که ترسیم کردیم، یکدیگر را در یک نقطه خاص قطع می کنند که معرف شرایط ترمودینامیکی هوا در سایکرومتریک چارت است. به این ترتیب با معلوم بودن این نقطه می توان مقدار دقیق سایر پارامترها را نیز تعیین کرد.

## #۳ فرآیندهای تهویه مطبوع در نمودار

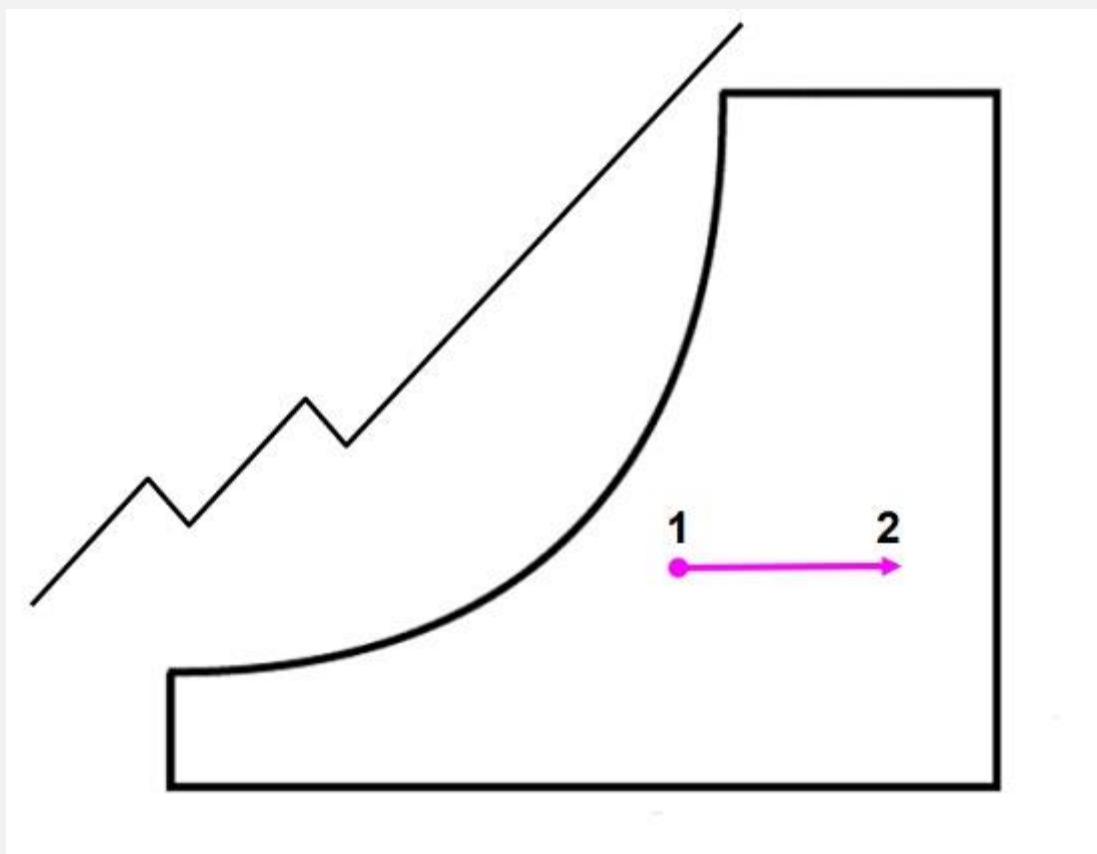
### سایکرومتریک

امکان نمایش انواع فرآیندهای تهویه مطبوع در نمودار سایکرومتریک وجود دارد. با کسب مهارت در این زمینه، عملاً می‌توان تمام مسائل تهویه مطبوع را روی سایکرومتریک چارت مدل‌سازی کرد. در نتیجه حل مسائل به مراتب آسان‌تر می‌شود. در این جا برخی از فرآیندهای مهم تهویه مطبوع را معرفی می‌کنیم.

## #۱-۳ گرمایش یا سرمایش محسوس در نمودار

### سایکرومتریک

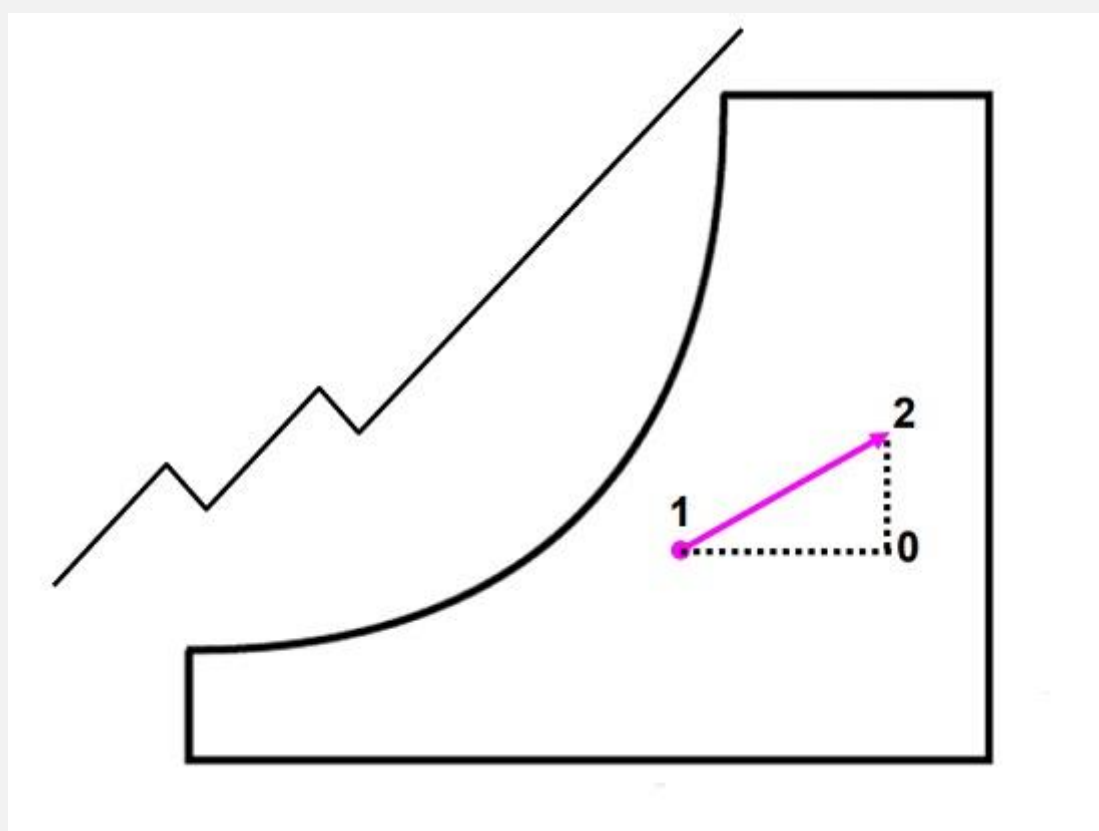
منظور از گرمایش یا سرمایش محسوس این است که دمای هوا در یک فرآیند، بدون این که نسبت رطوبت در آن کم یا زیاد شود، تغییر کند. فرض کنید که هوا قبل از آغاز فرآیند، روی سایکرومتریک چارت در نقطه ۱ قرار داشته باشد. نقطه ۲ نیز معرف شرایط هوا بعد از اتمام فرآیند است. با توجه به این که نسبت رطوبت ثابت باقی می‌ماند، متوجه می‌شویم که نقطه ۱ و ۲ روی یک خط افقی به موازات محور دمای حباب خشک قرار می‌گیرند. تصویر زیر مثالی از یک فرآیند گرمایش محسوس است. به عنوان مثال عبور هوا از یک کویل گرم در سایکرومتریک چارت را می‌توان با فرآیند مشابه تصویر فوق مدل‌سازی کرد.



## #۲-۳ گرمایش و رطوبت زنی در نمودار سایکرومتریک

گاهی اوقات فرآیند گرمایش و رطوبت زنی روی هوا اتفاق می افتد. در چنین شرایطی دمای حباب خشک و نسبت رطوبت افزایش پیدا می کنند. به عنوان مثال یک کویل گرمایش را تصور کنید که ابتدا هوا را گرم می کند و سپس به کمک قطرات آب، رطوبت آن را افزایش می دهد. هوا قبل از ورود به کویل در حالت ۱ قرار دارد. بعد از پایان فرآیند گرمایش به حالت ۲ می رسد. تا این جا همه چیز دقیقا مشابه فرآیند گرمایش محسوس است که در بالا توضیح دادیم. بنابراین حدفاصل نقطه ۱ به ۲ یک خط افقی در نمودار سایکرومتریک به سمت راست است. در ادامه هوا وارد قسمت رطوبت زنی کویل می شود. در این فرآیند بدون تغییر دمای حباب خشک،

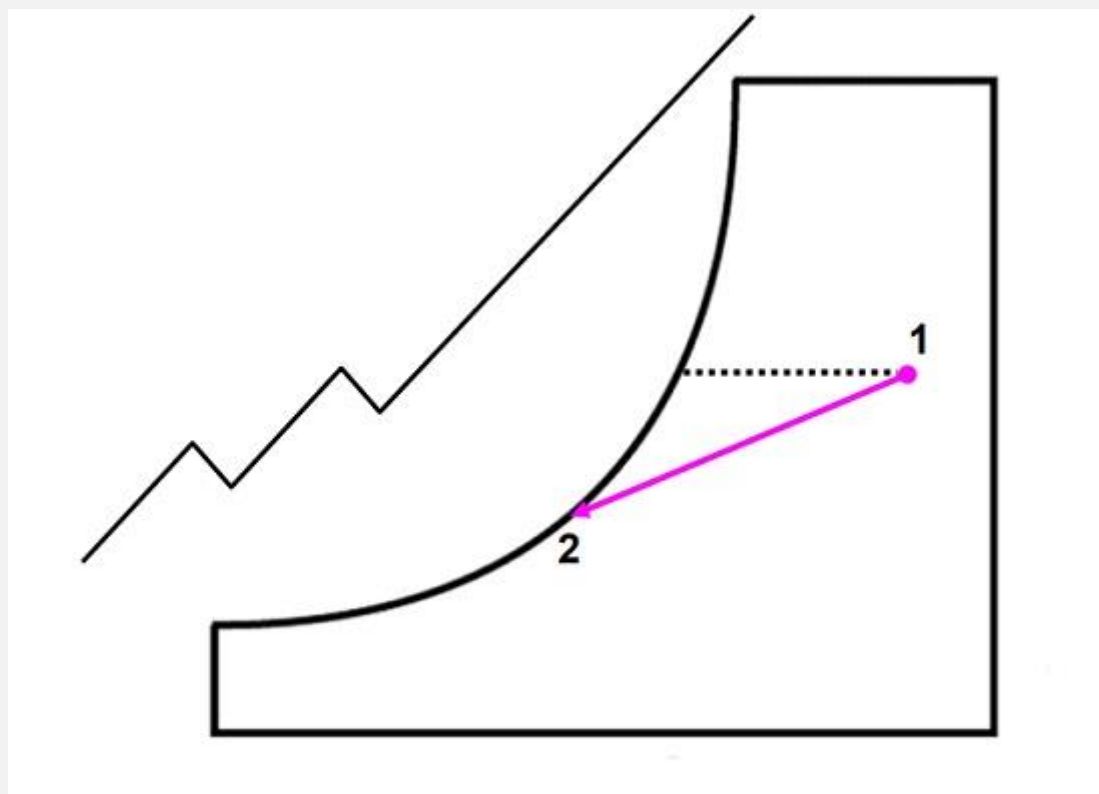
نسبت رطوبت هوا افزایش پیدا می کند و به حالت ۲ می رسد. با این توضیح حداقل فرآیند ۰ تا ۲ را باید با یک خط عمودی در چارت سایکرومتریک نشان داد. نکته مهم این است که آن چه در نهایت مورد نیاز ماست، فرآیندی است که بین نقطه ۱ تا ۲ طی می شود. بنابراین برای مدل سازی نهایی باید نقطه ۱ را به ۲ وصل کنید و سایر خطوط را پاک نمایید.



## #۳-۳ سرمایش و رطوبت گیری در نمودار سایکرومتریک

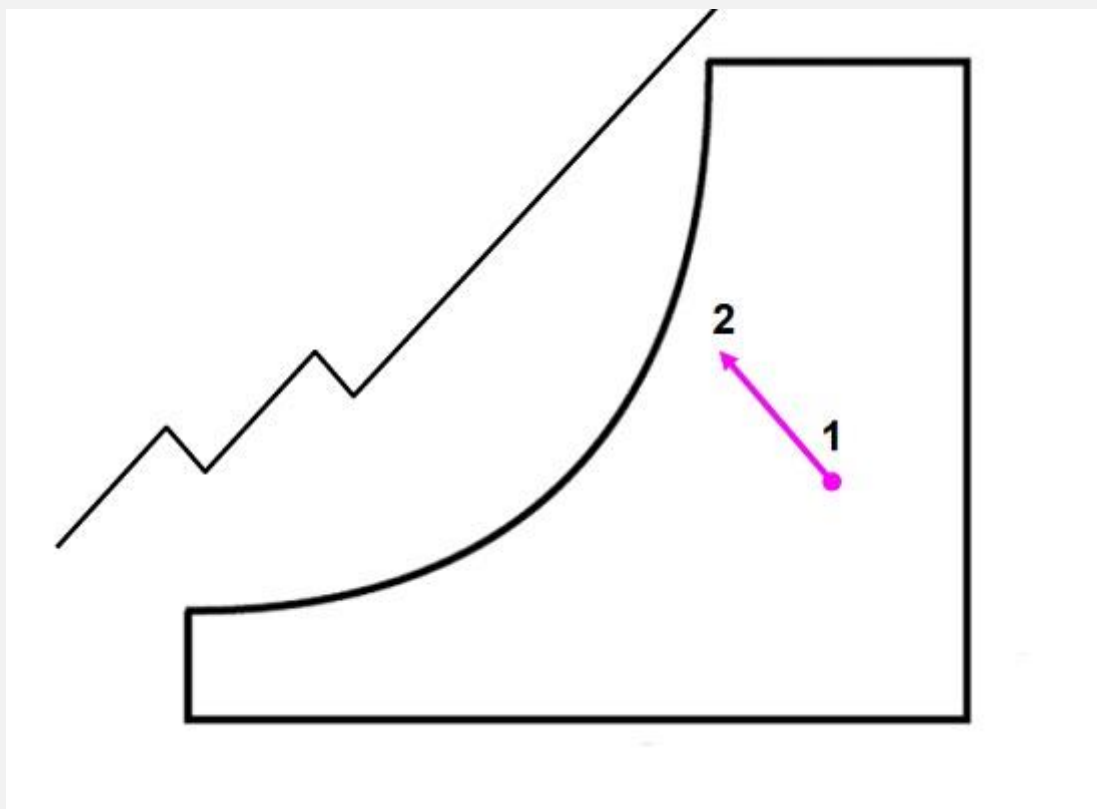
گاهی اوقات فرآیند سرمایش و رطوبت گیری در یک محیط رخ می دهد. در چنین شرایطی دمای حباب خشک و نسبت رطوبت کاهش پیدا می

کنند. معمولا در این حالت دمای حباب خشک را به دمای نقطه شبنم می‌رسانند. به عنوان مثال یک کویل سرمایش را در نظر بگیرید که ابتدا هوا را خنک می‌کند و سپس به کمک خشک‌کن، رطوبت آن را کاهش می‌دهد. هوا قبل از ورود به کویل در حالت ۱ قرار دارد. بعد از پایان فرآیند سرمایش به حالت ۰ می‌رسد. دقیقا مشابه فرآیند سرمایش محسوس که در بالا توضیح دادیم. بنابراین حداقل فاصل نقطه ۱ به ۰ باید خط افقی در نمودار سایکرومتریک به سمت چپ ترسیم شود. در ادامه هوا وارد قسمت رطوبت‌گیری کویل می‌شود. در این فرآیند رطوبت هوا کاهش پیدا می‌کند؛ اما در عین حال دمای هوا در محدوده نقطه شبنم باقی می‌ماند. بنابراین حداقل فاصل نقطه ۰ به ۲ روی خط منحنی به سمت پایین ترسیم می‌شود. در نهایت هم نقطه ۱ به ۲ متصل شده و سایر خطوط پاک می‌شوند.



## #۳-۴ سرمایه‌ش تبخیری در نمودار سایکرومتریک

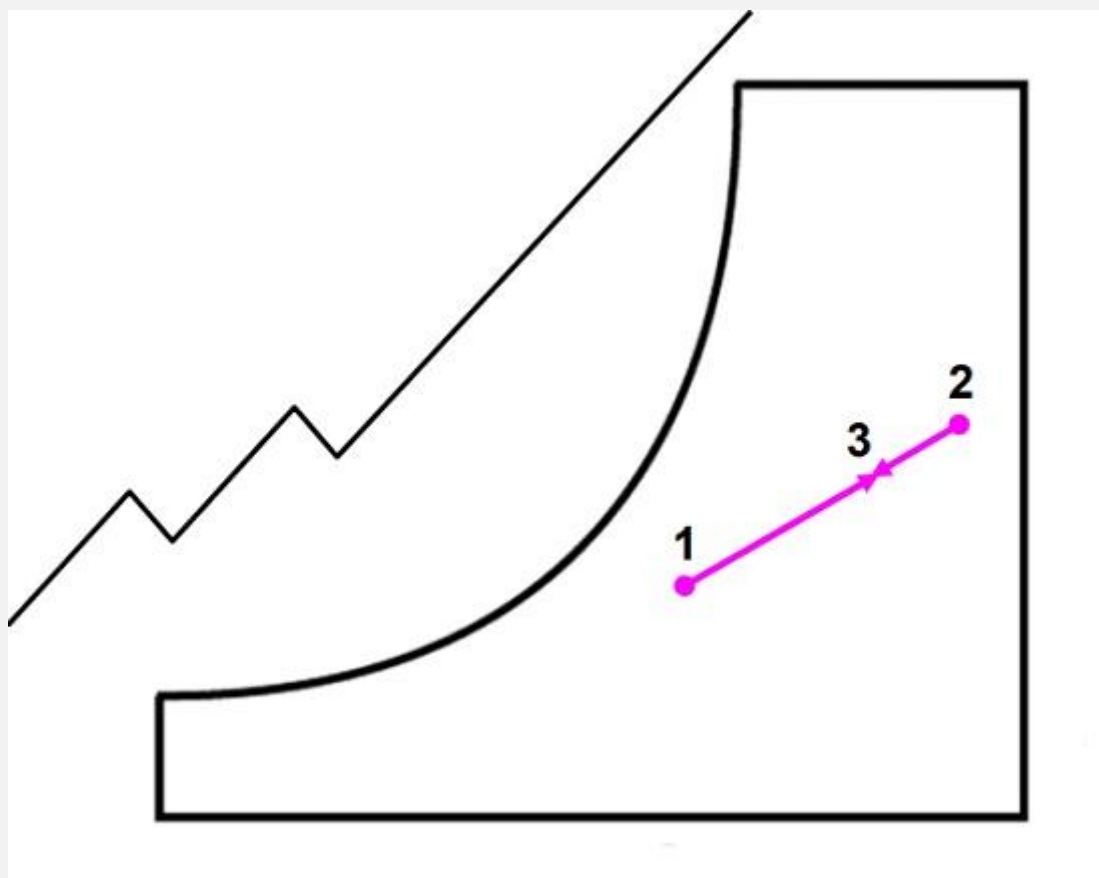
منظور از سرمایه‌ش تبخیری فرآیندی است که در آن بدون انتقال حرارت محسوس، دمای هوا خنک می‌شود. در این فرآیند انتقال گرمای نهان تبخیر است که باعث سرد شدن هوا می‌گردد. در سرمایه‌ش تبخیری، دمای حباب تر هوا ثابت باقی می‌ماند. بنابراین برای ترسیم این فرآیند روی نمودار سایکرومتریک باید به صورت تصویر زیر عمل کنید.



## #۳-۵ اختلاط دو جریان هوا در نمودار سایکرومتریک

می‌توان فرآیند اختلاط دو جریان هوا را نیز در نمودار سایکرومتریک به تصویر کشید. به طور کلی در این فرآیند انتقال حرارت محسوسی اتفاق نمی‌افتد.

به تصویر زیر دقت کنید.



فرآیند اختلاط دو جریان هوا در سایکرومتریک چارت همواره به صورت فوق مدل سازی می شود. جریان هوای ۱ با دمای حباب خشک کم و جریان هوای ۲ با دمای حباب خشک زیاد، در تماس مستقیم با هم قرار می گیرند. دمای حباب خشک نهایی قطعا بیشتر از دمای ۱ و کمتر از دمای ۲ است. به طور کلی نقطه ۳ در چارت سایکرومتریک معرف حالت نهایی پس از اختلاط دو جریان هوا است. این نقطه دقیقا روی خط واصل نقاط ۱ و ۲ قرار می گیرد. محل دقیق آن باید بر اساس داده های موجود در مسئله تعیین شود.