توضیحاتی بر فصل اتمسفر

(کتاب زمین شناسی سال سوم)

حبیب تقی‌زاده مشاور پژوهشی سازمان هواشناسی کشور

پوشش گازی اطراف کره زمین را اتمسفر یا جوّ نامند. مرز پائینی آن سطح زمین است ولی برای مرز بالائی آن حدی وجود ندارد. اکثر دانشمندان براین عقیده‌اند که ضخامت اتمسفر اطراف کره زمین بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر می‌باشد. گازهای موجود در جوّ بر اساس فراوانی نسبی آنها بشرح زیر است:

نیتروژن ــ اکسیژن ــ آرگون ــ گازکربنیک ــ نئون ــ هلیوم ــ کریپتون ــ ئیدروژن ــ گزنون ــ اُزن رادون. علاوه بر گازهای یادشده مقداری بخار آب ــ ذرات خارجی مانند گردوخاک ــ غبار و غیره در آن یافت میشود. اگر درصد حجمی گازهای موجود در اتمسفر پاک و خشک را مورد مطالعه قرار دهیم میتوانیم آنرا به دو طبقه کاملاً متمایز از یکدیگر تقسیم‌بندی کنیم:

۱ ــ طبقه هموسفر (Homosphere) یا همگن کره

ضخامت این طبقه حدود ۸۰ الی ۱۰۰ کیلومتر است. توزیع گازهای موجود در اتمسفر از نظر درصد حجمی در آن بطور یکنواخت است. این درصد حجمی برای گازهای مختلف دراین طبقه بشرح زیر است.

درصد حجمی	نام گاز	درصد حجمی	نام گاز
۵×۱۰^{-۵}	ئیدروژن	$۱/۸ \times ۱۰^{-۳}$	نئون
۵×۱۰^{-۵}	اکسیدهای نیتروژن	$۵/۲۴ \times ۱۰^{-۴}$	هلیوم
$۸/۷ \times ۱۰^{-۶}$	گزنون	۲×۱۰^{-۴}	متان
۱×۱۰^{-۶}	اُزن	$۱/۴ \times ۱۰^{-۶}$	کریپتون
۶×۱۰^{-۱۸}	رادون		

درصد حجمی	نام گاز
۷۸/۰۸۴	نیتروژن
۲۰/۹۴۶	اکسیژن
۰/۹۳۴	آرگون
۰/۰۳۳	گازکربنیک

اگر از درصدهای کم صرفنظر شود، میتوان گفت نیتروژن ۰/۰۷۸ اکسیژن ۰/۰۲۱ و آرگون یک درصد در اتمسفر وجود دارد و میتوان باتوجه به قانون دالتون جرم ملکولی هوا را محاسبه کرد.

قانون دالتون: هرگاه چندگاز همدما که از نظر شیمیائی برهم بی‌اثرند با یکدیگر مخلوط شوند، جرم ملکولی مخلوط گازها از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$M = M_۱ N_۱ + M_۲ N_۲ + M_۳ N_۳ + \dots$$

که در این رابطه M جرم ملکولی مخلوط گازها و $M_۱$ و $M_۲$ و $M_۳$ و... جرم ملکولی هر گاز و $N_۱$ و $N_۲$ و $N_۳$ و... درصد حجمی هرگاز است. باتوجه به رابطه فوق جرم ملکولی هوا ۲۹ گرم

$$M = ۰/۷۸ \times ۲۸ + ۰/۲۱ \times ۳۲ + ۰/۰۱ \times ۴۰ = ۲۸/۹۶$$

بدست می‌آید، یا به‌عبارت دیگر جرم ۲۲/۴

لیتر هوا در شرایط متعارفی برابر ۲۹ گرم است.

۲ ــ طبقه هتروسفر (Heterosphere)، ناهمگن کره

از ارتفاع تقریبی ۹۰ کیلومتری شروع میشود و تا بالای اتمسفر ادامه دارد. در این لایه اکثر گازها بصورت اتمی بوده و توزیع عمودی آنها براساس جرم اتمی گازهاست. یعنی اینکه گازهائیکه دارای جرم اتمی زیاد می‌باشند در زیر و گازهائیکه سبک‌ترند در بالا واقع‌اند (مانند ئیدروژن و هلیوم). فصل مشترک دو طبقه هموسفر و هتروسفر را هموپاز Homopause نامند که در ارتفاع تقریبی ۹۰ کیلومتری واقع است. جرم ملکولی هوا تا ارتفاع ۹۰ کیلومتری ۲۹ گرم است و هرقدر بطرف بالا برویم از مقدار آن کاسته می‌شود، بطوریکه در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری به ۱۶ گرم میرسد.

علاوه بر گازهای موجود در اتمسفر، همیشه مقداری بخار آب نیز با آن همراه است. بنابراین اگر اتمسفر با بخارآب آن مورد مطالعه قرار گیرد به آن هوای مرطوب گفته میشود. برای مشخص نمودن میزان رطوبت موجود در هوا مقدار آنرا توسط چهار پارامتر در هواشناسی مشخص می‌کنند که این چهار پارامتر عبارتنداز:

۱ ــ رطوبت مطلق ۲ ــ رطوبت نسبی
۳ ــ رطوبت ویژه ۴ ــ نسبت آمیزه

الف ــ رطوبت مطلق:

جرم‌بخار آب‌موجود در واحدحجم‌هوا(متر مکعب) برحسب گرم یا بعبارت دیگر جرم مخصوص (حجمی) بخار آب در هوا را رطوبت مطلق گویند. فرمول آن بصورت زیر است.

$m = 289/3 \frac{e}{t}$. دراین رابطه e فشار جزئی بخار آب به میلی‌متر جیوه، T دمای مطلق هوا به درجه کلوین و m رطوبت مطلق هوا برحسب گرم برمترمکعب می‌باشد.

همانطوریکه ملاحظه میشود رطوبت مطلق هوا به دو عامل فشار جزئی بخارآب و دما بستگی دارد، بنابراین در یک هوای پایدار رطوبت مطلق هوا بهنگام صبح حداکثر و بهنگام ظهر حداقل مقدار خود را دارد.

مثال ۱ ــ دمای هوائی ساده $27^{\circ}C$ و فشار جزئی بخار آب ۶ میلی‌متر جیوه است مطلوبست رطوبت مطلق هوا

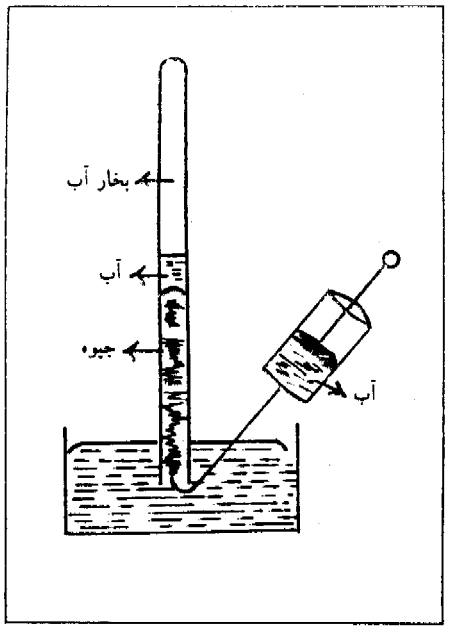
$$m = 289/3 \frac{e}{t} \Rightarrow m\ 289/3 \frac{6}{300} \Rightarrow$$

$$m \simeq 5/8\ g / m^3$$

یعنی در هر متر مکعب این هوا ۵/۸ گرم بخار آب وجود دارد.

فشار بخار اشباع

آزمایش: لوله آزمایشی بطول یک‌متر را انتخاب و آنرا پر از جیوه می‌کنیم، سپس آنرا در درون طشتک پر از جیوه واژگون می‌کنیم. سطح جیوه پائین می‌آید. طول ستون جیوه موجود در لوله آزمایش، معین کننده فشار هوا است. فضای بالای جیوه در لوله خلأ نسبی است. اکنون توسط یک سرنگ بتدریج مقداری آب بدرون لوله تزریق می‌کنیم. ملاحظه میشود که اولین قطره آب پس از ظهور در بالای ستون جیوه بلافاصله به بخار تبدیل میشود. این عمل را ادامه می‌دهیم. مشاهده میشود که قطرات بعدی یکندی به بخار تبدیل میشوند و زمانی می‌رسد که قطرات آب دیگر به بخار تبدیل نمیشوند. در این حالت بین فشار بخار آب و آب بالای جیوه در لوله آزمایش، تعادل برقرار شده است. یعنی آنکه اگر یک ملکول از سطح آب خارج و تبخیر شود، یک ملکول از بخار مایع شده و تعادل برقرار می‌گردد. فشار بخار آب در این حالت را فشار بخار اشباع گویند زیرا فضای بالای لوله از بخار آب سیر شده است. از روی کاهش طول ستون جیوه در لوله آزمایش میتوان فشار بخار آب را اندازه‌گیری کرد.



فشار بخار اشباع آب بستگی به دما دارد، بطوریکه اگر فضای بالای لوله را گرم نمائیم مجدداً مقداری آب تبخیر شده و سطح ستون جیوه پائین می‌رود و اگر برعکس، آن را سرد کنیم، مقداری از بخار آب تراکم حاصل نموده به آب تبدیل میشود و ارتفاع ستون جیوه بالا می‌رود. روابط مختلفی وجود دارد که میتوان توسط آنها فشار بخار اشباع آب را در دماهای مختلف بدست آورد که ساده‌ترین آن رابطه تی تن ز (Tetens) می‌باشد که بصورت $e_s = 4/58 \times 10^{\frac{at}{t+b}}$ نوشته می‌شود. که در این رابطه e_s فشار بخار اشباع برحسب میلی‌متر جیوه و t دما به درجه سانتی‌گردا و a و b ضرایب ثابتی هستند که مقادیر آن روی آب $a = 7/5$ و $b = 237/3$ و برای روی یخ $a = 9/5$ و $b = 265/5$ می‌باشد. زیرا فشار بخار اشباع روی آب بمراتب بیشتر از مقدار آن روی یخ است.

مثال ۲ ــ فشار بخار اشباع را در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد بدست آورید.

$$e_s = 4/58 \times 10^{\frac{7/5 \times 27}{27 + 237/3}} = 26/7\ mmHg$$

مثال ۳ ــ رطوبت مطلق را در هوای اشباع شده در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد بدست آورید.

$$m = 289/3 \times \frac{26/7}{300} = 25/7\ g / m^3$$

یعنی در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد اگر در هر مترمکعب هوا ۲۵/۷ گرم بخار آب وجود داشته باشد، هوا از بخار آب اشباع میشود و دیگر بخار آبی نمی‌پذیرد و اگر بخار آب افزایش یابد تراکم حاصل می‌کند.

ب ــ رطوبت نسبی:

نسبت رطوبت مطلق هوا به رطوبت مطلق هوای همدمایش در حالت اشباع را رطوبت نسبی گویند و فرمول آن چنین است:

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{\text{رطوبت مطلق هوا}}{\text{رطوبت مطلق هوای همدمایش در حالت اشباع}} \times ۱۰۰$$

و مقدار آن برحسب درصد بیان می‌گردد. همانطوریکه دیدیم رطوبت مطلق با فشار بخار آب متناسب است بنابراین میتوان نوشت.

$$RH = ۱۰۰ \times \frac{e}{e_s}$$

رطوبت نسبی در این رابطه e فشار بخار آب موجود در هوا و e_s فشار بخار اشباع در هوای همدمایش می‌باشد

مثال ۴: باتوجه به مثالهای ۱ و ۳ رطوبت نسبی را محاسبه کنید:

رطوبت مطلق هوا در مثال اول $۵/۸\ g/m^3$ بود و رطوبت مطلق هوای $۲۷^{\circ}c$ در حالت اشباع $۲۵/۷\ g/m^3$ بدست آمد پس می‌توان نوشت:

$$RH = ۱۰۰ \times \frac{۵/۸}{۲۵/۷} \quad ٪۲۳$$

برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی از دو وسیله یکی بنام هایگروستر یا رطوبت‌سنج موئی و دیگری سایکرومتر (دماسنج تر و خشک) استفاده می‌شود:

سایکرومتر وسیله مطمئنی برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی است و تشکیل شده از دو دماسنج که روی مخزن جیوه یکی از دماسنج‌ها فتیله‌ای بنام سوسلین قرار دارد و انتهای آن در داخل ظرف آب واقع شده است. به علت تبخیر آب، دمائی که این دماسنج نشان می‌دهد کمتر از دماسنج دیگر می‌باشد مگر آنکه هوا از بخارآب اشباع شده باشد که تبخیر صورت نگیرد آنوقت هر دو دماسنج یک دما را نشان می‌دهند. بنابراین، سایکرومترها دو دما را نشان می‌دهد یکی دمای خشک و دیگری دمای تر، که می‌توان از روی تفاضل دمای خشک و تر و مقدار دمای خشک میزان رطوبت نسبی را با دقت تعیین نمود. جدول زیر نمونه‌ای از جداول مربوط به محاسبه رطوبت نسبی هوا است.

دمای خشک به درجه سانتیگراد	اختلاف دمای تر و خشک به درجه سانتیگراد										
	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۰	۱۰۰	۸۱	۶۳	۴۵	۲۸	۱۱	—	—	—	—	—
۲	۱۰۰	۸۴	۶۸	۵۱	۳۵	۲۰	—	—	—	—	—
۴	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۶	۴۲	۲۸	۱۴	—	—	—	—
۶	۱۰۰	۸۶	۷۳	۶۰	۴۷	۳۵	۲۳	۱۰	—	—	—
۸	۱۰۰	۸۷	۷۵	۶۳	۵۱	۴۰	۲۸	۱۸	۷	—	—
۱۰	۱۰۰	۸۸	۷۶	۶۵	۵۴	۴۴	۳۴	۲۴	۱۴	۴	—
۱۲	۱۰۰	۸۹	۷۸	۶۸	۵۷	۴۸	۳۸	۲۹	۲۰	۱۱	—
۱۴	۱۰۰	۹۰	۷۹	۷۰	۶۰	۵۱	۴۲	۳۳	۲۵	۱۷	۹
۱۶	۱۰۰	۹۰	۸۱	۷۱	۶۲	۵۴	۴۵	۳۷	۳۰	۲۲	۱۵
۱۸	۱۰۰	۹۱	۸۲	۷۳	۶۴	۵۶	۴۸	۴۱	۳۴	۲۶	۲۰
۲۰	۱۰۰	۹۱	۸۳	۷۴	۶۶	۵۹	۵۱	۴۴	۳۷	۳۰	۲۴
۲۲	۱۰۰	۹۲	۸۳	۷۶	۶۸	۶۱	۵۴	۴۷	۴۰	۳۴	۲۸
۲۴	۱۰۰	۹۲	۸۴	۷۷	۶۹	۶۲	۵۶	۴۹	۴۳	۳۷	۳۱
۲۶	۱۰۰	۹۲	۸۵	۷۸	۷۱	۶۴	۵۸	۵۰	۴۵	۴۰	۳۴
۲۸	۱۰۰	۹۳	۸۵	۷۸	۷۲	۶۵	۵۹	۵۳	۴۸	۴۲	۳۷
۳۰	۱۰۰	۹۳	۸۶	۷۹	۷۳	۶۷	۶۱	۵۵	۵۰	۴۴	۳۹

مثال ۵: درجه حرارت هوا $۲۸^{\circ}c$ و دمای تر آن $۲۳^{\circ}c$ است مطلوبست رطوبت نسبی هوا

$۵^{\circ}c = ۲۳ - ۲۸$ = اختلاف دمای خشک و تر

با توجه به جدول رطوبت نسبی ٪۶۵ می‌شود.

تعریف دمای تر: عبارت از کمترین درجه حرارتی است که بر اثر عمل تبخیر میتوان بدست آورد. یا بعبارت دیگر در مثال بالا اگر

بخواهیم هوا را توسط یک کولر آبی خنک نمائیم بفرض آنکه بازده صددرصد باشد کمترین دمائی که می‌توان بدست آورد ۲۳ درجه سانتیگراد می‌باشد.

شرایط مناسب اقلیمی

مشخص شده است که درجه حرارت و رطوبت نسبی بهترین پارامترهایی هستند که میتوان براساس آنها شرایط مناسب برای محیط زیست و همچنین برای بالا بردن کیفیت کالا در کارخانجات مختلف را فراهم آورد. بعنوان مثال در کارخانجات نخ‌ریسی بایستی دمای محیط بین ۲۶°C الی ۲۹°C و رطوبت نسبی ۶۵٪ باشد و برای نخ‌تابی رطوبت نسبی ۷۵٪ و برای پشم‌بافی به رطوبت نسبی کمتری نیاز است. (حدود ۶۰ الی ۷۰ درصد) در صورتی که برای نخ‌های ابریشم مصنوعی رطوبت بیشتری مورد نیاز می‌باشد. در کارخانجات دخانیات به دمای حدود ۳۲°C و رطوبت نسبی بالا احتیاج می‌باشد. بر اساس مطالعه علمهای هواشناسی ــ روانشناسی و زیست‌شناسی این نتیجه بدست آمده است که در رطوبت‌های مختلف دمائی را که انسان احساس می‌کند متفاوت است. این دما را دمای مؤثر گویند که از رابطه زیر بدست آید

$$t_e = 0/4\ (t + t_w) + 4/8$$

در این رابطه t_e دمای مؤثر و t دمای خشک و t_w دمای تر است که همگی برحسب درجه سانتی‌گراداند. از روی t_e می‌توان منطقه آسایش را برای زیست انسان تعیین نمود. بطوریکه اگر $t_e = 21°C$ شود هیچکس احساس ناراحتی نمی‌کند و محیط احتیاج به گرم کردن یا خنک کردن ندارد. اگر t_e بین ۲۴°C الی ۲۷°C باشد تقریباً همه افراد احساس ناراحتی می‌کنند در ایالات متحده امریکا هنگامی که t_e برابر و یا بیشتر از ۳۰°C شود تمام ادارات و مؤسسات دولتی و کارخانجات تعطیل می‌شوند.

نقطه اشباع یا نقطه شبنم

آزمایش: در یک لیوان بلوری تمیز مقداری آب ریخته و در داخل آن چند قطعه یخ می‌اندازیم و در درون لیوان یک دماسنج قرار می‌دهیم، سپس آن را توسط یک بهم زن بهم می‌زنیم. افت دما را مرتباً توسط دماسنج مشاهده می‌کنیم. این عمل را آنقدر ادامه می‌دهیم تا لحظه‌ای پیش آید که بخار آب موجود در هوا روی سطح خارجی لیوان تراکم حاصل نماید یا باصطلاح لیوان عرق کند. دما را در این لحظه می‌خوانیم. این دما را نقطه اشباع یا نقطه شبنم گویند که اندازه آن از دمای هوا کمتر بوده و فقط هنگامی که رطوبت نسبی هوا ۱۰۰٪ باشد (یعنی حالت اشباع) با درجه حرارت هوا برابر خواهد شد. نقطه اشباع را با t_a نمایش می‌دهند و نامعادله زیر بین دمای خشک و تر و نقطه اشباع صادق است.

$ta < tw < t$ که در حالت اشباع $ta = tw = t$ می‌باشد.

تعریف: هرگاه دمای هوا را در فشار ثابت آنقدر پایین ببریم که رطوبت موجود در آن بحالت اشباع در آید گوییم که به نقطه اشباع رسیده‌ایم. همانطوری که قبلاً اشاره شد فرمول رطوبت نسبی بصورت $RH = 100 \frac{e}{e_s}$ بنابراین اگر در رابطه تی‌تن‌ز بجای t نقطه شبنم را قرار دهیم مقدار e بدست می‌آید و اگر بجای t دمای خشک را قرار دهیم e_s بدست می‌آید. حال اگر هوا را بیش از دمای اشباع سرد نمائیم تراکم حاصل می‌شود. برای روشن شدن موضوع به مثال‌های زیر توجه شود:

مثال ۶: درجه حرارت و نقطه اشباع هوای اطاقی به ترتیب ۲۱°C و ۱۰°C است، مطلوبست رطوبت نسبی و رطوبت مطلق هوا.

حل: اگر در رابطه تی‌تن‌ز بجای t، ۲۱ و ۱۰ قرار دهیم مقادیر

$e = 9/2^{mmHg}$ و $e_s = 18/7^{mmHg}$

بدست می‌آید. بنابراین

$$RH = 100 \times \frac{9/2}{18/7} = \%49$$

و چون در فرمول رطوبت مطلق بجای e مساویش و بجای $t = 21 + 273$ قرار دهیم، رطوبت مطلق $m = 9g/m^3$ خواهد شد، یعنی هر متر مکعب هوای اطاق ۹ گرم بخار آب دارد.

مثال ۷: اگر دمای هوای اطاق مثال ۶ را در فشار ثابت آنقدر پایین بیاوریم که برابر ۷°C شود چه اتفاقی می‌افتد؟

جواب: هنگامی که هوای اطاق را در فشار ثابت سرد نمائیم مرتباً رطوبت نسبی افزایش می‌یابد تا هنگامی که دمای اطاق ۱۰°C شود. در این موقع رطوبت نسبی ۱۰۰٪ است و حال اگر باز به سرد کردن ادامه دهیم، زیادی بخار آب تراکم حاصل می‌نماید و به صورت قطرات ریزآب روی اجسام برّاق و صیقلی ظاهر می‌شود، زیرا هنگامی که درجه حرارت هوا در اطاق به ۷ درجه سانتیگراد می‌رسد فشار بخار آب برابر ۷/۵ میلیمتر جیوه خواهد شد (با استفاده از رابطه تی‌تن‌ز) و اگر رطوبت مطلق را حساب نمائیم برابر ۷/۸ گرم بر متر مکعب می‌شودیعنی ازهرمتر مکعب‌هوا۱/۲g =۷/۸-۹ بخار آب آن به آب تبدیل می‌شود و رطوبت نسبی همان ۱۰۰٪ باقی می‌ماند.

ج ــ رطوبت ویژه

نسبت جرم مخصوص (حجمی) بخار آب به جرم مخصوص هوای مرطوب را رطوبت ویژه گویند و آن را با x نمایش می‌دهند و چون مقدار عددی آن بسیار کوچک است آن را در ۱۰۰۰ ضرب می‌کنند و برحسب گرم بر کیلوگرم بیان می‌شود.

د ــ نسبت آمیزه

نسبت جرم مخصوص بخار آب به جرم مخصوص هوای خشک را نسبت آمیزه گویند و آن را با r نمایش می‌دهند و چون این نسبت عددی است بسیار کوچک، آن را در عدد ۱۰۰۰ ضرب می‌کنند و برحسب گرم بر کیلوگرم بیان می‌کنند.

●