مجموعه آثار (۱۴)

مهندس مهدی بازرگان

آثار صنعتی و علمی

صفحه محاسبه یا آباک ، دیاگرام عمومی برای گازها و برای هوای مرطوب ،
تعیین شرایط هوای مطبوع در ارتفاع تهران ، خشک کردن هوا و تقطیر بخاری‌ها ،
خنک‌کردن هوا بدون ماشین مبرد ، آشنایی با زنت و زتکا
و
پدیده‌های جوّی

بنیاد فرهنگی مهندس مهدی بازرگان

مجموعه آثار (۱۴)
آثار صنعتی و علمی
مهندس مهدی بازرگان
ناشر : شرکت سهامی انتشار
با همکاری بنیاد فرهنگی مهندس مهدی بازرگان
حروف‌چینی و صفحه‌آرایی : خدیجه امیدوند
چاپ اول : ۱۳۸۷
چاپخانه :

مراسم جشن عید فطر انجمن اسلامی دانشجویان دانشگاه تهران، در گلشهر کرج – سال ۱۳۳۷
(مرحوم آیت‌الله طالقانی، مرحوم مهندس بازرگان، شهید استاد مطهری)

فهرست کلی مطالب

فهرست تفصیلی مطالب..... ۷
پیش‌گفتار..... ۱۵
۱- صفحه محاسبه یا آباک به‌جای خط‌کش محاسبه..... ۱۹
۲- دیاگرام عمومی برای گازها و برای هوای مرطوب..... ۳۱
۳- تعیین شرایط هوای مطبوع در ارتفاع تهران..... ۵۵
۴- خشک کردن هوا و تقطیر بخاری‌ها به طریقه ترمودینامیک..... ۶۱
۵- خنک کردن هوا بدون ماشین مبرّد..... ۸۳
۶- آشنایی با زنت و زتکا..... ۹۱
۷- پدیده‌های جوی..... ۱۰۹
فهرست انگلیسی مطالب کتاب «پدیده‌های جوی»..... ۴۸۸
نمایه فارسی..... ۴۸۹
نمایه انگلیسی و فرانسه..... ۵۰۹

فهرست تفصیلی مطالب

پیش‌گفتار ۱۵

صفحه محاسبه یا آباک به جای خط کش محاسبه

آغاز مطلب ۱۹
۱- عملیات ضرب و تقسیم (یا حل معادلات به صورت $y = ax$) ۲۰
۲- تبدیل واحدها و مبادلات متناسب ۲۱
۳- عملیات ضرب و تقسیم متوالی ۲۲
۴- حل معادلات درجه ۱ (به صورت $y = ax + b$) ۲۳
۵- عملیات قوه و ریشه ($\eta = \xi^a$) ۲۴
۶- عملیات ضرب و تقسیم و قوه یا تقسیم و ریشه ($\eta = a^b$) ۲۵
۷- تعیین لگاریتم $\ell = \mathrm{Log}\ \xi$ ۲۶
۸- خطوط مثلثاتی ۲۶
طرز استفاده از صفحه آباک ۲۶
۱- ضرب کردن ۲۷
۲- تقسیم کردن ۲۷
۳- ضرب و تقسیم متوالی ۲۸
۴- قوه رساندن ۲۸
۵- استخراج ریشه ۲۸
۶- استخراج لگاریتم ۲۸
۷- تعیین سطح دایره از روی قطر ۲۹
۸- ارتفاع سینتیک سیال‌ها ۲۹

دیاگرام عمومی برای گازها و برای هوای مرطوب

آغاز مطالب ۳۱
فرض اصلی و مختصات دیاگرام ۳۲
منحنی‌های درجه رطوبت ۳۳
ایزوبارها و ایزو ولوم‌ها ۳۴
تراکم و انبساط آدریاباتیک ۳۴
منحنی‌های تقطیر ۳۷
مرطوب کردن (هواشویی) یا خشک نمودن ایزوبار ۳۸
خطوط شبنم (Lignes de rosée) ۴۰
خواندن نقاط و بردن حالات گاز روی دیاگرام ۴۱
فرض گاز طبیعی به جای گاز ساده ۴۲
موارد استعمال دیاگرام ۴۴
مدار کمپرسورها ۴۴
موتورهای احتراق داخلی ۴۷
توربین‌های گاز ۴۸
شدید ولُکس (Chaudiere Velox) ۴۹
گرمایشِ ترمودینامیک (Chauffage thermodynamique) ۴۹
تهویه مطبوع و تهویه ساده (Conditionnement d'air) ۵۰
برج آبریز (Tour de refrigeration) ۵۲

تعیین شرایط هوای مطبوع در ارتفاع تهران

آغاز مطلب ۵۵
تأثیر ارتفاع مکان در مقدار تبادل حرارت ۵۶
محاسبه اختلاف درجات حرارت مطبوع برای ارتفاع تهران ۵۷

خشک کردن هوا و تقطیر بخارها به طریقه ترمودینامیک

سوابق ۶۱
خشک کردن گازها به طریق ترمودینامیک ۶۵
طرز عمل ۶۵
طرز محاسبه ۶۹
روش مرطوب (برای تهویه مطبوع) ۷۳

روش گرم (برای خشکاندن اشیاء) ۷۷
روش متوالی (برای تقطیر مخلوط مایعات) ۸۰

خنک‌کردن هوا بدون ماشین مبرد

آغاز مطلب ۸۳

آشنایی با زنت و زتکا

مقدمه سردبیر ۹۱
مقدمه شرکت صنعتی صافیاد ۹۱
مقدمه [مؤلف] ۹۲
زنت یا دستگاه تهویه مطبوع زمستانی- نیمه تابستانی ۹۲
نمایش نظری و محاسبات زنت ۹۳
راه حل صحیح برای تهویه مطبوع در شرایط سخت ۹۶
زتکا یا اسباب تهویه مطبوع زمستانی و تابستانی کامل ۹۷
مطالعه نظری و محاسبه زتکا ۱۰۰
تشکیلات زتکا ۱۰۴
استفاده از زتکا در زمستان ۱۰۵
برج سرد کن ۱۰۶

پدیده‌های جوی

دیباجه ۱۱۱
تاریخچه ۱۲۳
فصل اول- هواسنجی، کلیات و مطالعات مربوط به هوای مجاور زمین **۱۳۳**
مشخصات اصلی هوا ۱۳۳
۱- ترکیب هوا ۱۳۳
۲- وزن و فشار هوا ۱۳۵
۳- درجه حرارت یا دما ۱۳۷
هوای مرطوب ۱۳۹
۴- درجه رطوبت هوا ۱۳۹
۴ مکرر- منحنی‌های رطوبی هوا ۱۴۵
الف) خطوط ایزوترم ۱۴۷
ب) خطوط درجه رطوبت و یا $h = C^{te}$ ۱۴۷

۵- نمایش هوای مرطوب در مختصات t و p ۱۴۸
الف) ایزوترم‌ها ۱۴۹
ب) خطوط شبنم $m = C^{te}$ ۱۴۹
ج) خطوط اشباع $Q = C^{te}$ ۱۵۰
د) حجم مخصوص $V = C^{te}$ ۱۵۱
ه) منحنی‌های درجه رطوبت $h = C^{te}$ ۱۵۲
و) منحنی‌های تقطیر $D = C^{te}$ ۱۵۲
ز) منحنی‌های آدیاباتیک $S = C^{te}$ ۱۵۳
۶- تعیین درجه‌ی رطوبت هوا و نقطه اشباع و نقطه‌ی شبنم ۱۵۶
۷- اندازه‌گیری میزان تبخیر آب‌ها ۱۵۹
۸- نفوذ رطوبت هوا در خاک ۱۶۰
وزش هوا ۱۶۱
۹- تعیین سرعت و سمت بادها ۱۶۱
۹مکرر- جدول بوفور و فشار باد ۱۶۴
اثر آفتاب ۱۶۶
۱۰- اندازه‌گیری تابش آفتاب (شدت و مدت) ۱۶۶
نزولات جوی ۱۶۸
۱۱- میزان باران و برف ۱۶۸
فصل دوم- هوا در طبقات جو ۱۷۱
تأثیر ارتفاع روی فشار و درجه حرارت ۱۷۱
۱۲- معادله ئیدروستاتیک هوا ۱۷۲
۱۳- رابطه‌ی درجه حرارت هوا با ارتفاع ۱۷۴
۱۴- رابطه‌ی فشار هوا با ارتفاع (در شرایط خشک) ۱۷۹
۱۵- تغیرات درجه حرارت و فشار جو برحسب ارتفاع ۱۸۷
۱۶- ترسیمه‌ی جوی (ترسیمه‌ی آدیاباتیک یا ترسیمه‌ی برونکار جو) ۱۹۰
۱۷- موارد استعمال ترسیمه‌ی جوی ۱۹۷
الف) تراز تقطیر یا ارتفاع تشکیل ابر و محاسبه مقدار بارش ۱۹۸
ب) اختلاط هوا ۲۰۰
ج) پایداری و ناپایداری هوا ۲۰۲
وضع واقعی و طبقات هفتگانه جو ۲۰۶
۱۸- تغییرات واقعی مشخصات هوا برحسب ارتفاع ۲۰۷
۱۹- اسباب‌ها و طریقه‌های تحقیق در طبقات بالای جو ۲۱۴
الف) توپ‌های بالارو ۲۱۵

ب) توپ هواسنجی و رادیوسنج ۲۱۵
ج) آزمایشگاه‌های پرنده ۲۱۶
د) استفاده از موشک ۲۱۶
ه) ماهواره‌ها یا اقمار مصنوعی ۲۱۸
و) رادیو و رادار ۲۱۹
ز)اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم ۲۲۰
فصل سوم- حرارت دریافتی زمین از آفتاب ۲۲۳
۲۰- ترازنامه‌ی کلی حرارتی زمین و آثار گوناگون آفتاب ۲۲۳
طرز دریافت انرژی خورشید و تأثیر و تغییرات آن در مناطق مختلف زمین ۲۲۵
۲۱- تشعشع حرارت به زمین برحسب عرض‌های جغرافیایی ۲۲۵
۲۲- انتقال و مبادله‌ی حرارت مابین مناطق جغرافیایی زمین ۲۲۹
۲۳- نمایش مبادلات و موازنه‌ی حرارتی مابین فضا و هوا و زمین ۲۳۰
الف) واردات از خارج ۲۳۱
ب) صادرات به فضا ۲۳۱
ج) مبادلات زمین و جو ۲۳۱
۲۴- طرز دریافت و تبادل حرارت برای اجزای مختلف زمین و هوا ۲۳۲
الف) خشکی‌ها ۲۳۳
ب) دریاها ۲۳۳
ج) بادها ۲۳۳
د) اراضی قطبی ۲۳۴
۲۵- چند نمونه از تغییرات سالیانه‌ی درجه حرارت در نقاط مختلف زمین ۲۳۷
۲۶- ایزوترم‌های جهان‌نما ۲۳۹
۲۷- درجه حرارت تهران و بعضی از شهرهای ایران ۲۴۲
فصل چهارم- بادها ۲۴۹
۲۸- اهمیت و آثار باد ۲۴۹
۲۹- چگونگی پیدایش (یا تکوین) باد ۲۵۰
بادهای محلی ۲۵۳
۳۰- بادهای ملایم یا نسیم ۲۵۳
الف) نسیم‌های ساحلی ۲۵۳
ب) نسیم‌های دره‌ای ۲۵۵
۳۱- بادهای موسمی ۲۵۶

۳۲- بادهای مزاحم و خشک سرد یا داغ و توفان‌های غبار ۲۵۷
الف) سردباد یا سوز سواحل و جلگه‌ها..... ۲۵۸
ب) گرم‌باد..... ۲۵۸
ج) داغ‌باد و سوزباد صحرا..... ۲۶۰
د) توفان‌های خشکِ خاک و گردبادهای غبار..... ۲۶۰
بادهای عمومی ۲٦٤
۳۳- پیدایش بادهای عمومی..... ۲۶۴
الف) اثر آفتاب یا اختلاف گرمای استوا با سرمای قطب ۲۶۴
ب) اثر حرکت وضعی یا دوران شبانه‌روزی زمین..... ۲۶۵
ج) اثر تمایل محور زمین ۲۷۱
د) اثر توزیع نامنظم خشکی‌ها و دریاها ۲۷۱
۳۴- نقشه‌ی عمومی بادها..... ۲۷۴
۳۵- تحرک بادهای عمومی و پیش‌بینی هوا..... ۲۷۹
۳۶- اثر شهرها در آب و هوا..... ۲۸۲
محاسبه و نمایش بادها ۲۸٤
۳۷- منظور و موضوع ۲۸۴
۳۸- انتقال حرارت از زمین به هوا و تشکیل ایزوترم‌ها ۲۸۵
۳۹- شیب ایزوترم‌ها..... ۲۸۷
۴۰- تغییر شکل ایزوبارها در اثر تغییر درجه حرارت هوا..... ۲۹۰
۴۱- تعیین ایزوبار خنثی..... ۲۹۲
۴۲- شیب ایزوبارها..... ۲۹۵
۴۳- رابطه شیب سطوح ایزوبار با فشار افقی محرک باد و گرادیان فشار..... ۲۹۷
۴۴- نیروهای مؤثر روی هوا و محرک بادها..... ۳۰۴
الف) جاذبه زمینی یا ثقل هوا..... ۳۰۵
ب) اختلاف فشار..... ۳۰۶
ج) اصطکاک ۳۰۶
د) گریز از مرکز..... ۳۰۷
ه) نیروی انحرافی کوریولیس ۳۰۷
۴۵- محاسبه‌ی باد از روی ایزوبارها ۳۰۹
الف) بادهای عمومی منظم..... ۳۰۹
ب) بادهای چرخی..... ۳۱۳
ج) بادهای زمینی..... ۳۱۴

۴۶- نمایش بادها در نقشه‌های جغرافیایی و هواشناسی ۳۱۸
توده‌های مهاجر بزرگ هوا و جبهه‌های جوی ۳۲۷
۴۷- حرکت توده‌های مهاجر ۳۲۷
الف) مبدأ و مسیر توده‌های مهاجر زمستانی (ماه ژانویه) ۳۲۸
ب) مبدأ و مسیر توده‌های عظیم تابستانی و دسته‌بندی آنها ۳۳۱
ج) دسته‌بندی کلی توده‌های مهاجر ۳۳۳
۴۸- برخورد توده‌های هوا و تشکیل جبهه ۳۳۴
۴۹- جبهه‌های اصلی و عمده در نیم‌کره‌ی شمالی ۳۳۸
۵۰- نمایش جبهه‌ها روی نقشه‌های هواشناسی ۳۴۱
جریان‌های مرتفع هوایی بالای جو ۳٤۳
۵۱- بادهای حرارتی یا ارتفاعی ۳۴۴
۵۲- تغییر محل و تبدیل حفره‌ها و حدبه‌ها در ارتفاع ۳۵۱
۵۳- ایزوبارها و بادهای عمومی در طبقات بالای جو ۳۵۴
۵۴- رودبادهای جوّی ۳۶۰
۵۵- رودبادهای خاورمیانه و تأثیر آنها روی فصول و بادهای فلات ایران ۳۶۶
۵۶- شرایط اقلیمی و ایزوبارها و رژیم بادهای ایران ۳۷۰
الف) در فصل گرما ۳۷۱
ب) در فصل سرما ۳۷۲
نمودار بادهای تهران ۳۷۳
اثر آفتاب و باد در تحرک آب دریاها و نتایج آن روی خشکی‌ها ۳۷٤
۵۷- جریان‌های دریایی ۳۷۴
فصل پنجم- ابر و باران و سایر نزولات جوی و پدیده‌های وابسته ۳۷۷
۵۸- کلیات مقدماتی ۳۷۷
۵۹- پیدایش ابر و ریزش باران ۳۷۹
۶۰- انواع و اسامی ابرها (برحسب محل و طرز تشکیل آنها) ۳۸۶
۱- ابرهای پشمکی ۳۸۷
۲- ابرهای سفره‌ای ۳۸۷
۳- ابرهای انباشته ۳۸۸
۶۱- مواقع بارندگی در مناطق مختلف کره‌ی زمین ۳۹۷
۶۲- مواقع و میزان بارندگی در ایران ۴۰۳
تکوین ابرها و ریزش نزولات جوی ٤۰۹
۶۳- مه ۴۰۹

۱- مه‌های تشعشعی ۴۱۰
۲- مه‌های وزشی ۴۱۰
۳- مه‌های کوهستانی یا دامنه‌ای ۴۱۱
۴- مه‌های تبخیری ۴۱۱
۶۴- ابرها و باران‌های ساحلی و کوهستانی ۴۱۲
۶۵- ابرها و باران‌های جبهه‌ای مهاجر ۴۱۳
۶۶- چگونگی بروز و تغییر و تکرار حفره‌های جبهه‌ای ۴۱۶
۶۷- ضربه‌ی توفان‌های جبهه‌ای ۴۲۵
۶۸- باران‌ها و توفان‌های مناطق حاره ۴۲۸
۶۹- ابرهای توفانی و رگبارهای محلی تابستانی ۴۳۶
۷۰- تگرگ ۴۴۴
۷۱- صدمات رگبارهای توفانی و حوادث شدید جوّی ۴۴۶
۷۲- مبارزه با توفان‌ها و با حوادث مهیب جوّی ۴۵۳
پاره‌ای پدیده‌های وابسته به ابر و باران ٤٥٨
۷۳- رعد و برق ۴۵۸
۷۴- تغییرات تناوبی آب و هوای زمین ۴۶۶
۷۵- باران مصنوعی و مسأله‌ی مهار کردن هوا ۴۷۲
۷۶- فرضیه‌ی پیشروی خشکی‌ها ۴۷۴
فهرست اصطلاحات تازه که در این کتاب [پدیده های جوی] به کار رفته است ۴۷۷
فهرست انگلیسی مطالب کتاب [پدیده‌های جوی] ۴۸۸
نمایه فارسی ٤٨٩
نمایه انگلیسی و فرانسه ٥٠٩

به‌نام خدا

پیش‌گفتار

خداوند سبحان را سپاس می‌گوییم که توفیق تدوین چهاردهمین مجموعه از آثار زنده‌یاد مهندس مهدی بازرگان را به ما عطا فرمود؛ مجموعه‌ای که شامل هفت اثر مستقل است و با عنوان «آثار صنعتی و علمی» ، به دوست‌داران ایشان و علاقه‌مندان آثار علمی و صنعتی تقدیم می‌شود.

اولین اثر در این مجموعه، «صفحه محاسبه» یا «آباک» نام دارد که مؤلف فقید آن را ابداع کرده و شیوه تهیه و نحوه کاربرد آن را در خرداد سال ۱۳۲۳ و در شماره‌ی ۲ «مجله صنعت» ، نشریه «کانون مهندسین» ، تدوین و منتشر ساخته است.

با استفاده از « صفحه محاسبه » می‌توان عملیات ضرب و تقسیم (یا حل معادله $y = a.x$) ، عملیات قوه و ریشه ، عملیات ضرب و قوه یا تقسیم و ریشه ، تعیین لگاریتم و خطوط مثلثاتی را به انجام رسانید.

دومین اثر «دیاگرام عمومی برای گازها و برای هوای مرطوب»، کار ابداعی دیگری از زنده‌یاد مهندس بازرگان است که وجود بخار آب را در نظر گرفته، تغییرات درجه حرارت و فشار و حجم گازها را نشان می‌دهد و تغییرات درجه رطوبت و مقدار تقطیری را که احتمالاً پیش آید، معلوم می‌دارد و از روی آن می‌توان مقادیر حرارت و کار دریافت شده را مشخص کرد. این نوشتار در سومین شماره‌ی «مجله صنعت» در شهریور ۱۳۲۳ منتشر شده است.

سومین اثر نیز با عنوان «تعیین شرایط هوای مطبوع در ارتفاع تهران» ، در خرداد ۱۳۲۶ و در «مجله صنعت» ، شماره ۷ منتشر شده است. در این اثر «تهویه مطبوع»

تعریف شده و با تعیین تأثیر ارتفاع مکان در مقدار تبادل حرارت ، اختلاف درجات حرارت مطبوع برای ارتفاع تهران محاسبه شده است.

«خشک کردن هوا و تقطیر بخاری‌ها به طریقه ترمودینامیک» اثر ابداعی دیگری است که به نقل از «مجله صنعت» ، شماره ۸ ، اسفند ۱۳۲۷ و شماره ۹ ، اسفند ۱۳۲۸ ، در مجموعه آمده است. در این اثر طریقه ترمودینامیکی برای خشک کردن هوای مرطوب یا استخراج آب از هوای جوّ و نیز تقطیر مخلوط‌های بخار ، تشریح شده و اصول محاسبه و طرز عمل بیان شده است. در این مقاله همچنین «روش مرطوب» به منظور خشکانیدن هوا و پایین آوردن درجه حرارت و یا اگر هدف تهیه‌ی هوای مطبوع باشد ، تشریح شده و سپس «روش گرم» برای خشکانیدن اشیاء و نیز «روش متوالی» برای تقطیر مخلوط مایعات بیان گردیده است.

پنجمین اثر ، ابداع دیگری است که با عنوان «خنک کردن هوا بدون ماشین مبرد» در مجله‌ی شماره ۲ «نشریه دانشکده فنی» ، اسفند ۱۳۲۹ منتشر شده است. در این اثر ابتکاری، اساس کار کماکان استفاده از خنک شدن هوا در نتیجه‌ی تبخیر آدیاباتیک آب است ولی به عوض آنکه هوای خنک شده‌ی مرطوب مستقیماً به داخل مکان مورد نظر فرستاده شود ، آن را به مصرف خنک کردن هوای خشک تازه می‌رسانند و این هوای جدید، با ثابت ماندن مقدار رطوبت، درجه‌ی حرارت و درجه‌ی رطوبت آن تنزل فاحش می‌یابد و سپس مورد استفاده محیط مورد نظر قرار می‌گیرد.

آخرین ابداع صنعتی زنده‌یاد مهندس بازرگان ، دستگاه «زنت» یا دستگاه تهویه‌ی مطبوع «زمستانی- نیمه تابستانی» و متکامل آن دستگاه «زتکا» یا اسباب تهویه‌ی مطبوع «زمستانی و تابستانی کامل» است. ابداع مزبور توسط ایشان در دی ماه ۱۳۷۳ در دست تحریر و تدوین نهایی بود؛ حتی قرار بر این بود که تکمیل شده‌ی نمودارهای مشخصه‌ی هوا را از سوئیس برای مجله‌ی «حرارت و برودت» که مقاله در آن به‌چاپ رسیده است ، نمابر کنند. در این مقاله چگونگی تحول «زنت» به «زتکا» ، مراحل کار و محاسبات لازم همراه با تصاویر و نمودارهای مربوط ارایه شده است.

دستگاه «زنت» از سال ۱۳۴۸ تا سال ۱۳۷۳ ، به‌مدت ۲۵ سال به‌عنوان یک دستگاه توأم گرمایش و سرمایش برای منازل و مجتمع‌های مسکونی و مؤسسات عمومی و صنعتی و مساجد و بیمارستان‌های تهران و شهرستان‌ها به بازار عرضه شد و مورد استقبال عموم قرار گرفت. این دستگاه ، با افزایش چند ردیف لوله‌های پره‌دار ، در

دهانه خروجیِ کولر آبی و تغییرات تکاملی دیگری که در آن به‌عمل آمد، با استفاده از کانال‌های توزیع هوای اتاق‌ها و دیگ‌خانه‌ی ساختمان ، جواب‌گوی تهویه‌ی مطبوع زمستان و تابستان منازل و ادارات و کارخانجات بود. اما قادر به‌ایجاد هوای خنک کافی در هوای دَم‌دار و با دماهای مرطوب بیش از ۲۳ درجه سانتیگراد نبود. برای رفع این مشکل باید مسیر تحول هوای زنت با ثابت نگاه‌داشتن مقدار رطوبت و استفاده از مبدل و برج خنک‌کن ، به سوی نقطه‌ی شبنم سوق داده می‌شد. این کار طی آزمایش‌های متعدد و مطالعات پی‌گیر از سال ۱۳۶۳ آغاز شد و در سال ۱۳۶۶ به نتیجه رسید و نام این هواسردکن «زتکا» گذارده شد. از این دستگاه سه نمونه‌ی مشابه کامل ساخته و تحویل سینمایی در شهر نیشابور گردید و از سال۱۳۷۳ نیز مدل‌های قابل بهره‌برداری، در اندازه‌های مختلف کوچک و متوسط و بزرگ به‌ظرفیت‌های ۵، ۷ و ۱۰ تُن، تولید و به بازار عرضه شد.

* * *

«پدیده‌های جوّی» کتاب مستقل دیگری از این مجموعه است که حاصل مطالعات و زحمات مؤلف فقید در ساعات فراغت در زندان قصر طی سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۴۴ است[1]. چاپ اول آن با قطع وزیری در سال ۱۳۴۶ و چاپ دوم آن در سال ۱۳۶۵ از طرف شرکت سهامی انتشار منتشر شده است.

این کتاب در پنج فصل تنظیم شده و شامل: هواسنجی، هوا در طبقات جو، حرارت دریافتی زمین از آفتاب، بادها و بالاخره فصل پایانی آن به‌ابر و باران اختصاص یافته است. زنده‌یاد مهندس بازرگان در این باره می‌نویسند: در سال ۱۳۴۱ فصل «هوای جوّ» را از چاپ دوم کتاب «ترمودینامیک صنعتی» حذف کردم و جبران آن را به تدوین کتاب مستقلی در این زمینه موکول نمودم. همچنین ، احتیاج و توجهی که در رشته‌های مختلف فنی و علمی کشور به هواشناسی شده است از یک طرف و اهمیت و توسعه موضوع از طرف دیگر ، علت تألیف این کتاب گردید.

---

۱. مهندس بازرگان در خاطرات روزانه خود که ما آن را از مجموعه آثار (۳) ، «یادداشت‌های روزانه» ، ص ۴۰۰ ، چاپ اول ، سال ۱۳۷۶ ، انتشارات قلم ؛ برای شما نقل کرده‌ایم می‌نویسند :

«پنجشنبه ۴۴/۵/۲۱ ، پاک‌نویس کتاب «پدیده‌های جوی» را که نتیجه متجاوز از ۲ سال کارِ زندان است، به‌منظور رسیدگی به‌شرایط و اقدامات چاپ، به‌منزل فرستادم.»
(ب.ف.ب)

مطالب این کتاب دودرجه‌ای نوشته شده و با دو نوع حروف از یکدیگر مشخص گردیده است. کسانی که برای بحث‌های ریاضی و ترمودینامیک آمادگی ندارند و مایلند نظرات را اجمالاً دریافت کنند می‌توانند به نوشته‌های معمول کتاب اکتفا کنند؛ لیکن مطالبی که با حروف خوابیده نسبتاً کوچک‌تر نوشته شده است، جنبه‌ی تفصیلی و تکمیلی دارد و برای استفاده کسانی است که به مبانی تخصصی موضوع علاقه‌مند هستند. بنا به نوشته‌ی مؤلف فقید، در واقع در جلد واحد، دو کتاب متوالی در دو مرحله‌ی مقدماتی عمومی و عالیِ نیمه‌تخصصی گنجانیده شده است تا هم‌زمان بتواند مورد استفاده‌ی علاقه‌مندان در سطح مقدمات علم هواشناسی یا جوشناسی و نیز دانش‌پژوهان در سطح عالیِ نیمه‌تخصصی قرار گیرد.

نکته‌ای که در پایان گفتار لازم به ذکر است اینکه هر چند از مباحثی که ذکر آن رفت سال‌ها گذشته و بی‌شک دست‌آوردهای نوین و رو به‌تزاید جهان دانش، مطالبی به مجموعه آن افزوده است، با وجود این برای کسانی که مختصر آشنایی با مباحث علمی از این دست دارند، تیزبینی‌ها و ابداعات اندیشه‌ی نویسنده، بارز و شگفت می‌نماید و مقالات مورد نظر بیانگر جستجوهای فکری نویسنده و گرایش او به‌ابتکار است؛ فضیلتی که خود بارها ضرورت آن را برای توسعه کشور لازم دانسته بود.

بنیاد فرهنگی مهندس مهدی بازرگان از اینکه توفیق یافته است آثار علمی–صنعتی و تخصصی آن فقید سعید را در یک مجموعه تنظیم و به علاقه‌مندان و دوستداران آن روان شاد تقدیم بنماید، خوش‌وقت است. امیدواریم که تلاش ما مقبول خداوند تبارک و تعالی قرار گیرد و مزیدی بر مغفرت و رحمت واسعه برای آن اندیشمند گرانقدر باشد. روحش شاد و راهش مستدام باد.

بنیاد فرهنگی مهندس مهدی بازرگان

صفحه محاسبه یا آباک*

به‌جای خط‌کش محاسبه

خط‌کش محاسبه (Régle á calcul) وسیله بسیار سریعی برای محاسبات تقریبی می‌باشد و اتفاقاً کلیه محاسباتی که در عمل با آن سر و کار داریم (بجز حساب‌های بانکی و تجارتی دقیق) محاسبات تقریبی هستند و اغلب کافی است درجه دقت $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ و حتی $\frac{۱}{۱۰۰}$ باشد.

مهندسین و متخصصینی که شغلشان پروژه دادن، برآوردکردن، ساختن و به‌طور کلی حساب کردن باشد و همچنین محصلین مدارس فنی، برای حل مسایل و پروژه‌ها احتیاج زیادی به خط‌کش محاسبه دارند.

کارکردن با خط‌کش محاسبه، به‌شرط آنکه شخص تن به‌یادگرفتن و عادت‌کردنِ اولیه بدهد، فوق‌العاده عملی و راحت بوده باعث احتراز از فرسوده شدن ذهنَ می‌باشد ولی عیبی که دارد و در زمان حاضر این عیب بیشتر مهم است گرانی قیمت و بلکه کمیابی آن در بازار می‌باشد.

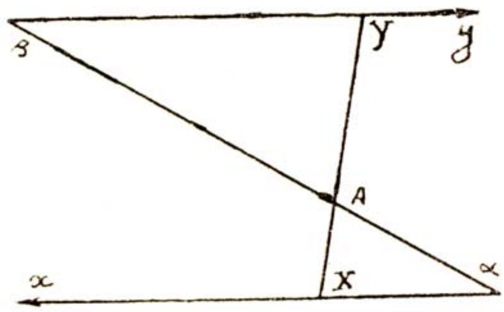
نگارنده در فکر اینکه چگونه ممکن است در ایران خط‌کش محاسبه ساخته شود متوجه وسیله ساده‌تر و تعبیه و ترسیمِ آباکی شد که تنها مایه آن یک صفحه کاغذ و یک خط‌کش ساده (یا یک قطعه نخ) می‌باشد و هر کس می‌تواند خود نیز آن‌را تهیه کند. شاید دقت و عمر آن کمتر از خط‌کش محاسبه باشد. به‌علاوه، برای کار کردن با صفحه محاسبه ، باید ناچار آن را روی میز یا تکیه‌گاهی قرار داده با دو دست کار

---

* این اثر به‌نقل از «مجله صنعت» ، نشریه کانون مهندسین ، شماره ۲ ، صص ۳۰ الی ۳۲ ، خرداد ۱۳۲۳ و ادامه آن از نشریه ۴ و ۵ ، ص ۶۲ ، بهمن و اسفند ۱۳۲۳ ، با مختصر ویرایشی تقدیم می‌شود.

کرد ولی در عوض، عملیاتی با صفحه‌محاسبه میسر می‌باشد که با خط‌کش محاسبه مقدور نیست و اینک در ضمن بیان تئوری، طرز عمل با آن‌را شرح می‌دهیم.

۱- عملیات ضرب و تقسیم (یا حل معادلات به‌صورت : $y = ax$)



دو محور موازی x و y را که بوسیله قطر $\alpha\beta$ بهم وصل شده باشند در نظر می‌گیریم. بدیهی است که هرگاه نقطه‌ای مانند A روی قطر $\alpha\beta$ اختیار کنیم به‌طوری‌که :

$$\frac{\beta A}{\alpha A} = \alpha$$

باشد نظر به تشابه مثلثات همیشه رابطه :

$$\frac{\beta Y}{\alpha X} = \frac{A\beta}{\alpha A} = \alpha$$

برقرار بوده و طول‌های βY که روی محور Y خوانده شود حاصل‌ضرب طول‌های αX در ضریب ثابت a خواهد بود

$$BY = \alpha \,.\, \alpha X \quad \rightarrow \quad Y = \alpha \,.\, X$$

بنابراین کافی است دو محور x و y به‌طور تصاعد عددی، یعنی با تقسیمات مساوی مدرج شده باشند. (gŕaduation Proportionelle). برای مدرج کردن قطر $\alpha\beta$ که طول آن‌را δ می‌نامیم از رابطه زیر استفاده می‌نماییم:

$$\alpha = \frac{\beta B}{\alpha A} = \frac{\alpha\beta - \alpha A}{\alpha A}$$

و از آنجا

$$\alpha A = \frac{\alpha\beta}{۱+\alpha} = \frac{\delta}{۱+\alpha}$$

به‌طوری‌که دیده می‌شود طول αA متناسب با ضریب a نیست و کافی است به a مقادیر صعودی مختلفی مثلا از ۰/۱ تا ۱۰ داده، طول‌های αA نظیر آنها را حساب و به‌همان قرار درجه‌بندی کنیم (graduation hyperbolique) و یا چون $a = \frac{y}{x}$ است هر گاه از نقطه $x = ۱$ مرتباً به نقاط : $y = ۰/۱$ ، ۰/۲، ... ، ۸، ۹، ۱۰ وصل نماییم درجه بندی‌های مطلوب به‌دست خواهد آمد.

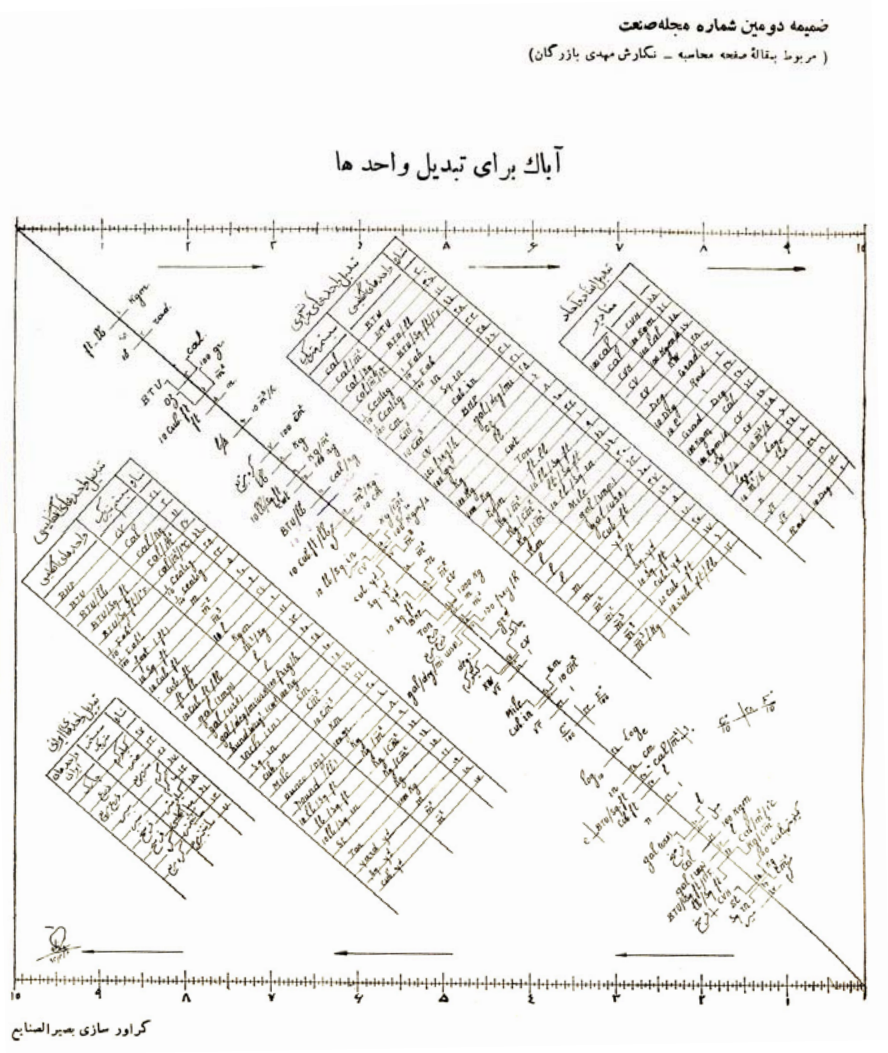
به این ترتیب هر گونه عملیات ضرب و تقسیم ساده را می‌توان انجام داد. برای ضرب‌کردن کافی است عدد مضروب را روی محور x و عدد مضروبٌ‌فیه (یا ضریب) را روی محور a جستجو نموده، لبه خط‌کش (یا قطعه نخ) را در کنار آنها قرار دهیم و حاصل‌ضرب را روی محور y بخوانیم. برای تقسیم کردن به‌طریق عکس عمل نموده مقسوم را روی محور y و مقسوم علیه را روی محور a در نظر می‌گیریم و خارج قسمت را روی محور x ها خواهیم خواند.

۲- تبدیل واحدها و مبادلات متناسب

در عمل بسیاری اوقات محتاج به انتقال از یک سیستم واحد به سیستم دیگری می‌شویم. این کار همیشه پر زحمت است و باید نسبت مابین آن واحدها را در خاطر داشته باشیم. مانند تبدیل واحدهای قدیم ایران، یا واحدهای انگلیسی به‌سیستم متریک، یا تبدیل کیلو وات به‌اسب، کالری به‌کیلوگرم متر، درجه به‌گراد یا به رادیان، لیتر در ثانیه به‌متر مکعب در ساعت و غیره. و همچنین بعضی محاسبات پیش می‌آید که با ضریب ثابت می‌باشد. مانند حساب طول دایره از روی قطر، تبدیل لگاریتم عادی به لگاریتم نپری، اختلاف سطح بین سیم فاز و نوتر و غیره. برای انجام این قبیل تبدیل‌ها، در خط‌کش محاسبه جای زیادی وجود ندارد و اغلب به تبدیل کیلو وات به اسب و همچنین تعیین π اکتفا کرده‌اند ولی در صفحه محاسبه دامنه وسیع است و می‌توان روی محور a نقاط نظیر بسیاری از ضرایب تبدیلات را یادداشت نموده بدون آنکه احتیاج به‌حفظ نمودن نسبت تبدیل واحدها باشد، به‌سهولت از سیستمی به سیستم دیگر انتقال یابیم.

تبصره : همان‌طورکه در خط‌کش محاسبه اعداد منظور را باید قبلاً به‌وسیله جابه‌جا کردن ممیز، به مقادیر مابین ۱ و ۱۰ رساند، در اینجا نیز درجه بندی‌های x و y فقط مابین ۱ و ۱۰ است. همچنین هرگاه حاصل‌ضرب دو عدد از حدود محور y خارج

شد لازم است مضروبٌفیه را بر ۱۰ تقسیم نمود یا اگر خارج قسمت دو عدد بیرون محور x افتاد، مقسوم علیه را در ۱۰ ضرب کرد.



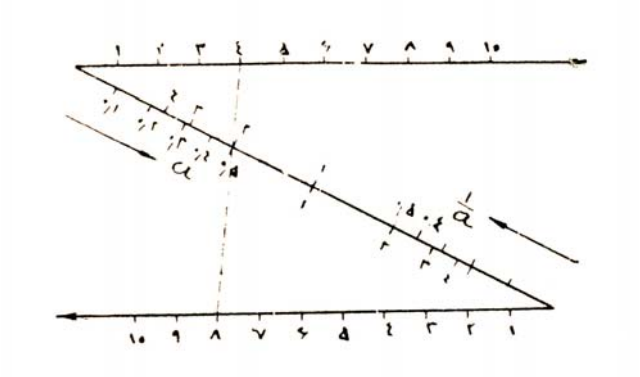
۳- عملیات ضرب و تقسیم متوالی

برای حساب کسرهای مرکب یا انجام عملیات ضرب و تقسیم که متناوباً دنبال هم قرار گرفته باشند، مانند :

$$Q = \frac{x.y.z}{u.v} = \frac{x}{u}.y \div v.z$$

همان‌طورکه با خط‌کش‌محاسبه عمل می‌نمایند در اینجا نیز خواندن خارج قسمت‌ها و حاصل‌ضرب‌های بین راه لازم نیست و می‌توان در محل خارج قسمت یا حاصل‌ضرب، نوک مداد یا سنجاقی قرار داد و لبه خط‌کش را بر آن تکیه داده، عملِ بعد از آن را انجام دهند تا به نتیجه انتهایی برسند.

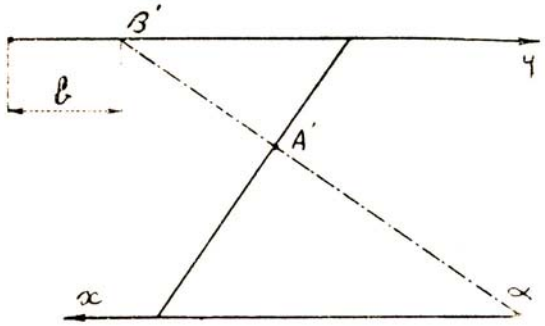
همچنین هرگاه یک‌طرف محور a با تقسیمات معکوس ($\frac{۱}{a}$) مدرج شده باشد می‌توان عملیات ضرب متوالی یا تقسیم متوالی را بدون ضبط کردن نتایج بین راه انجام داد چه همان‌طورکه $y = a . y$ است، $x = y \times \frac{۱}{a}$ می‌باشد.



مثلاً هرگاه حاصل‌ضرب سه عامله‌ی $M = x . z . a$ را بخواهیم پس از آنکه x را در z ضرب کردند نقطه‌ای که روی محور y به‌دست می‌آید به نقطه‌ی نظیر $\frac{۱}{a}$ روی محور $\alpha\beta$ وصل می‌نمایند و حاصل‌ضرب کل را روی محور xها خواهند خواند. همین‌طور و به‌طریق معکوس برای تقسیم‌های متوالی.

٤- حل معادلات درجه ۱ (به‌صورت $y = ax + b$)

در محاسبات و گاهی اوقات در تبدیل واحدها، با چنین معادلاتی مواجه می‌شویم. مانند تبدیل درجه حرارت فارنهایت به سانتیگراد که حل آنها با خط‌کش محاسبه میسر نیست. ولی با صفحه محاسبه در صورتی‌که a و b مقادیر ثابتی باشند می‌توان آنها را حل کرد.

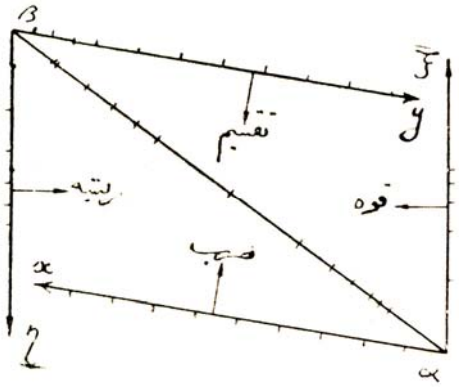


توضیح آنکه هرگاه معادله را به‌شکل $y - b = ax$ بنویسیم، به‌صورت $y' = ax$ درمی‌آید و کافی است روی قطر $\alpha\beta'$ نقطه نظیر $a = \frac{\beta' A'}{\alpha A'}$ را به‌دست آورده آن‌را ثبت نماییم. در این‌صورت هر خطی که از نقطه A' رد شود جواب معادله $y = ax + b$ را خواهد داد بدون آنکه محتاج به در نظر گرفتن نقطه β' و عدد b باشیم.

۵- عملیات قوه و ریشه $\eta = \xi^a$

برای انجام این عمل در خط‌کش‌های محاسبه ژاپنی، مقیاس مخصوصی پیش‌بینی شده و در صورتی‌که a عدد صحیح یا کسرِ اعشاری باشد، عمل امکان‌پذیر است. ولی در خط‌کش‌های دیگر فقط مقیاس‌های مجذور و مکعب وجود دارد. با صفحه محاسبه نیز می‌توان این معادله را به‌سهولت حل کرد، حتی وقتی a به‌صورت کسر متعارفی باشد.

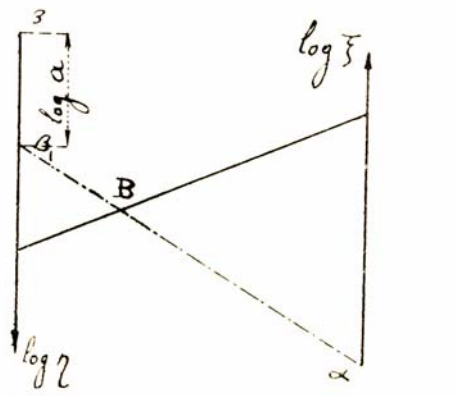
هرگاه از طرفین معادله لگاریتم بگیریم: $\log \eta = a \log \xi$



شکل معادله، شبیه به‌معادله حالت ۱ می‌گردد جز اینکه درجه‌بندی‌های محورهای η و ξ باید تقسیمات لگاریتمی (echelle logarithmique) باشد. بنابراین کافی است از دو رأس α و β دو محور موازی جدید اخراج نموده روی آنها طول‌هایی که متناسب با لگاریتم درجات باشد جدا نماییم و بعد به‌طریقی که برای ضرب و تقسیم عمل می‌کردیم عمل نماییم. در صورتی‌که a کسر متعارفی به‌صورت $\frac{k}{h}$ باشد ابتدا ξ را به‌قوه k رسانده بلافاصله ریشه h ، استخراج می‌نماییم و نتیجه را روی محور ξ می‌خوانیم.

۶- عملیات ضرب و قوه یا تقسیم و ریشه ($\eta = a^b$)

از این قبیل معادلات نیز در محاسبات زیاد پیش می‌آید و مثلاً محاسبه سطح دایره $S = \frac{\pi}{۴}D^۲$ ، حجم کره $V = \frac{۴\pi}{۳}D^۳$ همان دینرسی استوانه و غیره.



در بعضی خط‌کش محاسبه‌ها یک خط باریکی روی شیشه لغزنده (curseur) حک کرده‌اند که فاصله‌اش تا خط مرکزی مساوی با لگاریتم $\frac{\pi}{۴}$ می‌باشد و به‌استعانت آن می‌توان سطح دایره را از روی قطر تعیین نمود. نظر به‌اینکه وسعت شیشه لغزنده محدود است و وجود خطوط متعدد باعث اشتباه می‌شود، در خط‌کش‌های محاسبه فقط به‌همین یک عمل اکتفا شده است ولی در صفحه محاسبه می‌توان محاسبات تبدیلی متعددی را که از این قبیل باشد، مندرج کرد:

چنانچه از طرفین معادله، لگاریتم بگیریم، چنین خواهیم داشت :

$$\text{Log } \eta = \text{Log } a + b \text{ Log } \xi$$

و یا :

$$\text{Log}\,\eta - \text{Log}\,a = b\,\text{Log}\,\xi$$

حل معادله برمی‌گردد به حل معادله بند ۴ با این تفاوت که بر محور η ها یک تغییر مبدایی به مقدار ثابت $\text{Log}\,a$ عارض شده باشد.

بنابراین کافی است روی محور فرعی $\alpha\beta_1$ نقطه نظیر B را به‌دست آورده محل آن را روی کاغذ ثبت نماییم. کلیه خطوطی که از نقطه B گذر نمایند، جواب مسأله را خواهند داد.

۷- تعیین لگاریتم $\ell = \text{Log}\,\xi$

هرگاه کنار محور ξ محور دیگری رسم نموده طول‌های مربوطه را با مقیاس متناسب ببریم، مقابل هر عدد لگاریتم آن را خواهیم خواند و بالعکس. در کنار محور η نیز می‌توان همین عمل را انجام داد ولی با مقیاسی که به‌اندازه $\text{Log}\,e$ بزرگ‌تر باشد و به‌این ترتیب، لگاریتم نپرینِ اعداد را خواهیم داشت.

۸- خطوط مثلثاتی

چون صفحه کاغذ محدود نیست می‌توان در کنار یا در زیر جدول‌های فوق‌الذکر، روی دو یا چند خط موازیِ مجاور، مقادیر سینوس و کسینوس و تانژانت را درجه‌بندی کرد.

(در این شماره یکَ نمونه صفحه محاسبه برای تبدیل واحدها، پیوست می‌باشد[1] و در شماره آتیه ، یک صفحه محاسبه برای عملیات عمومی حساب، داده خواهد شد.)

طرز استفاده از صفحه محاسبه یا آباک

به‌طوری‌که سابقاً وعده داده بودیم در این شماره یک برگ صفحه محاسبه تقدیم خوانندگان می‌نماییم. برای استفاده بهتر است آن را جدا نموده روی مقوا بچسبانند و البته یک خط‌کش ساده یا یک قطعه نخ نیز لازم می‌باشد.

تئوری صفحه محاسبه در شماره ۲ مجله صنعت [در صفحات ۱۹ تا همین صفحه ۲۶ این مجموعه آثار] تشریح شده است. اینک برای یادآوری، طرز استفاده از آن به‌طور خلاصه بیان می‌شود :

---

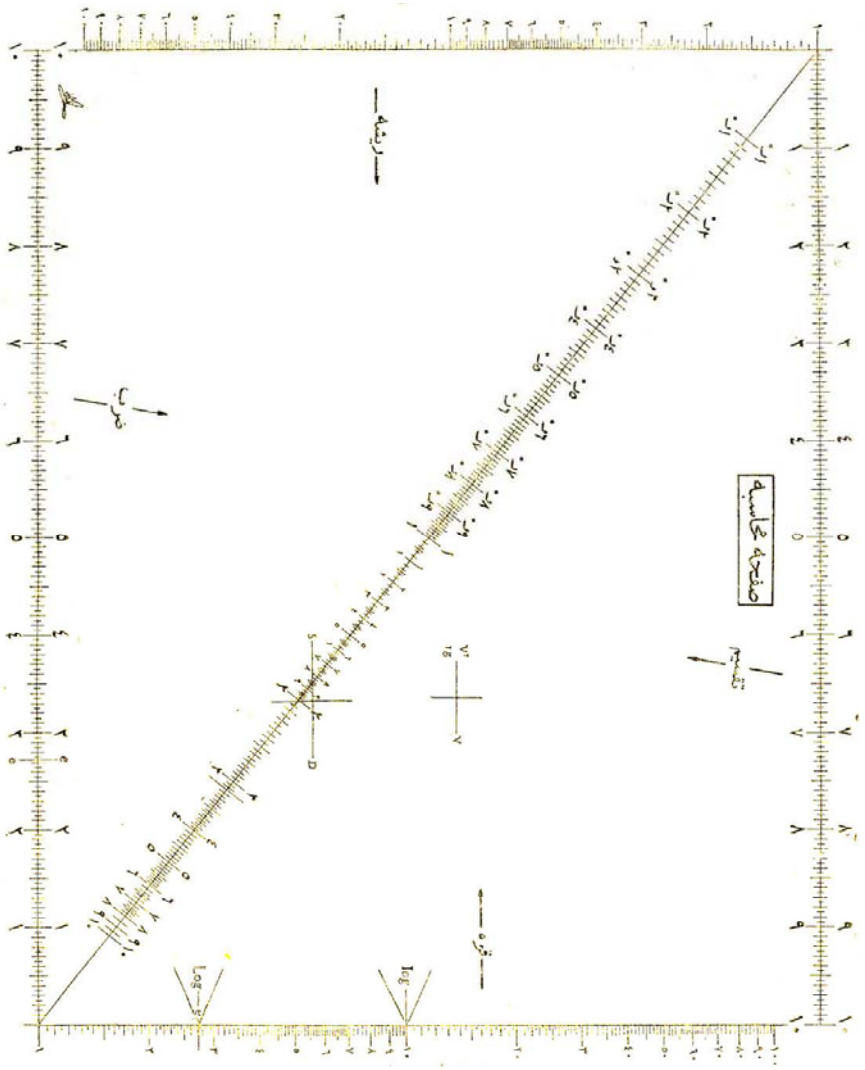
۱. نمونه صفحه محاسبه در صفحه ۲۲ قرار دارد (ب.ف.ب) .

۱- ضرب کردن

کافی است عدد مضروب را روی محور افقی αx و مضروبٌ‌فیه را روی قطر $\alpha\beta$ نشان کرده، به‌وسیله لبه خط‌کش یا قطعه نخ، آنها را به‌هم وصل نمایند و حاصل‌ضرب را روی محور βy بخوانند.

۲- تقسیم کردن

به‌طریق عکس ضرب صورت می‌گیرد.



۳- ضرب و تقسیم متوالی

ضرب و تقسیم‌های کسری متوالی، متناوب و بدون ثبت کردن نتایج وسط راه، مانند خط‌کش محاسبه انجام می‌گیرد.

٤- قوه رساندن

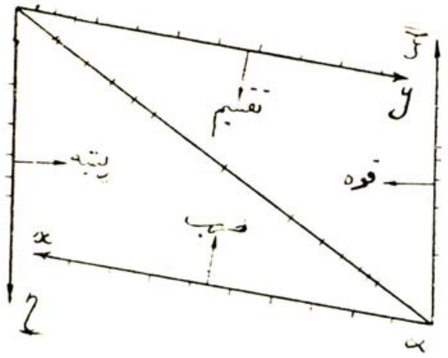
عدد پایه را روی محور $\alpha\xi$ می‌برند و قوه را روی قطر $\alpha\beta$. نتیجه در امتداد آن دو نقطه و روی محور $\beta\eta$ خوانده می‌شود.

٥- استخراج ریشه

به‌طریق عکس قوه رساندن انجام می‌شود.

٦- استخراج لگاریتم

عدد پایه را روی محور $\beta\eta$ نشان کرده، از آنجا به‌عدد نظیر مبنای لگاریتم که روی محور $\alpha\xi$ انتخاب می‌شود، وصل می‌نمایند. محل تقاطع با قطر $\alpha\beta$ مقدار لگاریتم را می‌دهد[1].



۱. این طریقه لگاریتم‌گیری استنباط آقای آلکساندر آوانسیان دانشجوی شعبه مکانیک دانشکده فنی می‌باشد که ضمناً قسمتی از نسخه اصلی صفحه محاسبه را رسم کرده‌اند.
دلیل مطلب آنکه هرگاه l یا ℓ لگاریتم عدد L در مبنای B باشد، بنا به‌تعریف :

$$L=B^{\ell}$$

و چون از طرفین لگاریتم معمولی (به‌مبنای ۱۰) بگیریم چنین خواهیم داشت :

$$\text{Log } L = \ell \text{ Log } B$$

و یا:

$$\ell = \frac{\text{LogL}}{\text{LogB}}$$

نظر به‌اینکه محورهای $\alpha\xi$ و $\beta\eta$ به‌مقیاس لگاریتم معمولی اعداد درجه‌بندی شده‌اند، خط رابط مابین نقاط نظیر L و B قطر $\alpha\beta$ را به‌نسبت لگاریتم‌های آنها قطع می‌کند و درجه تقسیمی که خوانده می‌شود همان ℓ خواهد بود.

در صفحه محاسبه ، محل مبنای لگاریتم معمولی اعشاری و محل مبنای لگاریتم نپری مشخص شده است.

۷- تعیین سطح دایره از روی قطر

قطر دایره را روی محور $\alpha\xi$ برده از آنجا به‌نقطه گردش که با علامت D و S در صفحه محاسبه ثبت شده است وصل می‌نمایند و مقدار سطح را روی محور $\beta\eta$ می‌خوانند و بالعکس.

۸- ارتفاع سینتیک‌سیال‌ها $\frac{V^2}{2g}$

طرز عمل ، مانند تبدیل قطر دایره به‌سطح می‌باشد و نقطه گردش مربوط به‌آن روی صفحه محاسبه نمایان است. هر خطی که از این نقطه گردش بگذرد، طرف راست، سرعت سیال را می‌خواند و طرف چپ، ارتفاع سینتیک نظیر آن سرعت، یعنی $\frac{V^2}{2g}$. بالعکس ، هرگاه ارتفاع مایع یا ارتفاع سقوط معلوم باشد، می‌توان سرعت حاصله را روی محور $\alpha\xi$ تعیین کرد.

چهره‌ی مهندس بازرگان در ۱۳۲۳/۱/۱
سالی که دو مقاله از ابداعات صنعتی خود را تألیف کرد

دیاگرام عمومی برای گازها و برای هوای مرطوب*

آیینه درون نمای ماشین‌های بخار و راهنمای استفاده‌هایی که در صنعت از بخار آب می‌شود دیاگرام مولیه (Diagramme de Mollier) است که بسیار ذی‌قیمت می‌باشد.

برای ماشین‌های هوایی یا ماشین‌هایی که با گازها کار می‌کنند چنین دیاگرام جامعی که تمام کیفیات و تحویلات گاز را بتوان روی آن خواند وجود ندارد (و اگر وجود داشته باشد کلاسیک نشده و در هر حال نگارنده از آن بی‌اطلاع می‌باشد) و اتفاقاً ماشین‌هایی که با گاز کار می‌کنند انواع و مصارف زیاد دارند مانند کمپرسورها، بادرسان‌ها، موتورهای احتراق داخلی، اسباب‌های بادی و غیره. به‌علاوه اخیراً با توسعه‌ای که در استعمال توربین‌های گاز پیش آمده است و پیدایش طریقه‌های جدید گرمایش (به‌نام Chauffage thermodynamique) و خنک کردن و همچنین تهویه مطبوع (Conditionnement dair) احتیاج محصل و مهندس به‌یک دیاگرام یا جدولی که بدون زحمت بتوان مشخصات گاز را در مراحل مختلفه تحویل، معلوم نمود و از روی آن محاسبه ابعاد اصلی ماشین و شرایط کار دستگاه آسان گردد، روز به‌روز زیادتر می‌شود. در اغلب این ماشین‌ها جسم سیال واسط هوای معمولی می‌باشد و هوای جو هیچگاه خالی از بخار آب نیست. وجود رطوبت همین که به‌حد اشباع برسد باعث تقطیر آب و نتایج دیگری می‌شود که همیشه نمی‌توان از آن چشم پوشید.

منظور از دیاگرام عمومی برای گازها و برای هوای مرطوب، دیاگرامی است که وجود بخار آب را در نظر گرفته تغییرات درجه حرارت و فشار و حجم گازها را

---

* این اثر از «مجله صنعت»، نشریه کانون مهندسین، شماره ۳، صص ۳۲ الی ۴۱، شهریور ۱۳۲۳، نقل شده است که با مختصر ویرایشی تقدیم می‌شود.

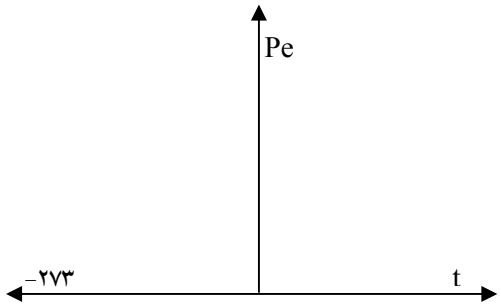
به‌طورکلی نشان دهد و تغییرات درجه رطوبت و مقدار تقطیری را که احیاناً پیش‌آید نیز معلوم نماید. دیاگرامی که در زیر ارایه می‌شود خواص منظور را دارا می‌باشد و در روی آن می‌توان ضمنا مقادیر حرارت و کار دریافت شده را خواند.

فرض اصلی و مختصات دیاگرام

سیستم را که معمولاً هوای عادی یا هوای سوخته یا سیال‌های هوایی‌شکل می‌باشد، به‌عنوان گاز ساده (gaz parfait) و تابع قوانین ماریوت- دالتون و آوگادرو تلقی می‌نماییم. فقط برای آنکه به‌حقیقت نزدیک باشیم حرارت مخصوص‌های آن‌را که بنا به‌فرض رنیو (Regnault) باید مقادیر ثابتی باشند طبق فرمول مالار و لوشاتلیه (Mallard et Le Chatelier) توابع خطی از درجه حرارت خواهیم گرفت. قبول فرضِ گازِ ساده که در کتب و در محاسبات معمول می‌باشد، البته صددرصد صحیح نیستَ ولیَ عملا درجه تقریب آن‌کافی و قابل قبول می‌باشد چه سیال‌هایی‌که در ماشین‌های گاز (باد رسان‌ها، کمپرسورها، موتورهای احتراق داخلی، توربین گاز، مجموعه‌های حرارتی یا برودتیِ هوایی) بکار برده می‌شوند، به‌حالت گاز بوده و در حدود تحویلات منظور از صورتِ اشباع و میعان بسیار دور می‌باشند. حتی بخار آبی که همراه هوا می‌باشد چون به‌حالت بسیار رقیق و در درجات پایین حرارت است با دقت نسبتاً زیادی تبعیت از معادله $Pv = RT$ می‌نماید و هر گاه فشار اشباع بخار آب را از روی حجم مخصوص آن و مطابق فرمول $P = \frac{RT}{V}$ حساب نماییم، اختلاف نسبی اعداد حاصله با مقادیر واقعی تجربی در ۳۰ درجه کمتر از ۰/۵۰ درصد است. در ۱۰۰ درجه خطای نسبی به ۱/۳۵ درصد می‌رسد و در ۱۲۰ از ۲/۵ درصد متجاوز نمی‌باشد.

از طرف دیگر دیاگرام برای اینکه در مورد کلیه گازها و مخلوط آنها قابل استعمال باشد، اصولاً برای یک مولکول کیلوگرم رسم می‌شود و ملاک مقایسه و بحث ما همیشه مولکول خواهد بود. مقصود از مولکول کیلوگرم، مقداری از گاز یا مخلوط گازها و بخار آب می‌باشد که وزن مجموع آنها به حسب کیلوگرم، مساوی وزن ذره‌ای گاز یا متوسط اوزان ذره‌ای گازها و بخار آبی که سیستم را تشکیل داده‌اند، باشد. به‌عبارت اخری آن مقدار از سیستم که در شرایط عادی ۲۲/۴ متر مکعب حجم داشته باشد. به‌این ترتیب وقتی گازها را با واحد مولکول در نظر گرفتیم تمام آنها را به‌یک چشم نگاه خواهیم کرد و مخصوصاً عمل احتراق یا تجزیه

و ترکیب تغییری در اعتبار منحنی‌های دیاگرام نخواهد داد.



مختصات دیاگرام، در طول درجه سانتیگراد و در عرض فشار اختصاصی (Pression Partielle) بخار آب Pe به‌حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، انتخاب شده است.

مقدار رطوبت سیستم که آن‌را φ می‌نامیم (و همیشه کوچک‌تر از واحد است)[1] بنا به‌تعریف، مقدار مولکول کیلوگرم بخار آب می‌باشد که در یک مولکول کیلوگرم مخلوط کل موجود باشد. مقدار φ البته مادامی که هوا به‌حال اشباع و تقطیر در نیامده است، ثابت می‌باشد و چون مخلوط را ما گاز ساده و تابع قانون دالتون می‌دانیم، فشار اختصاصی بخار آب نسبت به فشار کل، متناسب با تعداد مولکول‌های آن بوده و همیشه رابطه $Pe = \varphi.p$ صادق خواهد بود به‌طوری‌که عرض (اردنه) نقاط دیاگرام در عین اینکه معرف Pe می‌باشد، با مقیاس $\frac{۱}{\varphi}$ نماینده فشار کل سیستم یعنی P نیز خواهد بود و هر زمان که با گاز غیر مرطوب سر و کار داشته باشیم یا وجود رطوبت را بی‌اثر بدانیم می‌توانیم برای φ مقدار ثابتی مثلاً یک صدم یا یک هزارم فرض کرده، عرض دیاگرام را به‌طور ساده فشار کل P بدانیم و در واقع دیاگرام ما تواماً دیاگرام t - Pe و t - P می‌باشد.

منحنی‌های درجه رطوبت

درجه رطوبت هوا بنا به تعریف چنین است :

---

۱. روی دیاگرام و در شکل‌ها مقدار رطوبت به حرف μ (موی یونانی) نمایش داده شده ولی در متن مقاله چون حرف μ (مو) نایاب بود، به‌جای آن φ گذارده شده است.

$$h = \frac{\varphi}{\varphi s} = \frac{Pe}{Ps}$$

در اینجا φs مقدار ماکزیمم مولکول کیلوگرم بخار آبی می‌باشد که به‌حالت اشباع می‌تواند در یک مولکول کیلوگرم مخلوط کل وجود داشته باشد و P فشار اشباع بخار آب در درجه حرارت منظور است.

از عبارت بالا معادله منحنی‌های درجه رطوبت ($h = C te$) به‌دست می‌آید:

$$Pe = hp_s$$

بنابراین کافی است یک مرتبه منحنی تعادل بخار آب اشباع (منحنی Regnault) را که نظیر $h = ۱۰۰٪$ می‌باشد دقیقاً رسم نموده عرض نقاط آن‌را مرتباً به نسبت‌های ۰/۹۰ ، ... ، ۰/۲۰ ، ۰/۱۰ کوچک نماییم تا منحنی‌های ۹۰٪ ، ... ۲۰٪ ، $h = ۱۰٪$ به‌دست آید.

ایزوبارها و ایزو ولوم‌ها (منحنی‌های فشار ثابت و منحنی‌های حجم ثابت)

نظر به‌اینکه در حین تحویل سیستم معین محدود، مادامی که بخار آب به حد اشباع نرسیده و تقطیر رخ نداده باشد، مقدار رطوبت φ لایتغیر می‌ماند، ایزوبارها خطوط افقی خواهند بود:

$$\varphi p = C te$$

برای ایزو ولوم‌ها :

$$\varphi p = \varphi \frac{RT}{v} = \frac{RT}{\frac{v}{\varphi}} = \frac{RT}{V}$$

و چون برای سیستم محدود معین، مادامی‌که تقطیری پیش نیامده باشد، φ ثابت خواهد بود در تحویل ایزوولوم $V = \frac{v}{q}$ نیز مقدار ثابت بوده، ایزوولوم‌ها به‌صورت خطوط شعاعی با شیب $\frac{R}{V}$ در می‌آیند. که از نقطه $t = -۲۷۳$ خارج شده باشند.

تراکم و انبساط آدیاباتیک

معادله تحویل آدیاباتیک گازهای ساده در مختصات T و P چنین می‌باشد.

$$\frac{p}{T^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}} = \frac{p_0}{T_0^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}} = Cte = K$$

به‌طوری‌که هر گاه یکی از آنها را رسم نماییم سایر آدیاباتیک‌ها را در نتیجه بزرگ و کوچک کردن اردنه (به‌نسبت $\frac{K'}{K}$) می‌توان به‌دست آورد ولی معادله فوق در صورتی صحیح است که $\gamma = \frac{C}{C'}$ مقداری ثابت و مستقل از T و P باشد.

عملاً می‌دانیم که γ ثابت نبوده C و C' بنا به‌فرمول مالار و لوشاتلیه تابع خطی درجه حرارت می‌باشد

C حرارت مخصوص ذره‌ای در فشار ثابت

$$C = (۱/۹۸۵ + \alpha) + ۲\beta T$$

C' حرارت مخصوص ذره‌ای در حجم ثابت

$$C' = \alpha + ۲\beta T$$

α برای تمام گازها مساوی ۵/۴ می‌باشد و β که عدد کوچکی است، بستگی به جنس گاز دارد:

برای ازت ، اکسید دو کربن ، اکسیژن و هیدروژن $\beta = \frac{۱/۲}{۱۰۰۰}$

برای آب $\beta = \frac{۵/۸}{۱۰۰۰}$

برای ایندرید کربنیک $\beta = \frac{۷/۴}{۱۰۰۰}$

برای متان $\beta = \frac{۱۲}{۱۰۰۰}$

به‌طوری‌که برای هوای خشک $\beta = \frac{۱/۲}{۱۰۰۰}$ و برای هوای سوخته که اقلاً چهار خمس آن ازت است و همچنین برای هوای مرطوب که مقدار ماکزیمم بخار آب ده درصد کمتر می‌باشد، باز می‌توانیم برای محاسبه با خطای نسبی کمتر از ٪ ۱/۷ همان $\beta = \frac{۱/۲}{۱۰۰۰}$ را اختیار کنیم (چنانچه بنا به‌معمول کلاسیک، γ را به‌طور ثابت ۱/۴۳ بگیریم خطای نسبی در ۲۵۰ درجه ٪ ۶/۹ می‌گردد).

حال در صورتی‌که C' را تابع خطی T بگیریم، معادله تحویل‌های آدیاباتیک چنین می‌شود :

$$\text{Log } p = ۳/۲۶ \text{ Log } T + ۰/۰۰۲۴T + Cte$$ [1]

و هر گاه آنتروپی هوا یا گاز ساده را تحت فشار یک جو و درجه حرارت صفر، صفر بگیریم و لگاریتم نپری را به لگاریتم عادی تبدیل نماییم، معادله فوق به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$\text{Log } p = ۳/۲۶ \text{ Log } T + ۱/۰۴۵ \times ۱۰^{-۳} t - (۷/۹۱۶ + ۰/۲۱۷۲ S)$$

---

۱. این معادله را که مربوط به اصل دوم ترمودینامیک می‌باشد به طور مستقیم از اصل اول ترمودینامیک چنین استخراج می‌کنیم:

عبارت انرژی باطنی یک مولکول کیلوگرم

$$U = c'T = (\alpha + ۲\beta T)T$$

دیفرانسیل dU

$$dU = \alpha dT + ۴\beta T\, dT$$

عبارت dQ

$$dQ = dU + Ap\, dv = dU + ART \frac{dv}{v}$$

$$dQ = dT + ۴\beta T\, dT + ART \frac{dv}{v}$$

$$dQ = T(\alpha \frac{dT}{T} + ۴\beta T\, dT + AR\ \frac{dv}{v})$$

عبارت داخل کروشه، دیفرانسیل کامل و همان ds است:

$$\frac{dQ}{T} = ds = \alpha \frac{dT}{T} + ۴\beta T\, dT + AR\ \frac{dv}{v})$$

و از آنجا:

$$S = \alpha \text{ Log } T + ۴\beta T + AR \text{ Log } v + Cte$$

$$S = \text{Log } T^{\alpha}\ v^{AR} + ۴\beta T + Cte$$

$$S = \text{Log } T^{\alpha}\ (\frac{RT}{p})^{AR} + ۴\beta T + Cte$$

$$S = \text{Log} \frac{T^{\alpha+AR}}{p^{AR}} + ۴\beta T + Cte$$

$$\frac{۱}{AR} S = \text{Log}(\frac{T}{p})^{\frac{\alpha + AR}{AR}} + \frac{۴\beta}{AR} + Cte$$

$$\text{Log}(\frac{T}{p})^{\frac{\alpha + AR}{AR}} + \frac{۴\beta}{AR} T = \text{Log}(\frac{T_۰}{p_۰})^{\frac{\alpha + AR}{AR}} + \frac{۴\beta}{AR} T_۰$$

و چون به جای ضرایب مقادیر عددی آنها را بگذاریم:

$$\text{Log } p = ۳/۲۶ \text{ log}T + ۰/۰۰۲۴T + Cte$$

یعنی بازکافی است یکی از منحنی‌های آدیاباتیک را محاسبه و رسم نموده برای سایرین عرض نقاط را به نسبت‌های ثابت معینی (Colog ۰/۲۱۷۲ S) بزرگ نماییم تا شبکه آدیاباتیک به‌دست آید.

به‌طوری‌که می‌دانیم ، مقدار کار مبادله شده در تحویلات آدیاباتیک ، مساوی با تغییر انرژی داخلی سیستم می‌باشد :

$$dW = EdU = EC'dT$$

$$W = E\int C'dT = E\,(\alpha T + \beta T^{2})$$

به‌این‌ترتیب روی محور طول، می‌توان مقادیر کار نظیر تراکم یا انبساط آدیاباتیک ساده را خواند و یا پهلوی محور طول ، محور دیگری رسم نموده آن را به حسب $E\,(\alpha T + \beta T^{2})$ مدرج کرد. ضمناً درجات محور جدید (پس از تقسیم بر E) معرف حرارت‌های مبادله شده در تحویلات ایزوولوم می‌باشد.

اما چنانچه مقدار کاری را که‌در یک کمپرسور یا دتاندور آدیاباتیک مبادله می‌شود خواسته باشیم ، یعنی کارهای لازم برای مکیدن گاز (aspiration) و راندن (refoulement) آن‌را نیز در نظر بگیریم، باید به‌عوض C' (که حرارت مخصوص در حجم ثابت است) ، C (حرارت مخصوص در فشار ثابت) را به‌کار بریم :

$$[W = \int ECdT = E\,[(AR+\alpha)\,T + \beta T^{2}]$$

و این مقادیر را نیز که ضمناً متناسب با حرارت‌های مبادله شده در تحویل‌های ایزوبار می‌باشد ، می‌توان روی محور دیگری موازی محورهای طول قرائت کرد.

منحنی‌های تقطیر

هوای مرطوب در اثر تراکم خشک می‌شود و در اثر انبساط به‌حالت اشباع نزدیک شده ، چنانچه قبل از انبساط سرد شده باشد ، ممکن است شروع به تقطیر نماید. این پدیده تقطیر ، مخصوصاً در اسباب‌های بادی معادن و غیره که با هوای متراکم کار می‌کنند کاملاً محسوس می‌باشد، در توربین‌ها نیز ممکن است رخ دهد.

هرگاه δ مقدار تقطیر ، یعنی عده مولکول کیلوگرمِ بخار آبی باشد که به‌صورت ذرات مایع از یک مولکول‌کیلوگرمِ مخلوط جدا می‌شود و φ_N مقدار بخار آبی باشد

که به‌حالت اشباع در هوای مفروض موجود است ، چنین خواهیم داشت:

$$\delta = \varphi - \varphi_N$$

چنانچه وزن مخصوص بخار اشباع را π بنامیم :

$$\varphi_N = V.\pi = \varphi \frac{V}{\varphi} \pi = \varphi.V\pi$$

و از آنجا

$$\delta = \varphi\,(1 - V\pi)$$

و چون به‌جای V مقدارش را بگذاریم :

$$V = R\,\frac{T}{Pe}$$

و اگر معادله را برحسب P_e حل کنیم ، معادله منحنی‌های تقطیر ($D = \frac{\delta}{\varphi} = Cte$) به‌دست می‌آید:

$$Pe = \frac{RT}{1 - D^{\pi}}$$

این معادله بازای $D = O$ با منحنی اشباع بخار آب منطبق می‌شود و هرگاه $D = \frac{\delta}{\varphi}$، مقادیر صعودی ۰/۱ ، ۰/۲ ، ... ، ۰/۹ را بدهیم، عرض نقاط منحنی اشباع مرتباً در نسبت‌های $\frac{1}{0/9}$ ، $\frac{1}{0/8}$ ، ... ، $\frac{1}{0/1}$ ضرب شده ، منحنی‌های تقطیر مربوطه به‌دست می‌آید.

مرطوب کردن (هواشویی) یا خشک نمودن ایزوبار

پاشیدن و تبخیر آب در هوای غیراشباع، در تحت فشار و حرارت ثابت، باعث خنک شدن هوا می‌گردد (humidification رطوبت‌زنی یا هواشویی). همچنین خشک نمودن هوا به طریق آدیاباتیک و در فشار ثابت، سبب گرم شدن آن می‌گردد.

در دیاگرام مولیه (مخصوص هوای جو) و در دیاگرام‌های موسوم به Courbes Psychrometriques که در هر دوی آنها، عرض مختصات مقدار حرارت را نشان می‌دهد، نمایش این نوع تحویل خط افقی می‌باشد.

در اینجا برای به‌دست آوردن منحنی‌های هواشویی لازم است قبلا عبارت حرارت موجود در یک مولکول‌کیلوگرم مخلوط هوا و بخار آب را به‌دست آوریم. چنانچه بخار آب گاز ساده و خالی از عارضه میعان و تبخیر بود مقدار حرارت مطلوب را چنین می‌نوشتیم:

$$Q = Ct = 7t$$

و نمایش آن خط قائم می‌شد.

ولی حرارت نظیر یک مولکول کیلوگرم بخار آب اشباع از فرمول رنیو به‌دست می‌آید:

$$\varphi e = 18\ (\ 606/5 + 0/305t\ )$$

بنابراین مقدار کل حرارت موجود در φ – ۱ مولکول هوا (گاز ساده) و مولکول بخار آب چنین خواهد بود :

$$Q = 7\ (1 - \varphi)\, t + 18(606/5 + 0/305\, t)\, \varphi$$
$$Q = 7t\ + 18(606/5 - 0/083\, t)\, \varphi$$

جمله $0/083t$ در جنب رقم ۶۰۶/۵ حتی در درجات بالای حرارت که معمول ماشین‌ها می‌باشد، کاملاً قابل اغماض بوده می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. پس :

$$Q = 7t\ + 10900\ \varphi$$

حال چون به‌جای φ مقدار آن $\frac{Pe}{P}$ را بگذاریم معادله تحویل‌های هواشویی یا خشک نمودن ایزوبار تحت حرارت ثابت :

(humidification ou séchage isobare à chaleur constante)

به دست می‌آید.

$$P_e = \frac{Q - ۷t}{۱۰۹۰۰} \, p$$

بنابراین منحنی‌های Q = Cte یک عده خطوط موازی خواهند بود با شیب ثابت $\frac{۷p_e}{۱۰۹۰۰}$ متناسب با فشار محل P و اگر به‌عوض مقدار حرارت نظیر یک مولکول کیلوگرم (Q)، مقدار حرارت همراه با یک کیلوگرم هوای خشک را در نظر بگیریم (به‌طوری‌که معمول است) و آن‌را q بنامیم ($q = \frac{Q}{۲۸/۸(۱-q)}$)، معادله فوق به‌صورت زیر درخواهد آمد:

$$P_e = \frac{۲۸/۸\, q - ۷\, t}{۱۰۹۰۰ + ۲۸/۸\, q} \, p$$

نمایش این معادله، خطی است مستقیم با شیب

$$\frac{۷\, P}{۱۰۹۰۰ + ۲۸/۸\, q}$$

متناسب با فشار.

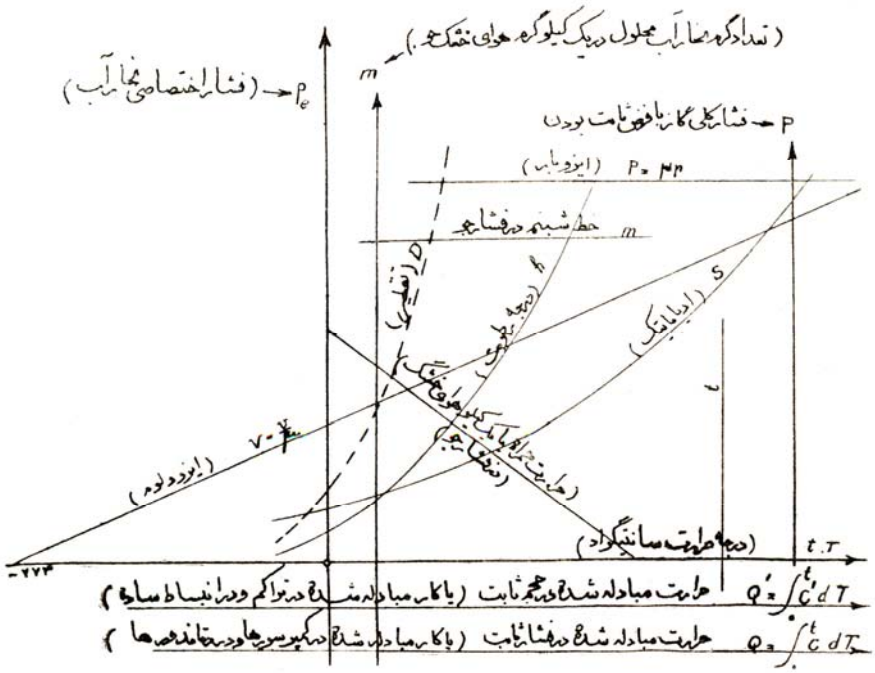
نظر به‌اینکه عمل هواشویی و خشک کردن که در تهویه مطبوع معمول است همیشه در فشار جو صورت می‌گیرد، برای P مقدار ثابتی باید در نظر گرفت و ما در روی دیاگرام برای P، فشار منطقه تهران را (P = ۰/۸۹۳) قرار داده‌ایم.

خطوط شبنم (Lignes de rosée)

هوای مرطوب در اثر سرد شدن و بدون تغییر فشار به‌حالت تقطیر در می‌آید و شبنم می‌زند و بالعکس در اثر گرم شدن خشک می‌گردد. یعنی در فشار معین با وجود ثابت بودن مقدار رطوبت، درجه رطوبت h تغییر می‌کند. منحنی نمایش این تحویل، یعنی خطوط φ = Cte در فشار ثابت، خطوط افقی می‌باشند و در فشار واحد $\varphi = p_e$.

ما روی دیاگرام خطوط شبنم را برای فشار تهران رسم کرده‌ایم و بنا به معمول واحد مقدار رطوبت را به‌عوض مولکول‌کیلوگرم، به‌حسب گرم بخار آبی که با یک کیلوگرم هوای خشک همراه باشد، گرفته‌ایم.

$$m = \frac{۱۸ \times ۱۰۰۰\varphi}{۱-\varphi}$$



و چون به‌جای φ مقدار آن یعنی $\frac{Pe}{P}$ را بگذاریم ، معادله خطوط شبنم در فشار منطقه تهران به‌دست می‌آید:

$$Pe = ۰/۸۹۳ \frac{m}{۱۸۰۰۰ + m}$$ [۱]

خواندن نقاط و بردن حالات گاز روی دیاگرام

دیاگرامی که به این ترتیب رسم می‌شود دارای ۸ دسته منحنی خواهد بود:

ایزوترم‌های $t = Cte$ (قائم) ،

ایزوبارهای $P = Cte$ (خطوط افقی) ،

ایزوولوم‌های $v = Ve = Cte$ (خطوط شعاعی) ،

---

۱. امتیاز این سیستم مختصات نسبت به سیستم‌های مولیه (t , q) و سیستم اپسیکر و متریک (m) در این است که دیاگرام‌های نامبرده برای فشار جو معینی قابل استفاده می‌باشند و همین‌که فشار محل عوض شد، تمام منحنی‌های آن را که هر یک محتاج به محاسبه و ترسیم جداگانه است، باید تجدید نمود. در صورتی‌که در سیستم P_e , t منحنی‌های $h = Cte$ وضع لایتغیری داشته، فقط خطوط $m = Cte , q = Cte$ را باید جابه‌جا کرد یعنی عرض در مبداء آنها ، متناسب با فشار، کم و زیاد می‌شود.

آدیاباتیک‌های S = Cte (منحنی‌های لگاریتمی) ،
منحنی‌های درجه رطوبت h = Cte ،
منحنی‌های تقطیر D = Cte (تغییر مقیاس منحنی اشباع بخار آب) ،
و بالاخره دو دسته خطوط دیگر که برای فشار جو رسم شده‌اند:
خطوط شبنم m = Cte (خطوط افقی)
و خطوط هواشویی یا رطوبت‌یابی در حرارت ثابت q = Cte

سیستم منظور، چنانچه هوا یا گاز مرطوب باشد ، بنا به قاعده فصول (regle des phases) دارای سه درجه آزادی است :

$$V = C + ۲ - \varphi = ۲ + ۲ - ۱ = ۳$$

و برای شناختن آن باید دو پارامتر از پارامترهای اصلی (t , p , v) و یک پارامتر از پارامترهای رطوبی (D , h , φ , Pe) معلوم باشد.

با داشتن این سه معلوم ، نقطه معرف حالت سیستم ، به‌سهولت روی دیاگرام معین می‌شود و از روی هر نقطه دیگر دیاگرام که معرف حالت جدید سیستم باشد ، می‌توان تمام پارامترهای آن‌را تعیین کرد.

چنانچه سیستم مورد بحث گاز غیر مرطوب یا هوایی باشد که وضع رطوبی آن‌را نخواهیم در نظر بگیریم دانستن دو پارامتر از پارامترهای اصلی سیستم کافی خواهد بود و برای φ که به منزله عدد معاون یا مقیاس عرض مختصات تلقی خواهد شد ، یک مقدار ثابتی (مثلاً : یکدهم ، یکصدم و یا یکهزارم فرض نموده ، روی محور طول ، t را می‌خوانیم و روی محور عرض ، فشار کلی P . در این‌صورت ، هر نقطه دیاگرام معرف حالت خاصی از سیستم بوده و هر حالت سیستم نقطه معینی برای خود خواهد داشت و همین‌که برای φ مقدار دیگری فرض نماییم ، همان منحنی‌ها مبین حالت جدیدی خواهند بود.

فرض گازطبیعی به عوض گاز ساده

به عوض آنکه هوا و گازهای مورد نظر را گاز ساده تلقی کرده ، دیاگرام را بر طبق معادله مشخصه P.v = R.T ترسیم نماییم ، ممکن است درجه دقت را بالاتر بگیریم و معادله وان در والس (Van Der waals.) را که به حقیقت خیلی نزدیک‌تر است ، ملاک عمل قرار دهیم:

$$P + \frac{K}{v^2}(v - a) = R.T$$

یا

$$P = \frac{R.T}{v - a} - \frac{K}{v^2}$$

در این‌صورت ایزوولوم‌ها باز خطوط مستقیم خواهند بود که عرض در مبداء آنها منفی و متغیر است (این خود طریقه حل ترسیمی معادله وان دِر والس می‌شود) و ادیاباتیک‌ها نیز تغییر چندانی نمی‌نمایند.

برای به‌دست آوردن معادله آدیاباتیک‌ها ، به همان طریقی که سابقاً (در صفحه ۳۶) عمل نمودیم ، عبارت dQ را از روی عبارت du به‌دست آورده از T فاکتور می‌گیریم ، ds نتیجه می‌شود. فقط در اینجا عبارت انرژی باطنی به‌عوض اینکه

$$U = C'T = (\alpha + 2\beta T)\,T$$

باشد ، :

$$U = C'T - A\frac{K}{v}(\alpha + 2\beta T)T - A\frac{K}{v}$$

خواهد بود و بالاخره به این معادله می‌رسیم :

$$S = \alpha \mathrm{Log}\frac{T}{273} + 4\beta(T - 273) + AR\mathrm{Log}\frac{v - a}{22/4 - a}$$

در این معادله که به حسب v و T می‌باشد ، چون T را به خود بدهیم v به‌دست می‌آید. v را در معادله :

$$P = \frac{RT}{v - a} - \frac{K}{v^2}$$

برده از آنجا P نتیجه می‌شود و به این ترتیب می‌توانیم منحنی‌های آدیاباتیک را نقطه به نقطه رسم نماییم.

سایر منحنی‌ها (ایزوترم ، ایزوبار ، منحنی‌های درجه رطوبت و درجه تقطیر) و همچنین مقیاس Q و Q′ البته تغییری نخواهند کرد.

ضرایب وان دِر والس یعنی a , k مقادیر کوچکی هستند که بستگی به جنس گاز دارند . در مورد مخلوط دو گاز ، مقدار a یعنی co-volume مساوی متوسط

کوولوم‌های دو گاز خواهد شد یعنی اگر $m_۱$ مولکول از یک گاز و $m_۲$ مولکـول از گاز دیگری داشته باشیم ، به‌طوری‌که $m_۱ + m_۲ = ۱$ باشد ، a چنین خواهد بود :

$$a = m_۱ a_۱ + m_۲ a_۲$$

و همچنین برای K:

$$K = m_۱ K_۱ + m_۲ K_۲$$

به این ترتیب می‌توان دیاگرام را برای هوای معمولی رسم نموده هر جا که سر و کار ما با هوای خاص باشد نتایجی از دیاگرام بگیریم که در عین سرعت و سهولت، بسیار دقیق و کاملاً صحیح باشد و آنجا که هوای سوخته (کمتر از ٪۲۰ انیدرید کربنیک) یا گاز طبیعی دیگری در بین باشد، درجه تقریب دیاگرام، باز از محاسباتی که معمولاً می‌نمایند بهتر خواهد بود.

موارد استعمال دیاگرام

تحویلاتی را که معمولا گازهای ساده یا هوا در معرض آن قرار می‌گیرند ، می‌توان به سهولت روی این دیاگرام نشان داد و آثاری که در نتیجه این تحویلات از لحاظ تغییر درجه حرارت ، فشار ، حجم ، یا درجه رطوبت و مقدار تقطیر حاصل می‌شود ، و همچنین مقدار حرارت یا کاری که مبادله می‌گردد ، می‌توان مستقیماً خواند. مانند تراکم و انبساط آدیاباتیک ، خنک شدن و گرم شدن در فشار یا در حجم ثابت ، تراکم و انبساط ایزوترم و غیره.

از طرف دیگر مدار کلیه ماشین‌های گاز روی دیاگرام به شکل ساده‌ای نمایش داده می‌شود و ما در زیر ضمن چند مثال ، اطلاعات اصلی مربوط به ماشین‌ها را که می‌توان به استعانت دیاگرام معلوم کرد ارایه می‌دهیم.

مدار کمپرسورها

هوای تنفسی کمپرسور از روی درجه حرارت و درجه رطوبت آن (یا به استعانت دو درجه حرارت خشک و تر که روی یک خط $q = Cte$ قرار دارند)، شناخته می‌شود. فرض‌کنیم A نقطه معرف آن باشد، چون فشار معلوم است از روی اردنه (φP) مقدار رطوبت φ را معلوم می‌کنیم ، ایزوولومی که از A می‌گذرد حجم مخصوص را نشان می‌دهد.

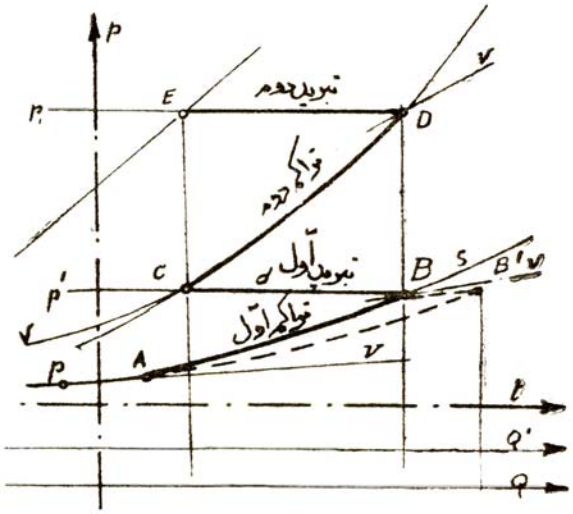
منحنی نمایش تراکم ، منحنی آدیاباتیک ماربر A خواهد بود و نقطه انتهایی تراکم را از روی فشار خروجیِ

$$\frac{P'}{P} = \frac{p'_e}{Pe}$$

یا از روی درجه تراکم

$$\frac{V'}{V} = \frac{v'}{v}$$

معین می‌نماییم.



در صورتی‌که تراکم ایزوترم باشد ، نمایش آن خط قائم نقطه A می‌شود و در صورتی‌که تراکم ارتجاعی ناقص و دچار اتلاف حرارتی باشد (تراکم حقیقی که نه آدیاباتیک است و نه ایزوترم) ، منحنی نمایش آن به عوض آدیاباتیک AB ، منحنی AB′ خواهد بود به طوری‌که :

$$Q'B - Q'B' = (1 - \frac{\lambda e}{\lambda m})(Q'B - Q'A)$$

در اینجا λe راندمان حرارتی تراکم می‌باشد و λm راندمان مکانیک آن نسبت به آدیاباتیک[1] :

---

۱. برای به دست آوردن معادله بالا کافی است بر مدار بسته ABB′ ، اصل اول ترمودینامیک را جاری سازیم : ←

$$\lambda_e = \frac{AW - Q_1}{AW}$$

$$\lambda_m = \frac{Q'B - Q'A}{AW}$$

$$\sum Q + A\sum W = O : \qquad \rightarrow$$

در طی AB

$$O + C' (T_B - T_A)$$

در طی BB′

$$C (T_{B'} - T_B) - Ap (v_{B'} - v_B)$$
$$= C (T_{B'} - T_B) - AR (T_{B'} - T_B)$$
$$= C' (T_{B'} - T_B)$$

در طی B′A

$$(\quad + Q_1) + (\quad - AW)$$

حاصل جمع

$$C' (T_B - T_A) + C' (T_{B'} - T_B) + (Q_1 - AW) = O$$

یا

$$(Q'_B - Q'A) + (Q'_{B'} - Q'_B) + (Q_1 - AW) = O$$

یا

$$(Q'_B - Q'_{B'}) = (Q'_B - Q'_A)\,(1 - \frac{AW - Q_1}{Q'_B - Q'_A})$$

یا

$$(Q'_B - Q'_{B'}) = (Q'_B - Q'_A)\,(1 - \frac{\lambda_c}{\lambda_m})$$

حال هرگاه عایق‌بندی جدار سیلندر کافی بوده و یا سرعت تراکم زیاد باشد به طوری که λ_c = یا بسیار نزدیک به واحد گردد :

$$Q'B \le Q'B' \qquad O > \quad (1 - \frac{\lambda_c}{\lambda_m})$$

و در نتیجه نقطه B′ سمت راست B قرار خواهد گرفت.

و اگر بالعکس کمپرسور بطئی و جریان آب سرد، خنک‌کننده قوی باشد، به طوری‌که λ_c عمداً کوچک گرفته شود و یا اصطکاک و اغتشاش تراکم کم باشد :

$$Q'B > Q'B' \qquad O < \quad (1 - \frac{\lambda_c}{\lambda_m}) \qquad 1 > \frac{\lambda_c}{\lambda_m}$$

و در نتیجه نقطه B′ طرف چپ B قرار خواهد گرفت و اگر احیاناً اتلاف حرارتی جدار با اتلاف انرژی مکانیک برابری نماید ($\lambda_c = \lambda_m$) ؛ در این صورت منحنی واقعی تراکم بر منحنی آدیاباتیک منطبق خواهد شد.

روی محورهای طول مرتباً افزایش درجه حرارت حاصله، کار نظیر تراکم (EQ') و کار نظیر مدار کامل متضمن تنفس هوا و راندن آن (EQ) را می‌خوانیم. حجم فضای بیکار نیز اگر در پایان تخلیه ε باشد مقدار آن در ابتدای تنفس $\varepsilon \frac{V_A}{V_B}$ خواهد بود.

در صورتی که کمپرسور دو طبقه باشد (Compresseur à 2 étages) و مابین دو طبقه، گاز نیمه متراکم را خنک کنند، نمایش این عمل خط افقی BC خواهد بود و (QB-Qc) حرارت مبادله شده در دستگاه خنک‌کننده و بنابراین مقدار آب مصرفی را معلوم می‌نماید. مرحله دوم تراکم ، از نقطه C شروع شده به محاذات آدیاباتیک ماربر نقطه C بالا می‌رود تا در نقطه D به ارتفاع فشار خروجی برسد. ایزوولوم نقطه C حجم سیلندر دوم (HP) را معلوم خواهد کرد و ایزوبار افقی DE طرز خنک شدن گاز را ، و بالاخره ایزوولوم نقطه E ، دوبل حجمی گاز متراکم را نشان می‌دهد که به‌وسیله آن قطر لوله‌های خروجی و حجم منبع ذخیره حساب می‌شود.

ضمناً در نقطه E از روی منحنی های h درجه رطوبت گاز و دور و نزدیکی آن را به تقطیر خواهیم دید.

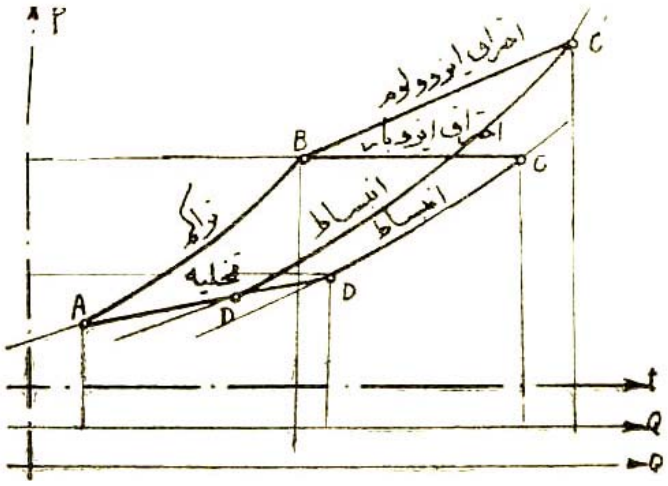
چنانچه هوای متراکم نقطه E به‌مصرف لکوموتیو هوایی یا اسباب‌های بادی (چکش، کلنک، دیلم و غیره) برسد، آدیاباتیکی که از نقطه E سرازیر شده و به‌فشار جو منتهی گردد، نمایش عمل آنها خواهد بود و در انتهای انبساط درجه حرارت تخلیه و مخصوصاً مقدار تقطیر آب را نشان می‌دهد.

در اینجا نیز منحنی واقعی انبساط با منحنی آدیاباتیک نظری اختلاف داشته اصطکاک و اعتشاش‌هایی که در ضمن انبساط رخ می‌دهد و همچنین حرارتی که از طریق جدار از خارج سبب می‌شود ، سبب انحراف منحنی انبساط به سمت راست می‌گردد (اختلاف طول نقطه انتهایی انبساط با نقطه تئوریک به‌وسیله رابطه‌ای شبیه به آنچه در مورد تراکم گفتیم به‌دست می‌آید) .

موتورهای احتراق داخلی

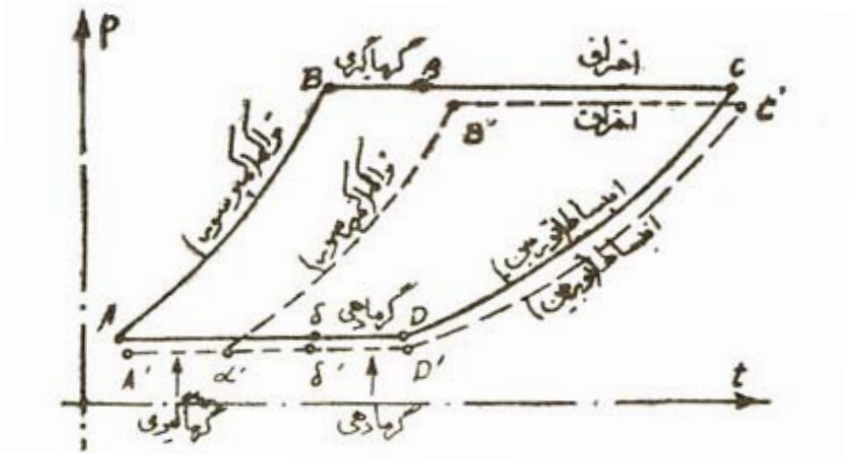
بر حسب اینکه احتراق در فشار ثابت یا در حجم ثابت باشد، نمایش مدار ABCD یا $ABC'D'$ خواهد بود. حرارت حاصله از سوخت مساوی اختلاف طول نقاط C و B روی محور Q (یا اختلاف طول نقاط C' و B روی محور Q' در مورد دوم) می‌باشد و اختلاف طول نقاط A و B (یاD و A) روی محور Q' حرارت تلف شده تخلیه را

نشانه می‌دهد و از آنجا مقدار راندمان به‌دست می‌آید. از طرف دیگر مشخصات نقاط B و C و D محل پیستون و همچنین فشار و درجه حرارت گاز را در مراحل مختلف معلوم می‌نماید.



توربین‌های گاز

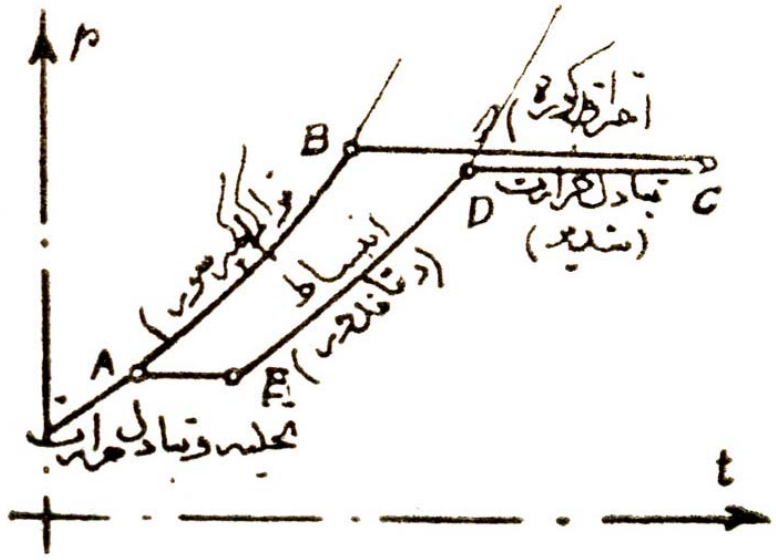
مدار توربین‌های گاز با مدار موتورهای احتراق داخلی تفاوتی ندارد جز اینکه تخلیه ایزوبار است و حرارت محسوس گازهای خروجی را بازگیری نموده هوای نسوخته را قبل از اشتغال گرم می‌کنند. به علاوه ، در اینجا برای احتراز از افزایش فوق‌العاده درجه حرارت ، نسبت وزن هوا را بر وزن سوخت ، عمداً زیاد می‌گیرند.



روی دیاگرام دو مدار رسم شده ، در اولی (مدار ABβCDδ) ، عمل بازگیری حرارت برای گرم کردن هوای نسوخته بعد از تراکم صورت گرفته است و در دومی (مدار A′α′B′C′D′δ′) ، قبل از تراکم. محاسبه و مقایسه دو مدار روی دیاگرام روشن می‌باشد.

شدیر وِلُکس (Chaudiere Velox)

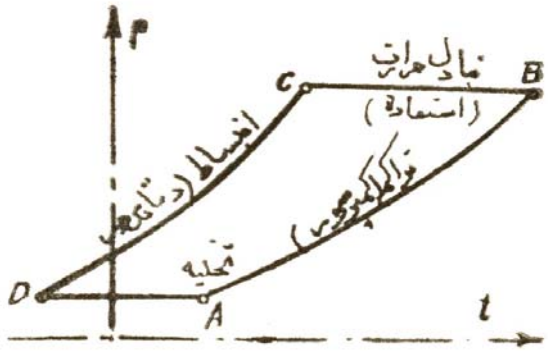
کوره شدیر وِلُکس، تحت فشار کار می‌کند و هوای احتراق را قبل از اشتغال متراکم می‌نماید و پس از انتقال دادن حرارت آن به‌دستگاه تبخیر، گازهای سوخته‌ی متراکم را در یک دتاندور انبساط می‌دهد.



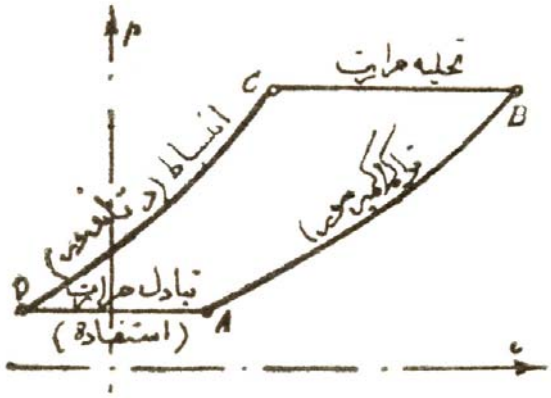
روی دیاگرام کلیه درجات حرارت گاز در مراحل مختلف آن و مقدار حرارت‌های مبادله شده و همچنین کارهای نظیر کمپرسور و دتاندور به‌طور وضوح دیده می‌شود.

گرمایش ترمودینامیک (Chauffage thermodynamique)

در شکل‌های زیر ، طریقه گرمایش ترمودینامیک با مدار تلمبه حرارتی و همچنین مدار ماشین‌های مبرد که با هوا کار می‌کنند و هر دو مشابه یکدیگر می‌باشند ، دیده می‌شود. در هر دو مورد دستگاه دارای یک کمپرسور و یک دتاندور و دو مبادل حرارتی می‌باشد. نهایت در تلمبه حرارتی مبادل نظیر AD وجود خارجی ندارد.



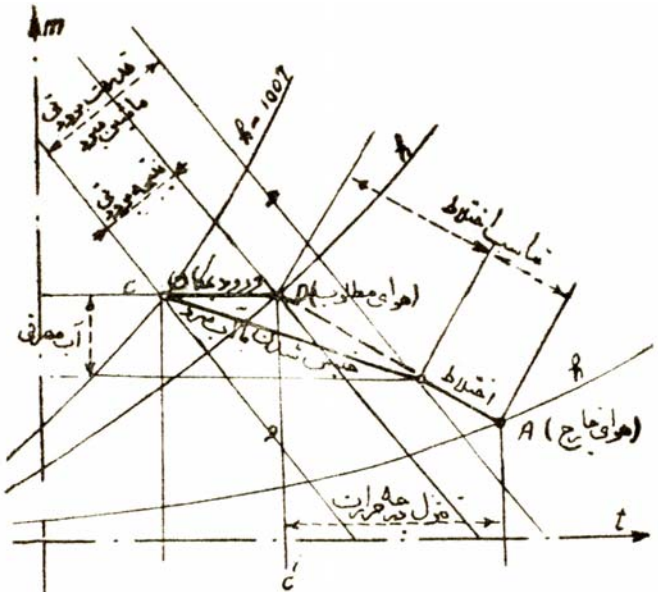
مدار تلمبه حرارتی



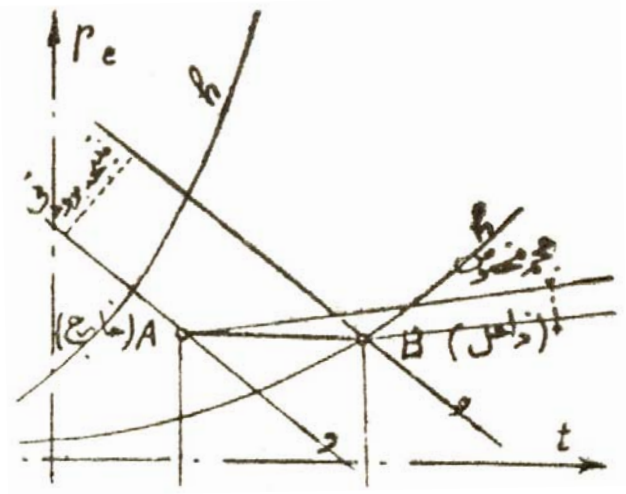
مدار ماشین مبرد هوایی

تهویه مطبوع و تهویه ساده (Conditionnement d'air)

برای این دستگاه‌ها که در فشار جو کار می‌کنند از مقیاس m و خطوط q = Cte استفاده می‌نماییم. چنانچه نقطه A معرف هوای فضای خارج و B معرف هوای مطلوب مکان باشد ، پس از اختلاط هوای خارج با قسمتی از هوای برگشتی داخل ، نقطه B به‌دست می‌آید به طوری‌که قطعات AB و BD به نسبت عکس اوزان هواهای مخلوط شده باشند. در اتاق هواشویی (Chambre d'humidification) ، در نتیجه برخورد با قطرات آب سرد ، وضع هوا وضع نظیر نقطه C که همعرض با D و روی منحنی اشباع h = ۱۰۰٪ می‌باشد می‌گردد و بالاخره پس از ورود به مکان و کسب حرارت داخل مکان ، از حالت C به D خواهد رسید. به طوری که روی شکل نمایان است دیاگرام ، کلیه مشخصات و اطلاعات اصلی را که برای محاسبه دستگاه لازم است ، به سهولت می‌دهد.



برای محاسبه تهویه طبیعی که جریان هوا به‌واسطه اختلاف وزن هوای داخل و خارج حاصل می‌شود، دانستن وزن مخصوص هوای گرم داخل و وزن مخصوص هوای سرد خارج (یا هوای خنک بادگیر در تابستان)، برای ما لازم است. نقاط معرف

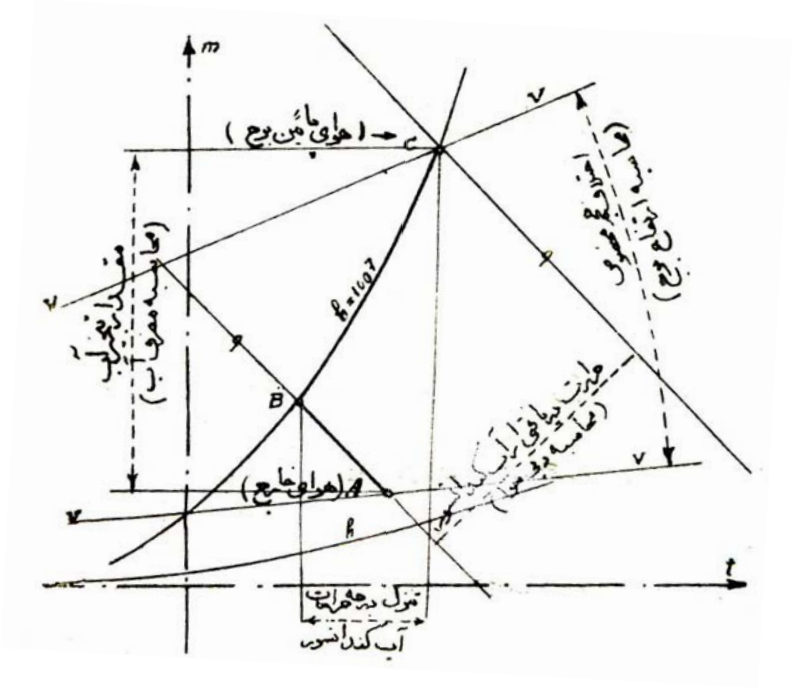


این دو هوا معمولاً روی یک خط افقی ($m=Cte$) می‌باشد و خطوط ایزوولومی که از آن نقاط می‌گذرد ، حجم مخصوص‌های هر یک را نشان می‌دهد ($v=V\varphi$)

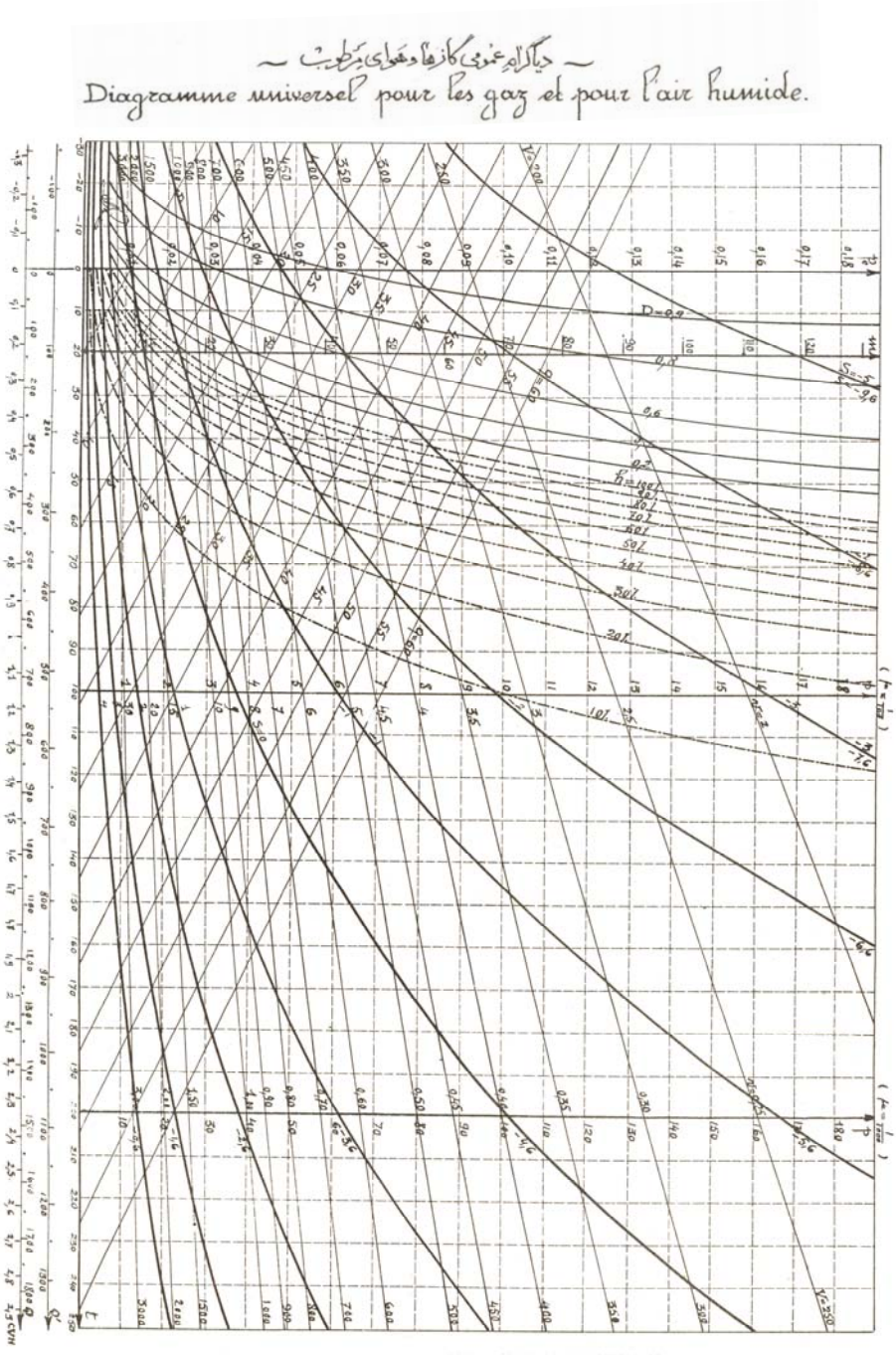
برج آبریز(Tour de réfrigération)

فرض کنیم A معرف هوای آزاد خارج باشد. این هوا پس از برخورد با قطرات آب زیر برج ، به صورت اشباع درمی‌آید (نقطهB) و به تدریج در ضمن صعود و تماس با قطراتی که تازه از کندانسور برگشته و گرم می‌باشد گرم و سبک شده با حالتی نظیر نقطه C از هواکش برج خارج می گردد.

روی دیاگرام اطلاعات اصلی نشان داده شده است[1]



۱. دیاگرامی که به پیوست این مقاله ضمیمه مجله می‌باشد به‌دست آقای مهندس محمود پزشکیان ترسیم یافته است و بدین وسیله از همکاری ایشان تشکر می‌نماید.


دیاگرام عمومی گازها و هوای مرطوب
Diagramme universel pour les gaz et pour l'air humide.

تعیین شرایط هوای مطبوع

در ارتفاع تهران*

به‌طوری‌که خوانندگان محترم اطلاع دارند برای تأمین بهداشت مردم و بهبود وضع مسکن از حدود بیست سال پیش به‌این طرف ، صنعت جدید و سبک تازه‌ای در تأسیسات ساختمان‌ها پدید آمده است که به‌نام :

Conditionnement d'air

یا

climatisation

خوانده می‌شود و در ایران به اسم «تهویه مطبوع» معروف شده است.

به طور خلاصه تهویه مطبوع عبارت از این است که هوای داخل مکان را (اعم از مسکن انسان یا محل تدارک پاره‌ای محصولات صنعتی) از لحاظ درجه حرارت، درجه رطوبت، نظافت، سرعت و غیره ، تحت شرایط معینِ مطلوبی که متناسب با احتیاج و مطبوع باشد درآورند. این شرایط تابع عوامل زیادی است که فعلاً موضوع بحث ما نیست و مهم‌ترین آنها وضع ساکنین و فصل می‌باشد.

شرایط اصلی هوای مطبوع، درجه حرارت و درجه رطوبت است که وابستگی تام به‌یکدیگر دارند و طوری انتخاب می‌شوند که تبادل یا اتلاف حرارت بدن انسان در آن محیط به مقدار ثابت معینی، مساوی با حرارت حاصله از تنفس باشد (مثلاً ۱۰۰ کالری در مدت یک ساعَت).

---

* این اثر از «مجله صنعت» ، نشریه کانون مهندسین، شماره ۷ ، صص ۳۵ و ۳۶ ، خرداد ۱۳۲۶ نقل شده است که با ویرایش مختصری تقدیم می‌شود.

در کتب اروپایی و آمریکایی، جداول زیادی داده شده است که درجات حرارت و رطوبت نظیر هوای مطبوع را به‌حسب فصل، عرض جغرافیایی مکان، نوع اشتغالات ساکنین (یا نوع محصولات صنعتی) و عوامل دیگر معین کرده‌اند. این جداول و اطلاعات تا آنجایی که نگارنده اطلاع دارد، تماماً برای مناطق کنار دریا، یعنی ارتفاع صفر که وضع عمومی غالب شهرهای اروپا و آمریکا است، تنظیم شده و اصولاً برای شهرهای فلات ایران مناسب نمی‌باشد. یعنی به‌طوری‌که در زیر خواهیم دید و تجربه نیز تایید می‌نماید، چنانچه در یک اتاق مسکونیِ تهران، در فصل زمستان همان شرایطی را که در عمارت پاریس ملایم و مطبوع به‌نظر می‌آید تأمین نمایند، شخص احساس گرما و ناراحتی خواهد کرد. و بالعکس در فصل تابستان باید اتاق را خنک‌تر از آنچه در آمریکا معمول می‌باشد و کتب آمریکایی توصیه می‌نماید، نگاه داشت. به‌طور کلی هر قدر ارتفاع مکان بیشتر باشد این دو تفاوت که در زمستان به‌نفع ما و در تابستان به‌ضرر ما تمام می‌شود، محسوس‌تر می‌گردد.

نظر به اینکه تهویه مطبوع در ایران نیز معمول شده است و برای مریض‌خانه‌ها و عمارات عمومی امر تقریباً ضروری می‌باشد، موضوع ارزش این را دارد که شرایط مطبوع مخصوص منطقه تهران را تعیین نماییم و همین معلومات را در طرح‌های تاسیسات تهویه مطبوع به‌کار بریم و اینک که فاقد وسایل تجربی مستقیم هستیم، به حساب و قیاس متوسل شویم.

تأثیر ارتفاع مکان در مقدار تبادل حرارت

ارتفاع مکان سبب رقیق شدن هوا یعنی تقلیل وزن مخصوص آن می‌گردد. از طرف دیگر یک قسمت مهم اتلاف یا تبادل حرارت ما بین بدن انسان و محیط خارج، در نتیجه تماس یا برخورد ذرات هوا به بدن (یا لباس) انسان می‌باشد. یعنی به‌اصطلاح معمولی، از طریق وزش حرارتی (convertion) بعمل می‌آید.

نظر به اینکه انتقال حرارت از طریق وزش حرارتی، متناسب با حاصل‌ضرب سرعت حرکت ذرات × وزن مخصوص × حرارت مخصوص (vpe) می‌باشد، سبکی هوا سبب تخفیف انتقال حرارت می‌گردد.

به‌طوری‌که هوای سبک کمتر ما را سرد می‌کند تا هوای سنگین و طاقت ما در هوای سبک بیشتر از هوای سنگین می‌باشد یا به عبارت اخری، هوای سبک را در زمستان لازم است کمتر گرم نماییم تا هوای سنگین (و بالعکس در تابستان).

محاسبه اختلاف درجات حرارت مطبوع برای ارتفاع تهران

نظر به‌اینکه اتلاف حرارت بدن انسان، از سه طریق مختلف به‌عمل می‌آید، لازم است سهم هر یک را جداگانه معین کرد. آن سه طریق عبارتند از:

۱- از راه تبخیر یا تعریق، مقدار این تبادل بستگی به‌درجه رطوبت هوا دارد.

۲- از راه تشعشع، مقدار این تبادل بستگی به‌درجه حرارت جدار و اطرافیان دارد.

۳- از راه وزش حرارتی، مقدار این تبادل بستگی به‌درجه حرارت و به‌وزن مخصوص هوا دارد.

در درجه رطوبت و حرارت معین مقدار تبادل اخیر در تهران که فشار هوا در حدود ۶۵۴ میلیمتر جیوه است، به‌نسبت :

$$۶۵۴ \div ۷۶۰ = ۸۶ \,٪$$

تبادلِ معمولیِ کنار دریا می‌باشد.

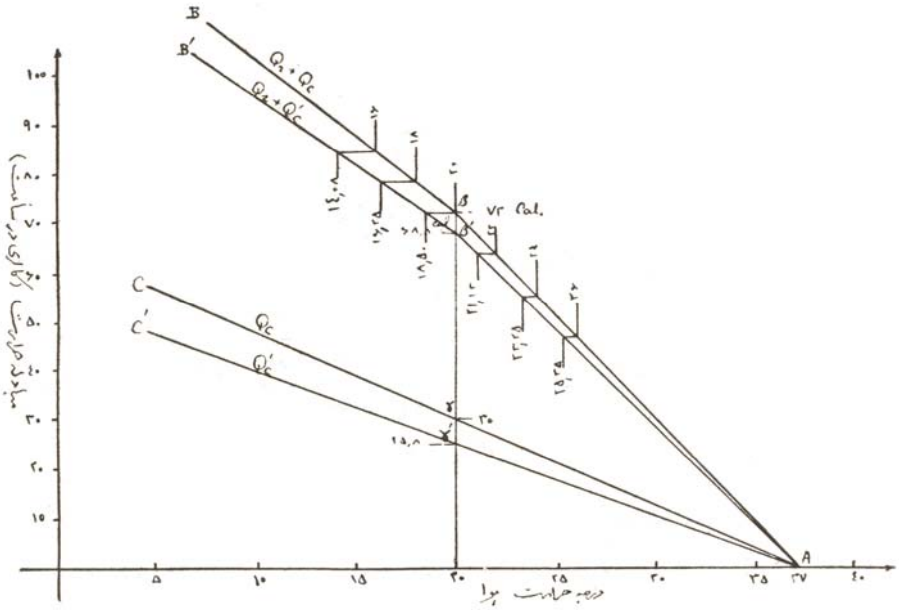
پس هرگاه در درجات حرارت مفروض، مقادیر تبادل حرارتی را که در ارتفاع دریا فقط از راه وزش حرارتی به‌عمل می‌آید از کل مقادیر تبادل شده موضوع کرده در نسبت ۰/۸۶ ضرب نماییم و حاصل ضرب را با دو مقداری که از راه تبخیر و تشعشع مبادله می‌شود مجددا جمع کنیم، مقدار کل مبادله حرارتی ما بین بدن و محیط برای ارتفاع تهران و در درجه حرارت مفروض به‌دست خواهد آمد.

برای این‌کار لازم است در هر درجه حرارت، مقدار تبادل مخصوص به وزش را بدانیم.

طبق منحنی مندرج در شماره ژانویه ۱۹۳۷ مجله فرانسوی «الکتریسته»، نمایش مقادیر حرارتی که بدن انسان طبعاً از راه تشعشع و وزش به‌خارج می‌دهد، خط شکسته AB می‌باشد که به‌ازاء ۲۰° حرارت مقدار آن ۷۳ کالری است. از طرف دیگر گفته شده است که در درجه حرارت ۲۰ و رطوبت ٪ ۲۵ که خود یکی از شرایط مطبوع معمولی زمستان می‌باشد، مبادلات حرارت ما بین بدن انسان و محیط خارج، بدین ترتیب تقسیم می‌شود:

تبخیر ، ۲۷ کالری در ساعت ،
تشعشع ، ۴۳ کالری در ساعت ،
وزش ، ۳۶ کالری در ساعت ،

بنابراین یکی از نقاط منحنی نمایش اتلاف حرارتی، از راه وزش نقطه γ است که طول آن ۲۰ درجه و عرضش ۳۰ کالری می‌باشد و چون اتلاف حرارت از راه وزش، متناسب با اختلاف درجه حرارت ما بین بدن و هوا است خط مستقیمی که نقطه γ را به نقطه A=۳۷ وصل نماید منحنی نمایش اتلاف مربوط به‌وزش در ارتفاع صفر خواهد بود. اینک کافی است عرض نقاط این خط یعنی Q_c را به‌نسبت ۰/۸۶ کوچک کنیم تا منحنی Q'_c که نمایش تبادل حرارت از راه وزش در ارتفاع تهران است ، به‌دست آید.



حال اگر عرض جمیع نقاط منحنی $Q_c + Q_r$ را که نمایش مجموع تبادل‌های حرارتی از راه وزش و تشعشع در ارتفاع صفر است، به‌اندازه اختلاف عرضی که ما بین نقاط هم طول Ac و ´Ac وجود دارد کم نماییم، خط شکسته ´AB به‌دست می‌آید و این خط، نمایش مجموع حرارت‌هایی خواهد بود که در ارتفاع تهران بدن انسان از راه تشعشع و وزش در درجات مختلف حرارت از دست می‌دهد.

از مقایسه دو منحنی AB و ´AB می‌توان تفاوت درجه حرارت‌های مطبوع تهران و درجه حرارت‌های مطبوع سطح دریا را به‌دست آورد. مثلاً اگر در ارتفاع دریا،

به‌ازاء درجه رطوبت معین h ، درجه حرارت مطبوع مربوط ۲۰ باشد برای آنکه در تهران بدن شخص همان احساس را بنماید، کافی است مقدار کالری مساوی از دست بدهد یعنی باید روی منحنی AB´ نقطه هم عرض نقطه ۲۰ درجه منحنی AB را جستجو نماییم. نقطه‌ای که به‌دست می‌آید به‌طول ۱۸/۵ درجه است... و قس علی‌هذا، برای درجات حرارت : ۱۴، ۱۶، ... ، ۲۶ .

یعنی به‌طور خلاصه:

در درجه رطوبت معین h، ١٦درجه حرارت کنار دریا، معادل ١٤/٠٨ درجه تهران می‌باشد.

در درجه رطوبت معین h، ۱۸ درجه حرارت کنار دریا، معادل ١٦/٢٥ درجه تهران می‌باشد.

در درجه رطوبت معین h، ۲۰ درجه حرارت کنار دریا معادل ۱۸/۵۰ درجه تهران می‌باشد.

در درجه رطوبت معین h، ۲۲ درجه حرارت کنار دریا معادل ۲۱/۱۳ درجه تهران می‌باشد.

در درجه رطوبت معین h، ٢٤ درجه حرارت کنار دریا معادل ۲۳/۲۵ درجه تهران می‌باشد.

در درجه رطوبت معین h، ٢٦ درجه حرارت کنار دریا معادل ۲۵/۳۵ درجه تهران می‌باشد.

به‌این ترتیب ارتفاع تهران باعث می‌شود که زمستان‌ها ۱/۵ الی ۲/۰ درجه اتاق را کمتر از معمول اروپا گرم نماییم و تابستان‌ها ۰/۷۵ تا ۱ درجه بیشتر خنک کنیم. آن وقت با در نظر گرفتن اینکه اختلاف درجه حرارت داخل و خارج مکان در زمستان عادتاً ۲۰ و در تابستان ۱۰ می‌باشد، معلوم می‌شود که از این راه، زمستان‌ها ٪ ۷/۵ در ظرفیت دستگاه گرمایش و مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌نماییم و تابستان‌ها ٪ ۷/۵ در ظرفیت دستگاه خنک کننده و در مصرف کیلو وات ضرر می‌بریم.

آبان ۱۳۲۶، مهندس مهدی بازرگان در پُست ریاست دانشکده فنی،
به همراه جمعی از استادان دانشکده و مهمانان انگلیسی دانشکده
ردیف جلو از راست به چپ: آقای فولادوند، مستر بارت،
مهندس بازرگان، مستر جاکوب، دکتر حایری
ردیف عقب از راست به چپ: مهندس جلالی، مهندس اصفیاء،
دکتر ضیایی، مهندس رجبی.

خشک کردن هوا
و
تقطیر بخارها به طریق ترمودینامیک*

* * *

Séchage Thermodynamique - Distillation Thermodynamique

سوابق

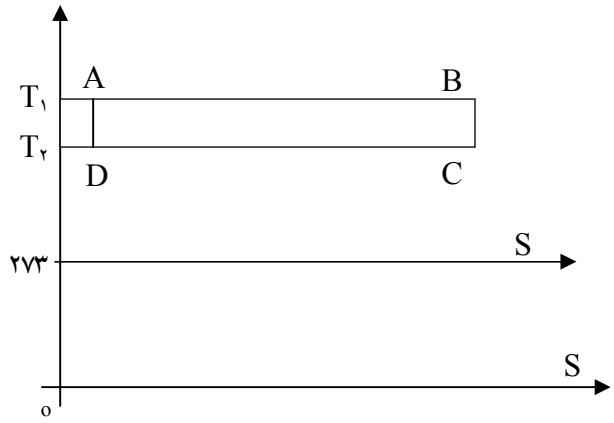
کمتر کسی است که ترمودینامیک خوانده و نام کارنو را نشنیده باشد. کارنو نه تنها اولین واضع اصول ترمودینامیک شناخته شده است بلکه ماشین پیشنهادی او با تمام سادگی و فرضی بودن، اساس بسیاری از مباحث علمی و موارد استعمال صنعتی ترمودینامیک را تشکیل می‌دهد.

نمایش مدار کارنو به‌طوری‌که می‌دانید یک چهار ضلعی بیش نیست و در مشخصات آنتروپیک به‌صورت بسیار ساده مربع مستطیل در می‌آید ولی در عمل، به‌آن کم و بیش تغییر شکل می‌دهند. با همه این اوصاف، مدار کارنو در تماشاخانه ترمودینامیک، مانند هنرپیشه‌ای است که تقریباً در تمام سن‌ها و هر دفعه برای ایفای نقش تازه‌ای ظاهر می‌شود. منتها در هر زمان، یک وجهی از خود را نشان می‌دهد:

---

* این اثر از «مجله صنعت» ، نشریه کانون مهندسین، شماره ۸ ، صص ۱ تا ۵ ، اسفند ۱۳۲۷ و شماره ۹ ، صص ۲۴ تا ۲۸ ، اسفندماه ۱۳۲۸ ، نقل شده و با مختصری ویرایش تقدیم علاقه‌مندان می‌گردد.

شکل ۱- مدار کارنو در مختصات آنتروپیک



در ماشین‌های بخار که مبداء پیدایش و پرورش مدار کارنو بوده است تمام توجه به‌ضلع قائم BC و یا انبساط آدیاباتیک بخاری است که طی ضلع AB تشکیل می گردد.

در موتورهای احتراق داخلی، یعنی در دومین صحنه نمایش این مدار و همچنین در توربین‌های گاز که جدیدترین نمونه از ماشین‌های حرارتی به شمار می‌روند، اگر چه اضلاع AB و CD ایزوبارهای غیر ایزوترم هستند، ولی باز منابع گرم و سرد در بین می‌آید و توجه سازنده و خریدار معطوف انبساط قائم BC است.

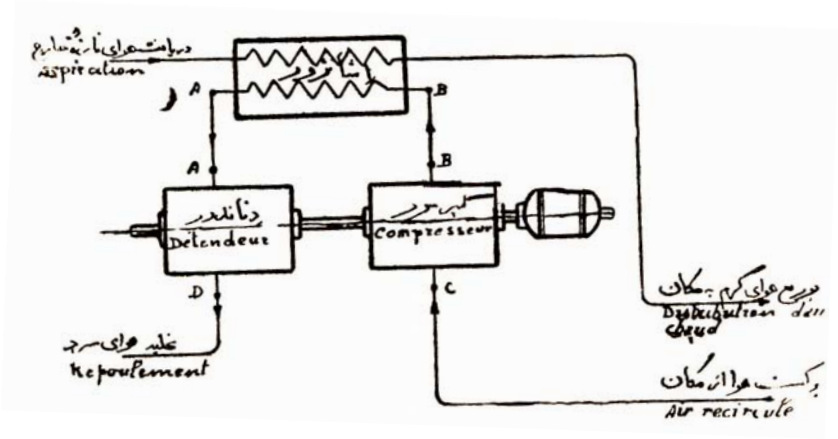
در ماشین‌های مبرد، با وجود انواع بسیار متفاوت و سیال‌های مختلفی که به‌کار برده می‌شود مدار عمل همان مدار کارنو است ولی جریان سیال در جهت عکس انجام می‌شود و علاقه ما بیشتر متوجه به‌ضلع $\overrightarrow{DC}$ است.

تهیه هوای مایع که به‌وسیله استخراج اکسیژن و ازت، و مقدمه صنایع کثیری می‌باشد، میدان جدیدی است که جولانگاه همان پهلوان قرار گرفته و قطرات اکسیژن و ازت در انتهای ضلع $\overrightarrow{AD}$ ظاهر می‌شوند.

از سنوات نزدیک به‌جنگ اخیر، طریقه جدیدی برای ایجاد حرارت «به‌اصطلاح ما گرمایش یا Chauffage»، ابداع شده است که تکرار دیگری از مدار کارنو است و نتیجه حاصله در عین آنکه به‌ظاهر مخالفت علنی و نقض اصل اول ترمودینامیک را می‌نماید، در حقیقت بهترین مؤید اصول ترمودینامیک و مخصوصاً شاهد محسوس اصل دوم می‌باشد. نام این طریقه را گرمایش ترمودینامیک (chauffage thermodynamique) گذارده‌اند. بدین وسیله با صرف یک کیلو وات ساعت که معادل ۸۶۵ کالری است،

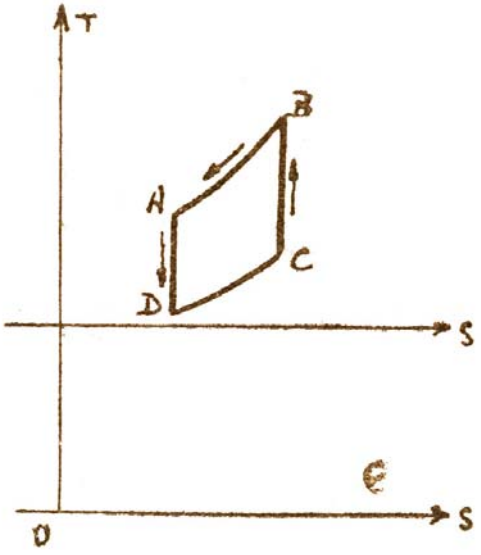
به‌اندازه ۲ تا ۴ برابر آن یعنی ۱۷۵۰ تا ۳۴۰۰ کالری حرارت ایجاد می‌نمایند. طریقه ترمودینامیک با تمامِ نوظهوری و شگفت‌انگیزی، چیز تازه‌ای نیست؛ یک ماشین مبرد یا مدار کارنویی که عوض ضلع $\overrightarrow{DC}$ ضلع $\overrightarrow{BA}$ در آن مورد توجه و استفاده قرار گرفته باشد.

شکل ۲- شمای دستگاه گرمایش ترمودینامیک



حرارتی که جسم سیال (هوا ، بخار آب یا بخارهای دیگر) در طی ضلع $\overrightarrow{DC}$ از منبع سرد (آب رودخانه یا هوای جو) دریافت می‌دارد، با معادل حرارتی کار کمپرسور

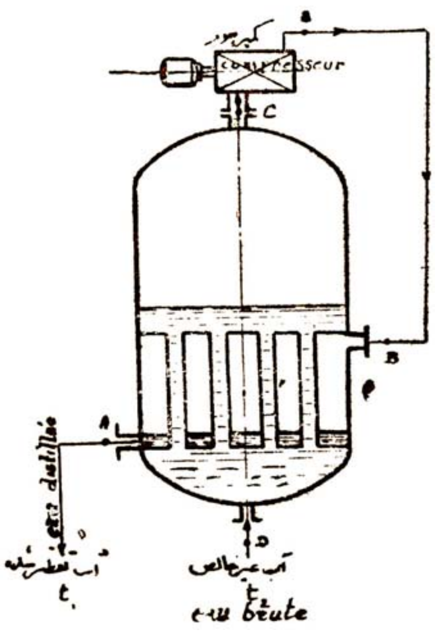
شکل ۳- نمایش مدار گرمایش ترمودینامیک با هوا

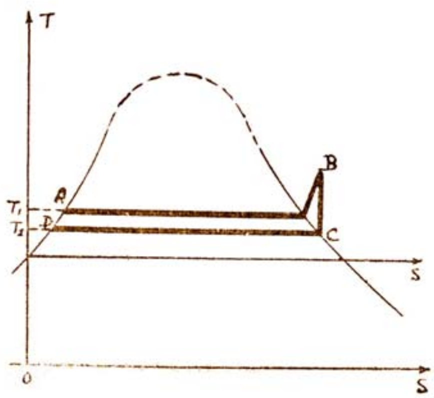


که ضمن $\overrightarrow{CB}$ داده می‌شود جمع شده به‌مقدار معادل سطح زیر $\overrightarrow{BA}$ عاید ما می‌گردد. طبیعی است که اگر درجه حرارت مطلوب T_1 نزدیک به T_2 اختیار شود (عملاً نیز چنین است) سطح زیر BA، یعنی استفاده حرارتی ما از دستگاه چندین برابر مساحت مربع مستطیل ABCD ، یعنی کاری که به مجموعه کمپرسور- دتاندور داده می‌شود، در می‌آید. لطف این طریقه که اخیراً شاهد مثال‌های صنعتی و خانگی چندی پیدا کرده است نیز در همین نکته است. تنها عیبی که دارد طول و تفصیل دستگاه و احتیاج آن به‌وجود اعضای دینامیک مانند کمپرسور و دتاندور است که فقط در تأسیسات مهم صنعتی ارزش پیدا می‌کند.

یک مورد استعمال مخصوص گرمایش ترمودینامیک که قبل از اختراع خودِ آن و برای منظوری غیر از گرمایش ابداع شده است، در اسباب تهیه آب مقطر به‌نام Evaporateur Bouillon et Prache دیده می‌شود. اساس عمل، باز همان مدار کارنو است که دو ضلع ایزوترم آن بهم مربوط شده و دو منبع گرم و سرد تبدیل به یک مبادل «اشانژور» گردیده‌اند.

شکل ٤ اسباب تقطیر آب با کمپرسور مکانیک و نمایش مدار آن شکل ٥





خشکاندن گازها به طریق ترمودینامیک

طریقه ترمودینامیکی که برای خشک کردن هوای مرطوب با استخراج آب از هوای جو و همچنین برای تقطیر مخلوط‌های بخار، در این مقاله تشریح می‌شود. از این لحاظ که رژه جدیدی از عناصر چهارگانه مدار کارنو است و باز کمپرسور ودتاندور و اشانژور در بین می‌آیند، هیچ‌گونه تازگی ندارد ولی از این لحاظ که هدف و سبک عمل غیراز موارد دیگر است شاید تازگی داشته باشد. ضمناً از آنجایی‌که همیشه میان تشخیص هدف و وصول به مقدار غالباً پستی و بلندی و پیچ و خم زیاد در راه پیش می‌آید، ممکن است عملی شدن این طریقه هم آزمایش‌ها و مساعی دشواری را لازم داشته باشد و شاید مزایای فرضی آن بر مشکلات و اتلافات واقعی فایق نیاید... در هر حال فعلا بحثی است که از لحاظ نظری خالی از فایده نمی‌باشد.

طرز عمل

هوای جو همیشه محتوی مقداری بخار آب است که در پاره‌ای موارد «مثلاً برای خشکاندن اشیاء مرطوب و یا برای تهویه مطبوع و غیره» لازم است تمام یا قسمتی از آن را گرفت. برای خشکاندن محصولات و مصنوعات مختلف آنجایی‌که گرم‌کردن زیان نرساند «بلکه مفید هم باشد»، هوا را گرم می‌نماید. به‌این ترتیب بدون آنکه در مقدار رطوبت یا وزن بخار آب موجود در هوا تغییری عارض شود خشکی آن بالا می‌رود. در مواردی که نخواهند درجه حرارت هوا بالا رود و مخصوصاً وقتی منظور نهایی خنک کردن هوا باشد، طریقه گرمایش ساده البته جایز نیست. باید از مقدار رطوبت کاست. گاهی اوقات به‌اجسام نم‌گیر (جاذب الرطوبه) مانند سیلیکوژل «Silico - gel» که رسوب متخلخلِ سیلیس خالص است، متوسل می‌شوند و بخار آب را از راه جذب ذره‌ای « adsorption » جدا می‌نمایند. در داخل خُلل و فرج سیلیس یک عمل تقطیر آدیاباتیک بخار آب رخ می‌دهد و هوا گرم می‌شود. طریقه معمول‌تر خنک کردن هوا به‌وسیله آب سرد یا محلول‌های مبرد و غیره است. در هر حال، هر دو طریق محتاج به عامل مولد برودت یعنی آب مبرد طبیعی و یا ماشین مبرد می‌باشند.

در طریقه ترمودینامیک که مورد بحث است و خیلی شبیه به‌گرمایش ترمودینامیک می‌باشد، بخار آب هوا بدون استعانت منبع حرارتی یا برودتی، گرفته می‌شود و به اختیار ممکن است هوای خشک شده را گرم‌تر یا سردتر از هوای اولیه نمود. مصرف

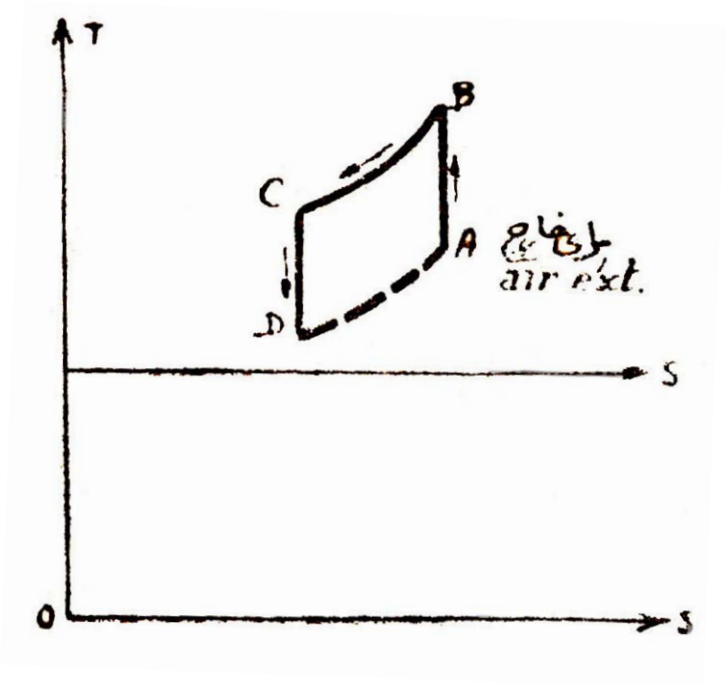
دستگاه مانند گرمایش ترمودینامیک انرژی مکانیک خواهد بود ولی البته به‌مقداری که از برابر مکانیک مصرف طریقه‌های مستقیم حرارتی و برودتی کمتر باشد.

چنانچه هوای جو را در معرض یک مدار کلاسیک $\overrightarrow{ABCD}$ «شکل» که همان مدار ماشین‌های مبرد با گاز یا تلمبه‌های برودتی است، قرار دهیم وقتی بعد از تراکم آدیاباتیک AB و تبرید ایزوبار BC و انبساط آدیاباتیک CD به‌نقطه D رسیدیم چون درجه حرارت سقوط فاحش کرده است چنانچه از درجه شبنم یعنی :

(Point de rosée = Point - Dew)

رد شده باشیم، قسمت اعظم بخار آب تقطیر و جدا خواهد گشت.

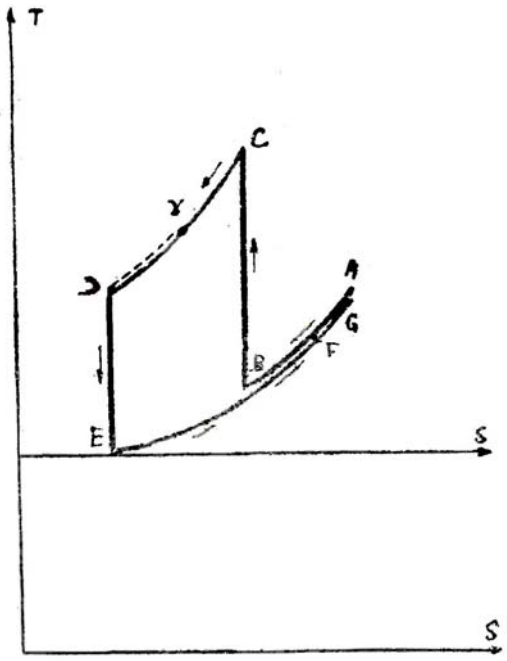
شکل ٦- مدار ماشین‌های مبرد یا تلمبه‌های برودتی با گاز



این طرز عمل که یکی از وسایل معمولی تهیه هوای خنک است در عین حال طریقه خشک‌کردن هوا نیز محسوب می‌شود ولی چون انرژی مصرفی معادل مساحت داخلی مدار ABCD خواهد بود، اگر منظور فقط خنک کردن هوا باشد مقرون به صرفه در نمی‌آید.

گاهی اوقات نیز به منظور خشکاندن هوا ایزوبار BC را زیر ایزوبار DA می‌گیرند یعنی هوا را اول منبسط و بعد متراکم می‌نمایند[۱]؛ در این صورت باید به‌وسیله دیگری برودت در اختیار داشت.

شکل ۷- مدار خشگانیدن هوا به‌طریق ترمودینامیک



برای رسیدن به نقطه D شکل ۶ و تخفیف در مصرف انرژی، طریقه‌ای که پیشنهاد می‌شود طبق مدار مندرج در شکل ۷، شامل ۵ مرحله زیر است:

۱- بترید ایزوبار هوای جو از A تا B،

۲- تراکم آدریاتیک BC،

۳- بترید ایزوبار CD «تحت فشار بالای جو»،

۴- انبساط آدیاباتیک DE

۵- گرمایش ایزوبار هوای انبساط یافته «از E تا F» برای سردکردن هوای ورودی به‌کمپرسور و ادامه گرمایش ایزوبار «از F تا G» برای سرد کردن هوای ورودی به

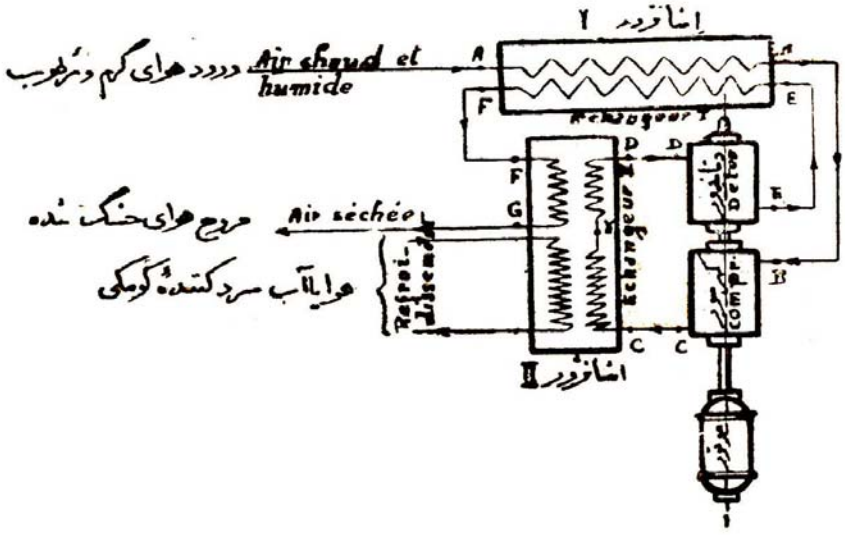
۱. به مجله « The Engineer »، شماره ۴۷۷۸، مورخ ۲۲ اوت ۱۹۴۷، رجوع شود.

دتاندور (مقدمه تبرید هوای ورودی به دتاندور «C تا γ» در مجاورت هوای جو یا آب خارجی، صورت خواهد گرفت).

قهری است که به این ترتیب چون نقطه B به E نزدیک شده است مساحت داخلی مدار که معرف انرژی مصرفی می‌باشد، کوچک‌تر از طریقه سابق که کلاسیک است «شکل ۶»، در می‌آید و به طوری‌که ذیلاً معلوم خواهد شد اگر سطح اسباب‌های تبادل حرارت، بی‌نهایت باشد حد مصرف انرژی صفر خواهد بود.

شمای دستگاه مطابق شکل ۸ تعبیه می‌شود. در اینجا نیز مانند دستگاه گرمایش ترمودینامیک، احتیاج به‌وجود یک کمپرسور و یک دتاندور سرهم داریم و دو اشانژوری که به‌کار برده می‌شود، مجموع سطوح آنها که باید به اندازه مساحت‌های زیر AB و CD «شکل ۶» تبادل حرارت کند در نمی‌آید.

شکل ۸- شمای دستگاه خشکاندن هوا به طریق ترمودینامیک



فاصله‌ای که مابین نقاط E و B «شکل ۷»، از یک طرف و نقاط F و A از طرف دیگر قایل شده‌ایم، برای تأمین اختلاف درجه حرارتی است که ناگزیر در اشانژورها باید ما بین سیال سردکننده و سیال سردشونده وجود داشته باشد. البته هر قدر سطح تبادل اشانژورها را بیشتر بگیریم این اختلافات یا فاصله B و E را می‌توان کوچک‌تر گرفت و در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود.

طرز محاسبه

برای سادگی بیان فرض می‌کنیم روش دستگاه طبق مدار نظری یعنی به طور کامل و بدون اصطکاک و اتلاف صورت گیرد. سردترین حالت هوا را که در آن منتهای تقطیر بخار آب باید به‌عمل آید، حالت اشباع صفر درجه می‌گیریم «نقطه E» و فرض می‌کنیم هوای متراکم شده قبل از ورود تاندور «نقطه D»، تا حدودی درجه حرارت هوای خارج سرد شده باشد ($T_D = T_A = T_O$) و خروج هوا از دستگاه عیناً به همان درجه حرارت هوای ورودی صورت گیرد ($T_C = T_O$) هوای انبساط یافته تقطیر شده، نظیر نقطه E ، ابتدا به‌طوری‌که در شکل‌های ۷ و ۸ ارایه شده است در اشانژور شماره ۱ ، هوای ورودی را خنک و تا اندازه‌ای تقطیر می‌نماید. و موقعی که از اشانژور نامبرده خارج می‌شود «نقطه F»، هنوز به‌قدر Δ درجه، از هوای ورودی خنک‌تر است. این هوای انبساط یافته خشک، باقی‌مانده برودت خود را در اشانژور شماره ۲ به هوای متراکم شده «نقطه γ» می‌دهد.

به‌طور خلاصه با طرز عملی که در نظر گرفته شده است، دستگاه فقط دارای یک پارامتر می‌شود که به اختیار ما گزارده شده و آن $\Delta = T_A - T_F$ است. مقدار حرارتی که هوای ورودی در نتیجه سردشدن از حالت A تا حالت B ، از دست می‌دهد معادل است با مقدار حرارتی که هوای خشک و سرد نظیر نقطه E را به حالت نظیر نقطه F می‌رساند. هرگاه حرارت‌های همراه با یک کیلوگرم هوای خشک را q به‌نامیم چنین خواهیم داشت : $q_A - q_B = q_F - q_E$ مقادیر حرارت‌های q را روی ترسیمه‌های رطوبی (Diagrammes Psychrometriques) باید قرایت نمود[1].

از رابطه فوق q_B و بنابراین مشخصات نقطه B به‌دست می‌آید:

$$q_B = q_A - (q_F - q_E)$$

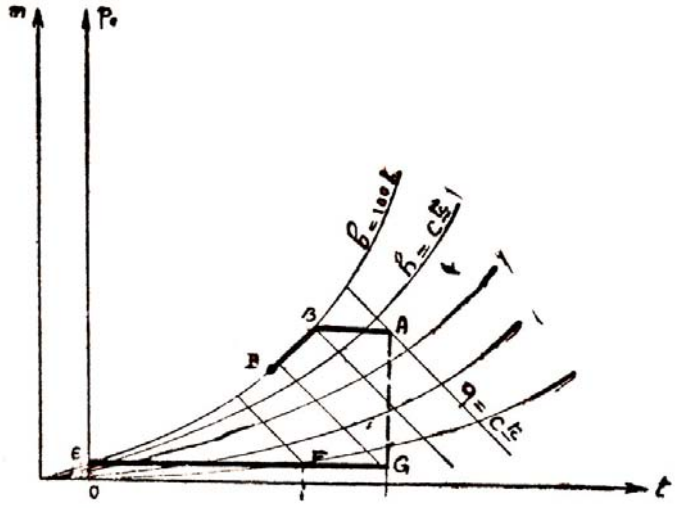
نظر به اینکه BC و DE دو آدیاباتیکی هستند که ما بین دو ایزوبار مشترک قرار گرفته‌اند، نسبت زیر در باره درجات حرارت و فشارهای مربوطه صدق می‌کند.

$$\frac{T_C}{T_B} = \frac{T_D}{T_E} = \left(\frac{P_C}{P_B}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

---

۱. رجوع شود به مجله صنعت شماره ۳ صفحه ۳۶.
اشاره مؤلف فقید به مقاله «دیاگرام عمومی برای گازها و برای هوای مرطوب» است که در صفحات ۳۲ تا ۴۱ مجله مذکور چاپ شده و اکنون دومین اثر مندرج در همین مجموعه آثار می‌باشد (ب.ف.ب) .

شکل ۹- یک نمونه ترسیمی رطوبی



نقطه A معرف هوای خارج است.
نقطه E روی منحنی h= ۱۰۰٪ به‌درجه حرارت t = o قرار گرفته.
نقاط F و G ، هم‌عرض نقطه E ، یعنی دارای همان مقدار رطوبت m می‌باشند.
و درجات حرارت آنها به ترتیب $T_o - \Delta$ و T_o است.

از این رابطه اولاً درجه تراکم کمپرسور معلوم می‌شود و ثانیاً درجه حرارت بعداز تراکم ، یعنی T_C

$$T_C = T_B \times \frac{T_D}{T_E}$$

یا :

$$T_C = T_B \times \frac{T_o}{۲۷۳}$$

اینک که T_C معلوم شد، می‌توانیم کار دریافتی کمپرسور W_C و کار مصرفی دستگاه را به‌ازاء یک کیلوگرم هوای خشک یا W که تفاضل کار دریافتی کمپرسور از کار تولیدی دتاندور است، حساب کنیم:

$$W_C = JC\ (T_C - T_B)$$

$$W = JC\ |(T_C - T_B) - (T_D - T_E)|$$

C حرارت مخصوص یک کیلوگرم هوا ، تحت فشار ثابت می‌باشد (C =۰/۲۴).
عبارت W را می‌توان بدین طریق ساده نمود :

$$W = JC \mid T_B \left(\frac{T_C}{T_B} - ۱\right) - T_E \left(\frac{T_D}{T_E} - ۱\right) \mid$$

و چون $\frac{T_C}{T_B} = \frac{T_D}{T_E}$ است ، پس :

$$W = JC \mid (T_B - T_E) \left(\frac{T_D}{T_E} - ۱\right) \mid$$

$$W = JC \mid t_B \left(\frac{T_o}{۲۷۳} - ۱\right) \mid$$

$$W = JC \mid t_B \times \frac{T_o}{۲۷۳} \mid = \frac{۴۲۷ \times ۰/۲۴}{۲۷۳} \times t_B \times t_o$$

$$T = ۰/۳۷۶\ t_B \times t_o \text{ kgm kg oi see} \qquad (۲)$$

از طرف دیگر این مقدار انرژی معادل است با حرارتی که در اشانژوز شماره ۲، به‌خارج داده می‌شود، منهای تنزل حرارت هوا ، در نتیجه عبور از اسباب :

$$W = J \mid q_H - (q_A - q_G) \mid$$

پس به طور خلاصه، برای محاسبه دستگاه، بعد از آنکه راجع به اختلاف درجه حرارت Δ تصمیم گرفتیم، باید با استفاده از ترسیمه‌های رطوبی هوا و به‌استعانت فرمول (۱) ، نقطه B و یا t_B را تعیین کرد. آن وقت فرمول (۲) مقدار کار مصرفی را خواهد داد.

مثال ۱- فرض کنیم هوای ورودی دارای شرایط زیر باشد که شبیه به شرایط روزهای آفتابی مناطق گرم و مرطوب ایران است :

A	$t_o = ۴۵^{\circ}c$	درجه حرارت
	$h_o = ۳۰\ ٪$	درجه رطوبت
	$q = ۲۱/۲۰$ cal/kg	مقدار حرارت
	$m = ۱۸/۲۰$ gr/kg	مقدار رطوبت

اختلاف درجه حرارت ابتدای اشانژور را $\Delta = ۵^{\circ}c$ می‌گیریم. با مراجعه به منحنی‌های رطوبی کلاسیک ، برای نقاط E و F چنین خواهیم داشت :

E	$t = ۰$ $h = ۱۰۰\ ٪$ $q = ۲/۲۰$ $m = ۳/۷۰$	(به‌طور ثابت و دایم)	F	$t = t_o - \Delta = ۴۵^{\circ}$ $m = m_E = ۳/۷۰$ $h =$ $q = ۱۱/۷۰$

بنا به فرمول (۱) ، برای نقطه B چنین داریم :

$$q_B = q_A - (q_F - q_E) = ۲۱/۲۰ - (۱۱/۷۰ - ۲/۲۰) = ۱۱/۷۰$$

این مقدار q را که روی منحنی‌های رطوبی ببریم، مختصات نقطه B به‌دست می‌آید.

B	$q = ۱۱/۷۰$ $h = ۱۰۰\ ٪$ $t = ۱۷/۸۰^{\circ}c$ $m = ۱۲/۷۰$

بنابراین هوای ورودی ۴۵° درجه حرارت، موقعی که وارد اشانژور می‌شود با هوای ۴۰° مصادف می‌شود ولی در موقع خروج از اشانژور با هوای صفر درجه مصادف بوده و خود به درجه حرارت متوسط ۱۷/۸۰ می‌رسد به‌طوری‌که اختلاف درجه حرارتِ متوسطِ اسباب می‌شود :

$$\Delta_m = \frac{\Delta_o - \Delta}{\mathrm{Log}\Delta_o - \mathrm{Log}\Delta} = ۹/۲۰^{o}$$

مقدار مصرف انرژی دستگاه برای هر کیلوگرم هوای خشک و رطوبت محلول در آن ، برابر می‌شود با :

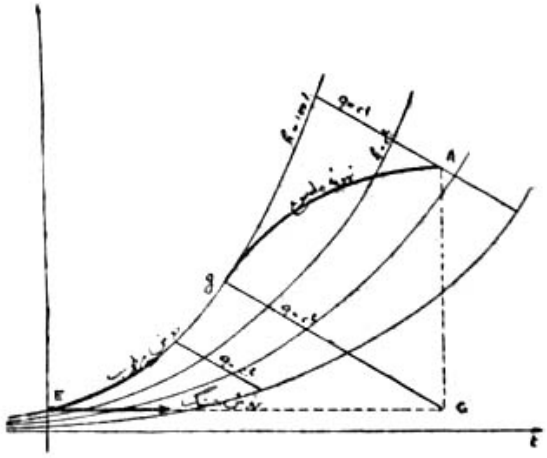
$$W = ۰/۳۷۶ \times ۱۷/۸۰ \times ۴۰ = ۳۰۰\ \mathrm{kgms} = ۰/۷۰۵\ \mathrm{cal}$$

نظر به‌اینکه هر Kg هوا به‌اندازه $m_A - m_G$ =۱۸/۲۰ − ۳/۷۰ =۱۴/۵ gr رطوبت و به اندازه $q_A - q_a$ =۲۱/۲۰ − ۱۲/۸۰ = ۸/۴۰ cal حرارت از دست می‌دهد، مصرف واحد دستگاه $\frac{۰/۷۰۵}{۱۴/۵}$ = ۰/۰۴۹ کالری به‌ازای هر یک گرم رطوبت دریافتی و $\frac{۰/۷۰۵}{۸/۴۰}$ =۰/۰۸۴ کالری به ازای هر کالری برودت حاصله می‌باشد . یعنی ضریب هزینه دستگاه برابر ٪ ۸/۴ و راندمان آن $\frac{۱۰۰}{۸/۴}$ =۱۱۹۰٪ یا نزدیک به ۱۲ برابر می‌باشد. البته چون مصرف دستگاه، انرژی مکانیک می‌باشد، حقاً بایستی این نسبت ۱۲ را در راندمان ماشین‌های مولد نیرو یعنی مثلاً در ٪ ۲۵ که راندمان واقعی است ضرب نمود. به این ترتیب، عدد ۳ به‌دست می‌آید یعنی برای تولید ۱۲ فریگوری برودت در هوا، ۱ کالری انرژی مکانیک و یا ۴ کالری انرژی حرارتی مصرف شده است.

روش مرطوب (برای تهویه مطبوع)

چنانچه منظور از خشکاندن هوا پایین آوردن درجه رطوبت و همچنین خشک کردن آن جهت تهیه هوای مطبوع باشد به‌طوری که می‌دانیم این عمل در اسباب‌های کلاسیک تهویه مطبوع از راه پاشاندن غبار آب سرد به داخل هوا تأمین می‌شود و معرف حالت نهایی هوا ، نقطه‌ای مانند g (شکل ۱۱) خواهد بود. نقطه g در اینجا با نقطه G سابق (اشکال ۸ و ۱۰) از حیث حرارت ممکن است یکسان باشد ولی درجه رطوبت نقطه g ، ٪۱۰۰ و یا نزدیک به اشباع می‌باشد.

شکل ۱۱- مدار تهویه مطبوع



بنابراین چنانچه بخواهیم طریقه ترمودینامیک مورد بحث را در تهویه مطبوع استعمال نماییم می‌توانیم هوای اشباع صفر درجه نظیر نقطه E را که سابقاً با رطوبت ثابت در داخل آشانژور شماره ۱ گرم می‌شد به وسیله‌ی غبار آب دایماً به حال اشباع نگاه داریم تا در ضمن کسب حرارت از هوای ورودی به دستگاه ، به عوض اینکه به نقطه G برسد منحنی h=۱۰۰٪ را طی کرده به سمت همان نقطه‌ی مطبوع g برود (شکل ۱۱). این طرز عمل را روش مرطوب می‌نامیم و صرفه‌ای که بالنسبه به روش خشک دارد در این است که اختلاف درجه حرارت آشانژور شماره ۱ مابین سیال سردکننده ($\overrightarrow{Eg}$) و هوای سرد شوند ($\overrightarrow{AB}$) به مراتب بیشتر بوده ، سطح آشانژور کوچک‌تر در می‌آید. ضمناً ممکن است همان طور که در ماشین‌های مبرد معمول می‌باشد تمام حرارت منبع گرم (CD در شکل ۱) را به آب خارج بدهیم و حالت نظیر نقطه g در همان اشانژور شماره ۱ حاصل شود.

مثال ۲ : هوای خارج مانند مثال ۱ فرض می‌شود.

$$A\begin{cases} t = ۳۲^{\circ}C \\ h = ۸۰\ ٪ \\ q = ۲۱/۵ \\ m = ۲۴ \end{cases}$$

مشخصات نقطه g که هم حرارت نقطه G سابق و به درجه رطوبت ۱۰۰٪ انتخاب می‌شود بنا به منحنی‌های رطوبی چنین می‌باشد :

$$g\begin{cases} q = ۹/۸۰ Cal. \\ h = ۱۰۰\ ٪ \\ t = ۱۵^{\circ}c. \\ m = ۱۷/۶ gr. \end{cases}$$

حرارت نقطه B بنا به فرمول (۱) و با در نظر گرفتن اینکه در اشانژور اول E به g می‌رسد :

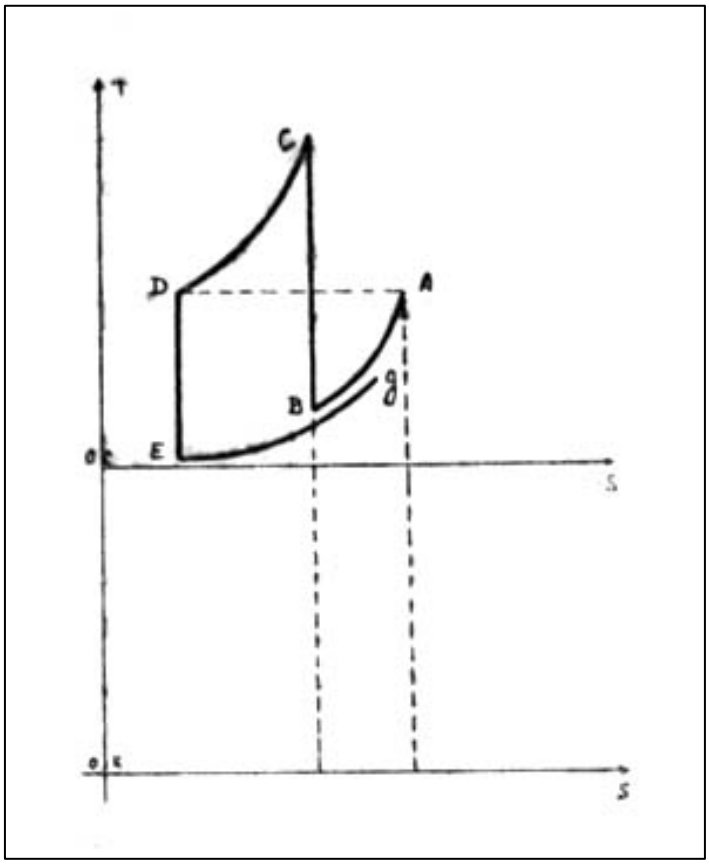
$$q_B = q_A - (q_g - q_E) = ۲۱/۵ - (۹/۸۰ - ۲/۲۰) = ۱۳/۹$$

$$B\begin{cases} q = ۱۳/۶ \\ h = ٪۱۰۰ \\ t = ۲۰/۸۰ \\ m = \end{cases}$$

اختلاف درجه حرارت متوسط اشانروژ :

$$\Delta_m = \frac{(t_B - t_E) - (t_A - t_g)}{\text{Log}(t_B - t_E) - \text{Log}(t_A - t_g)} = ۱۹$$

شکل ۱۲- مدار روش مرطوب



انرژی مصرفی :

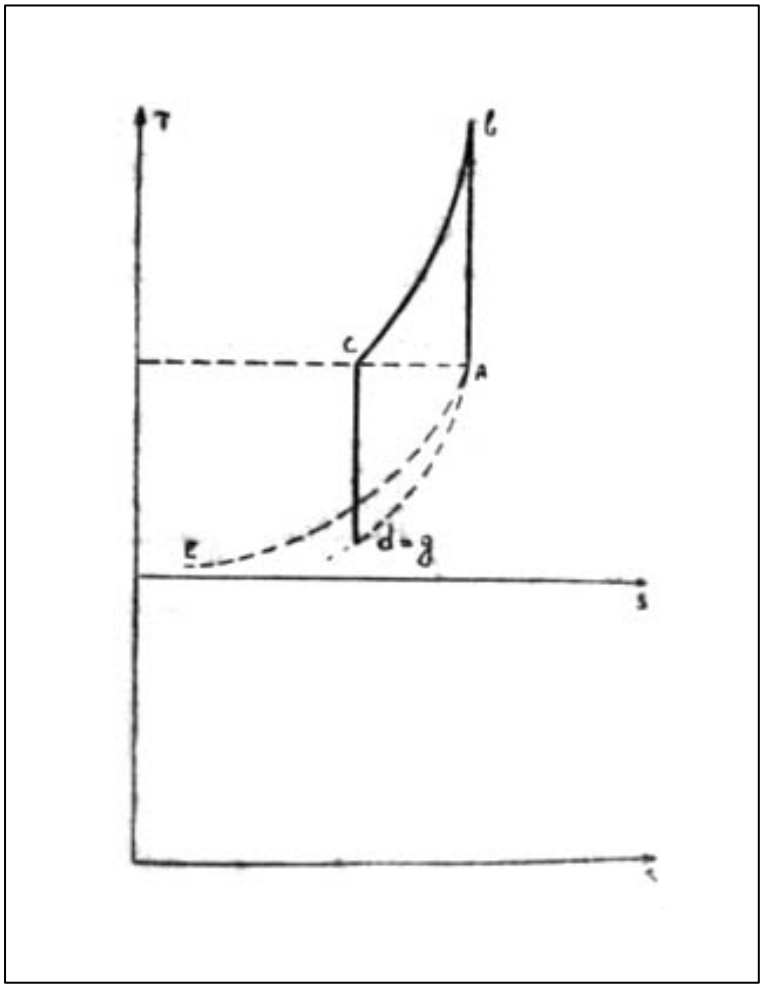
$$W = ۰/۳۷۶\ t_B t_o = ۰/۳۷۶ \times ۲۰/۸۰ \times ۳۲ = ۲۵۱\ ^{Kgm} = ۰/۵۸۸\ Cal$$

این عمل یعنی رسیدن به نقطه g را اگر می‌خواستیم مستقیماً در یک دستگاه تلمبه‌ی برودتی کلاسیک انجام دهیم مدار به صورت Abcd (شکل ۱۳) در می‌آمد

که مختصات d همان مختصات g باشد. ولی نظر به اینکه در طی مدار Abcd و مخصوصاً در قسمت bc و cd آن پدیده تقطیر رخ می‌دهد. برای محاسبه مساحت مدار با مصرف انرژی مربوطه اگر بخواهیم فرمول ساده گازهای ساده یعنی :

$$W = JC\,[(T_b - T_A) - (T_C - T_d)] = JC\frac{(T_\circ - T_d)^2}{T_d}$$

شکل ۱۳- مدار تلمبه برودتی با هوای اشباع



را به‌کار بریم لازم است فرض نماییم در ضمن مدار موقتاً هیچ‌گونه تقطیری رخ نخواهد داد و حرارتی که قاعدتاً می‌بایستی برای تبدیل شدن بخار به آب از مخلوط گرفته شود صرف خنک‌کردن آن گردد و درجه حرارت نقطه d کمتر از درجه حرارت نقطه g باشد.

به عبارت اخری درجه حرارت T_d را طوری حساب کنیم که اگر در آن حالت تمام (m_A-m_g) گرم بخار آب موجود به صورت آب درآید حرارت حاصله از تقطیر هوای باقی مانده را به درجه حرارت واقعی T_g برساند. یعنی :

$$۰/۲۴\ (T_g-\ T_d) = \frac{m_A - m_g}{۱۰۰۰}\ (۶۰۶/۵ - ۰/۶۹۵t_g)$$

یا :

$$T_d = T_g - \frac{(m_A - m_g)(۶۰۶/۵ - ۰/۶۹۵t_g)}{۲۴۰}$$

به این ترتیب در مورد مثال نامبرده (مثال ۲) ، T_d چنین خواهد شد :

$$T_d = (۱۵ + ۲۷۳) - \frac{(۲۴ - ۱۰/۶)(۶۰۶/۵ - ۰/۶۹۵ \times ۱۵)}{۲۴۰} = ۲۷۳ - ۱۸/۲ = ۲۵۴/۸$$

و مصرف انرژی مساوی با :

$$W = JC\frac{(T_۰ - T_d)^۲}{T_d} = ۴۲۷ \times ۰/۲۴ \frac{(۳۲ + ۱۸/۲)^۲}{۲۵۴/۸} = ۱۰۱۴Kgm = ۲/۳۸Cal.$$

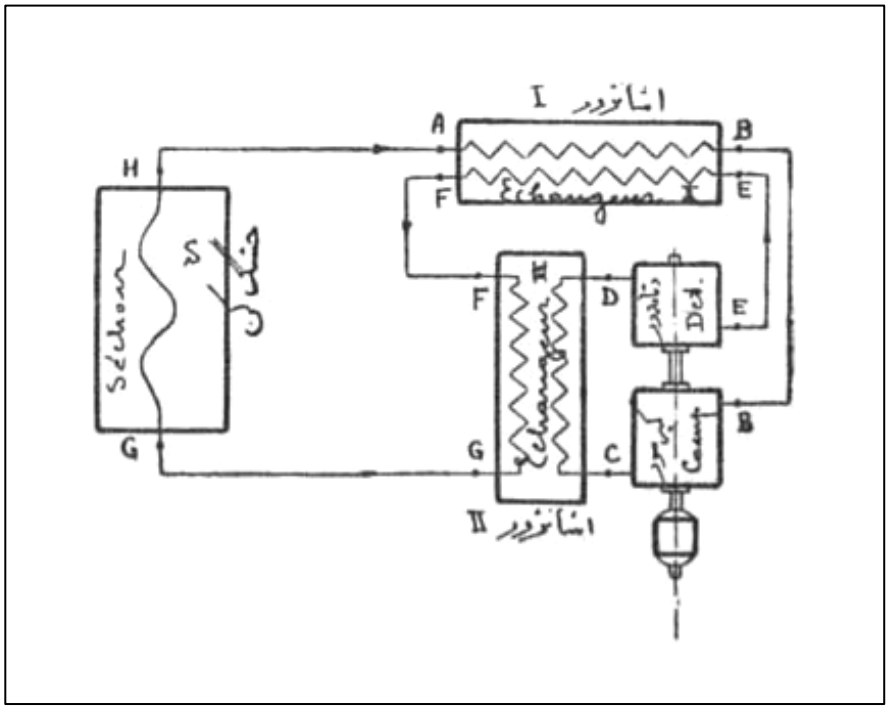
در می‌آید که ۴ برابر مصرف انرژی دستگاه پیشنهادی است.

روش گرم (برای خشکاندن اشیاء)

چنانچه منظور خشکاندن اشیاء مرطوب باشد هر قدر هوا را خشک‌تر و گرم‌تر نماییم البته بهتر است.

در این صورت طرز عمل طبق شمای زیر خواهد بود و اشانژور شماره ۲ به عوض آنکه حرارت هوای متراکم شده را به خارج بدهد، به همان خشک شده خواهد داد و بالنتیجه هوای خروجی از دستگاه ، خشک و گرم خواهد شد.

شکل ١٤- دستگاه با روش گرم

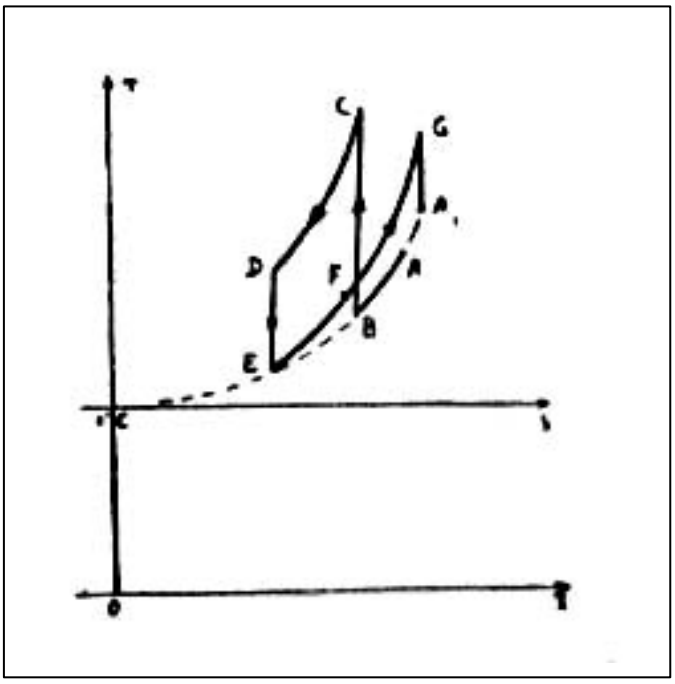


مصرف انرژی دستگاه در این صورت که مدار آن در داخل خود بسته می‌شود بنا به اصل اول ترمودینامیک به عبارت ساده زیر در می‌آید :

$$W = J\,(q_G - q_A) = ۴۲۷\,[۰/۲۴\,(t_G - t_A) + (m_g - m_A)\,(۶۰۶/۵ + ۰/۳۰۵t)]$$

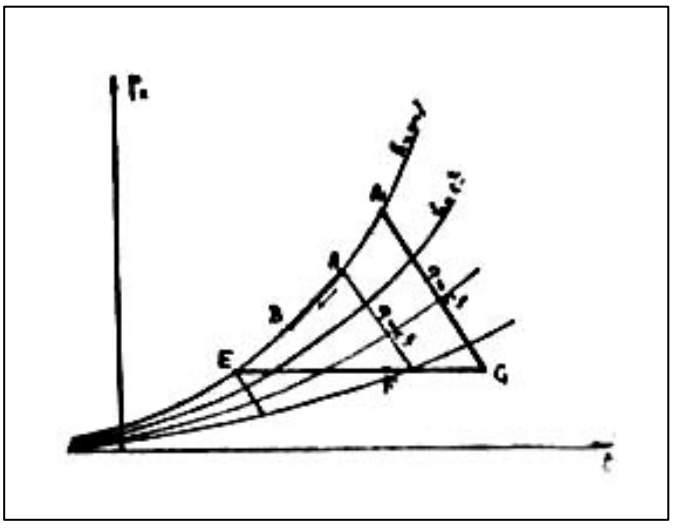
هوای خروجی از اسباب که به درجه حرارت و بـه حالـت نظیـر نقطـه G رسـیده است وارد ظرف خشک‌کننده S می‌شود و در آنجا به‌طور آدیاباتیک کسب رطوبت کرده اشباع و سرد می‌شود تا به حالت $A_۱$ می‌رسد ، به‌طوری‌که در دور بعدی، مـدار از نقطه $A_۱$ شروع خواهد شد و دفعه به دفعه هوا گرم‌تر می‌گردد. ولی چون مجموعه‌ی اسباب دارای یک مقدار اتلاف حرارتی به خارج می‌باشد یک حالت تعادلی بالاخره برقرار خواهد شد.

شکل ۱۵- نمایش مدار روش گرم در مختصات آنتروبیک



فرض کنیم حالت تعادل نهایی همان حالتی باشد که در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نمایش داده شده است.

شکل ۱۶- نمایش قسمتی از مدار روش گرم در مختصات رطوبی



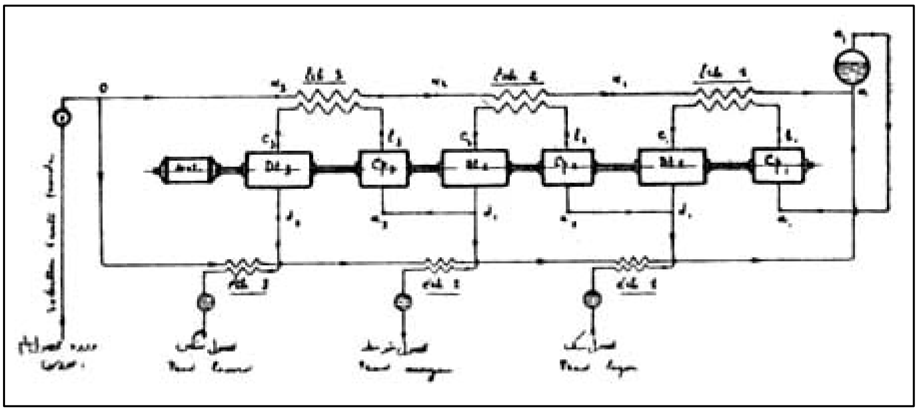
قدرت خشک‌کننده اسباب به مقدار $(m_{A۱} - m_G)$ می‌باشد و اگر می‌خواستیم این منظور را از طریق گرم کردن مستقیم هوا به دست بیاوریم، حرارت مصرفی مساوی حرارتی می‌شد که $(m_{A۱} - m_G)$ گرم آب را تبخیر نماید یعنی :

$$\frac{(۶۰۶/۵+۰/۳۰۵\times ۱۰۰)}{۱۰۰۰}\ (m_{A۱} - m_G)\ \#\ ۰/۵\ (m_{A۱} - m_G)$$

روش متوالی (برای تقطیر مخلوط مایعات)
Distillation fractionnée thermodynamique

در صنعت تصفیه نفت و تصفیه قطران‌ها و الکل و غیره برای جدا کردن عناصر مشکله یک مخلوط ، طریقه تقطیر تدریجی یا تفریقی (distillation fractionnée) را به‌کار می‌برند. یعنی پس از آنکه مخلوط را گرم نمودند آن را وارد ستون‌های مطبق (colonnes à plateaux) می‌کنند. در آنجا پس از یک سلسله تبخیر و تقطیرهای متوالی ، عناصر مختلفه به ترتیب درجه تبخیر خود جدا می‌شوند. در این طریقه انرژی مصرفی ، انرژی حرارتی می‌باشد.

شکل ۱۷- شمای دستگاه تصفیه ترمودینامیک مایعات (روش متوالی)



در طریقه‌ی تقطیر ترمودینامیک ، به طور معکوس عمل می‌شود.

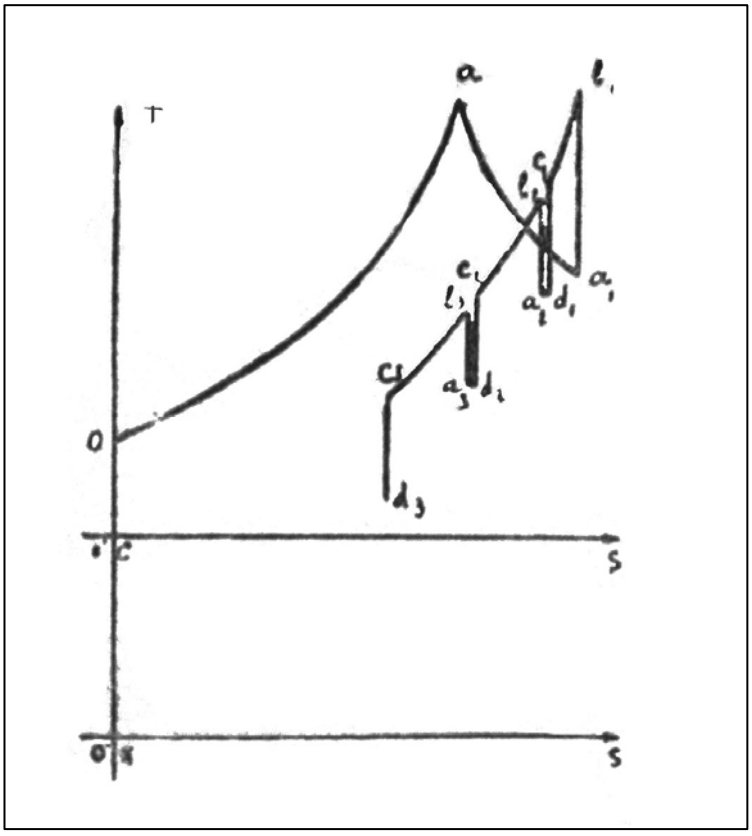
توضیح آنکه هرگاه ماده خام را که به‌صورت مایع مخلوط است ، در فشار زیاد ، کاملاً بخار نماییم و بخار حاصله را که بخار اشباع مخلوطی است انبساط آدیاباتیک دهیم در ضمن آنکه درجه حرارت تنزل می‌نماید تقطیر تدریجی نیز رخ می‌دهد.

البته قطرات مایعی که در ابتدای انبساط جدا خواهد شد از عناصر سبک‌تر تشکیل می‌شود. و به‌تدریج که درجه حرارت تنزل می‌نماید، عناصر متوسط و بالاخره عناصر سنگین جدا خواهند شد. خلاصه آنکه دستگاه مانند یک ماشین بخاری کار خواهد کرد که از یک طرف دریافت حرارت می‌نماید و از طرف دیگر در ضمن جدا شدن عناصر مخلوط ، تولید کار می‌نماید.

برای آنکه روش عمل کاملاً روش دینامیک بوده اصلاً مصرف حرارت در بین نباشد ، طبق شمای شکل ۱۷ که از یک سلسله مجموعه‌های متوالی کمپرسور- دتاندور- اشانژور تشکیل شده است، می‌توان عمل کرد. گرم شدن مایع خام تحت فشار پمپ به‌وسیله‌ی اشانژورهای ایزوبار در اثر حرارت‌های حاصله از تراکم تأمین می‌شود و بعد از هر انبساطی یکی از محصولات تقطیر جدا می‌گردد.

منحنی نمایش فرضی عمل در مشخصات آنتروپیک در شکل۱۸ نمایان شده است.

شکل ۱۸- نمایش مدار روش متوالی برای تصفیه مایعات مخلوط



oa : گرم شدن مایع تحت فشار ثابت

aa_1 : سقوط فشار و درجه حرارت در دیگ غلیان دهنده

مجموعهٔ ۱

a_1b_1 : تراکم آدیاباتیک در کمپرسور اول Cp_1

b_1c_1 : خنک شدن ایزوبار بخارهای متراکم و گرم شدن مایع تحت فشار در اشانژور اول Ech_1 (سطح زیر b_1c_1 = سطح زیر a_1a)

c_1d_1 : انبساط آدیاباتیک بخار متراکم در دتاندور اول Dt_1 و تقطیر محصولات سبک

مجموعهٔ ۲

d_2b_1 : تراکم آدیاباتیک در دومین کمپرسور

b_2c_2 : تبادل حرارت در دومین اشانژور

c_2d_2 : انبساط آدیاباتیک در دومین دتاندور و تقطیر محصولات متوسط

وقس علی‌ذلک

تفاوت سطح زیر oa و مجموع سطوح زیر

$$b_3C_3 + b2C_2 + b_1C_1$$

ضرب در وزن بخارهای باقی‌مانده ، معرف مقدار کاری است که دستگاه تولید می‌نماید :

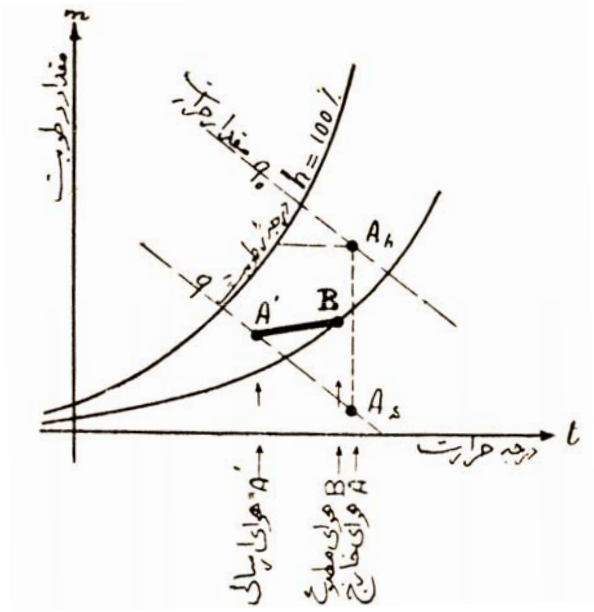
$$\frac{I}{J}\ W = \text{aire oa} - \Sigma\ (\text{aire bc} \times \text{poids de vapeur})$$

چنانچه درجات تراکم‌ها یا انبساط‌های متوالی را طوری تنظیم نمایند که این تفاوت صفر باشد ، عمل تقطیر بدون خرج صورت خواهد گرفت.

از طرف دیگر هر قدر تعداد مجموعه‌ها بیشتر باشد تفریق مابین عناصر مشکله مخلوط خام ، یعنی تعداد اجسام نسبتاً خالصی که جدا می‌شود ، بیشتر خواهد بود.

خنک کردن هوا بدون ماشین مبرد*

مسأله خنک کردن هوا مشکل‌ترین عمل تهویه مطبوع می‌باشد و عادتاً منجر به‌استعمال ماشین مبرد (Machine frigorifique) می‌شود که دستگاه گران‌قیمت و دقیق، یعنی پر دردسر و مصرف‌کننده الکتریسیته است. فقط در مناطقَ و فصولی که هوای خارج زیاد گرم نبوده و به قدر کافی خشک باشد برای تهویه مطبوع عمارات کم جمعیت، ممکن است از راه مرطوب کردن، هوا را خنک کرده و از استعمال ماشین مبرد صرفه جویی نمود (شکل ۱) :

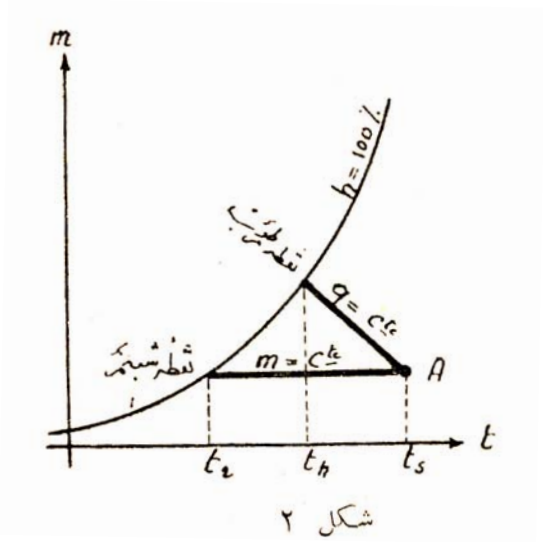


* این اثر از مجله «نشریه دانشکده فنی» ، شماره ۲ ، صص ۶۱ تا ۶۶ ، اسفند ۱۳۲۹ نقل شده که با ویرایش مختصری تقدیم می‌شود.

شکل ۱- اگر شرایط هوای خارج نظیر نقطه A_h باشد برای رساندن آن به A'، ناچار باید به‌وسیله ماشین مبرد حرارت محتوی در هوا را از q_o به q' تقلیل داد ولی اگر نظیر نقطه A_s باشد رسیدن به A' از طریق مرطوب کردن آدیاباتیک ساده، امکان پذیر است.

یک چنین مورد گاهی اوقات پیش می‌آید و در شهرهایی مانند تهران، اصفهان، شیراز، اهواز و آبادان، شاید در دو ثلث از فصل تابستان عملی باشد[1] اما در روزهای گرم و دَم‌دار و در شب‌های پر از ابر (که اتفاقاً همان مواقع، احتیاج شدید به‌وسیله تبرید است) و حالت هوا از A_S به‌طرف A_h می‌رود، وجود ماشین مبرد ناگزیر بوده مرطوب کردن هوا تأثیر ناقص و نامطلوب خواهد داشت ، به‌طوری که یک دستگاه تهویه مطبوع صحیح حتماً باید مجهز به ماشین مبرد باشد.

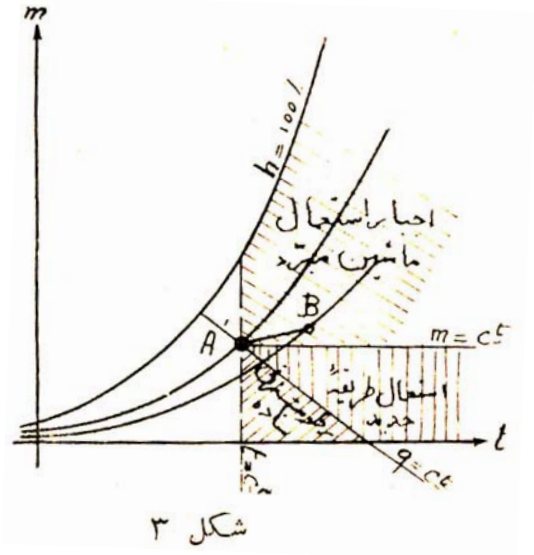
طریقه‌ای که در این مقاله پیشنهاد می‌شود برای صرفه‌جویی و احتراز از استعمال ماشین مبرد در مواقع گرم‌تر و مرطوب‌تر است. اساس آن کماکان استفاده از خنک شدن هوا در نتیجه تبخیر آدیاباتیک آب می‌باشد ولی به‌عوض آنکه هوای خنک شده مرطوب مستقیماً به‌داخل مکان فرستاده شود، آن‌را به‌مصرف خنک کردن هوای خشک تازه‌ای می‌رسانیم و این هوای جدید را که با ثابت ماندن مقدار رطوبت، در دَرجه حرارت و درجه رطوبت آن تنزیل فاحش حاصل شده است، مورد استفاده قرار می‌دهیم. خلاصه آنکه، طبق شکل (۲)، به‌جای یک عمل $q = C_{te}$



شکل ۲

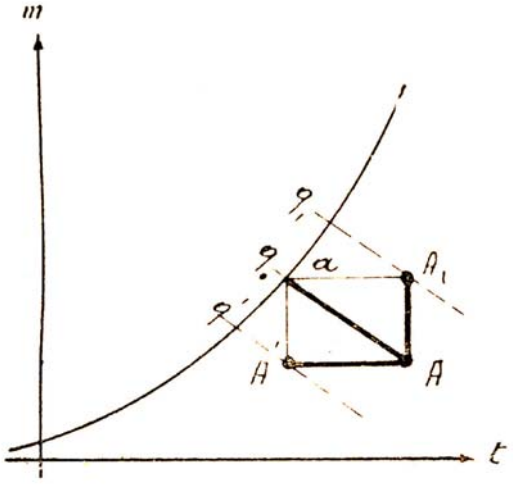
۱. کاری که حتی دهقانان ما از قدیم الایام انجام داده آلونک‌های خود را با برگ و تیغ و غیره پوشانده، به آن آب می‌پاشند. نسیم خشک و گرم صحرا که از آن عبور می‌نماید در نتیجه تبخیر آب خنک شده هوای مطبوعی به آلونک می‌دهد. شبیه این عمل را در خانه‌های اهواز و جنوب ایران نیز انجام می‌دهند.

که در رطوبت زنی ساده صورت می گیرد یک عمل $m= C_{te}$ انجام می‌دهیم و به‌عوض آنکه به‌درجه حرارت مرطوب(température mouillée) برسیم، به‌طرف نقطه شبنم point de rosée می‌رویم.



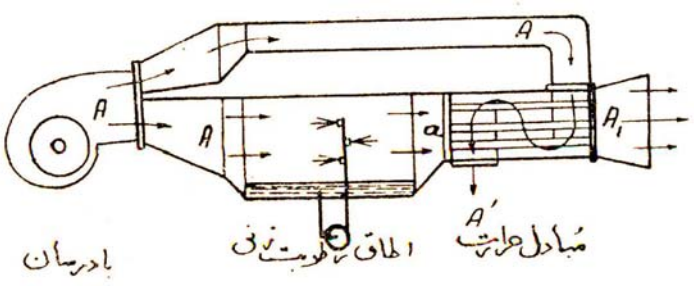
شکل ۳

اگر منظور عملی شود در تمام منطقه‌ی زیر خط افقی ماربر نقطه A (در شکل۳)، یعنی با وجود گرماهای خیلی شدید و رطوبت‌های معتدل، می‌توان از استعمال ماشین مبرد صرفه‌جویی نمود.



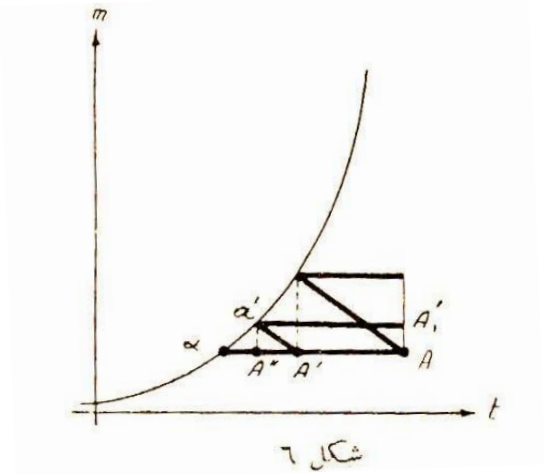
شکل ٤

انجام امر به‌طوری‌که گفته شد متضمن دو عمل است، یک عمل مرطوب کردن از راه پاشش آب و یک عمل تبادل حرارت ما بین هوای مرطوب شده خنک و هوای خشک و گرم خارج. مثلاً هرگاه A معرّف هوای خارج باشد (شکل ۴) ، در نتیجه عبور از اتاق رطوبت زنی (شکل ۵) و به فرض کامل بودن اسباب، آن‌را به‌حالت نقطه a می‌رسانیم. هوای نقطه a که سردتر از هوای خارجی A است، می‌تواند معادل وزن خود هوای تازه‌ای را از راه تبادل با جریان معکوس به حالت نقطه ´A رسانده و خود به صورت نظیر نقطه A_1 ، از دستگاه خارج شود. به این ترتیب ۲ Kg هوای تازه A ، به‌حرارت q_0 وارد اسباب می‌شود و از آن ۱ Kg هوای خنک ´A به حرارت ´q و ۱ Kg هوای گرم و مرطوب A_1 ، به حرارت q_1 خارج می‌گردد. بالنتیجه ما داخل مکان مسکونی خود را به خرج فضای لایتناهی خارج و بدون مصرف انرژی حرارتی یا مکانیک، خنک کرده‌ایم.



شکل ۵

این عمل برای دومین مرتبه قابل تکرار است یعنی اگر هوای نظیر نقطه ´A را در نتیجه رطوبت زدن به حالت ´a برسانیم (شکل ۶) ، می‌توانیم هوای تازه دیگری را از

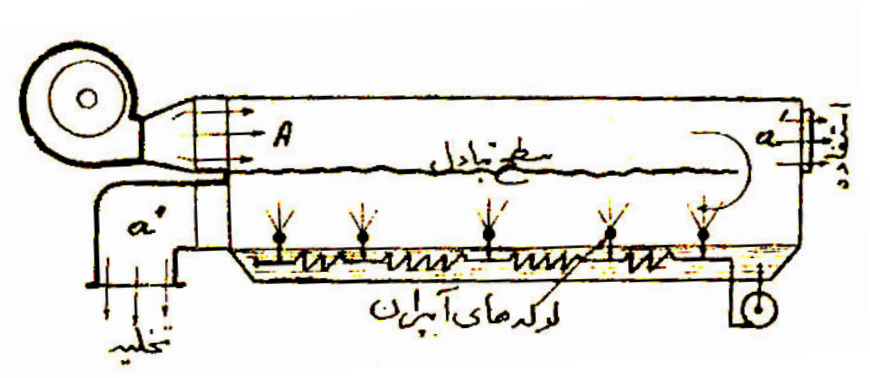


شکل ٦

حالت A تا حالت ″A خنک کنیم، و قس علی‌هذا تا نقطه شبنم α .

حال برای آنکه عمل به وضع ساده‌تری به طور یکسره صورت گیرد طبق شمای شکل (۷) هوای خنک کننده را مرتباً مرطوب نموده از جوار هوای خنک شونده عبور می‌دهیم و در آخر اسباب یک جزیی از هوای خنک را برای مصرف تهویه برداشت نموده، بقیه آن را برای‌مرطوب شدن و خنک کردن بر می گردانیم.

شکل ۷- شمای اسباب با جریان یک سره

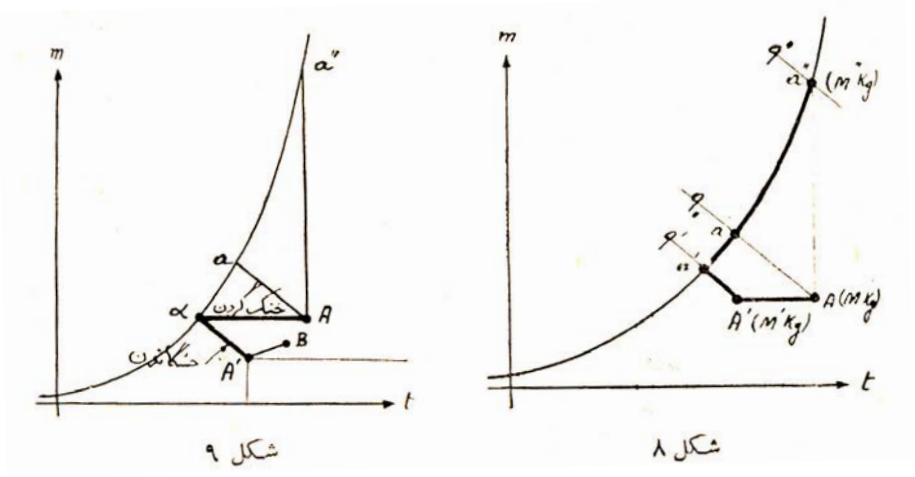


نمایش عمل در مختصات tm مدار ″α ′α ′A A می‌گردد و چون هوای زاید اسباب که به خارج ریخته می‌شود این مرتبه حالت نظیر نقطه ″a را پیدا کرده تا حرارت فوق‌العاده ″q گرم می‌شود راندمان اسباب از لحاظ هزینه‌ی وانتیلاتور، خیلی بهتر از طریق سابق در می‌آید. نسبت هوای مفید ′M به هوای خروجی ″M از رابطه زیر نتیجه می‌شود.

$$M'(q_0-q') = M''(q'' - q_0)$$

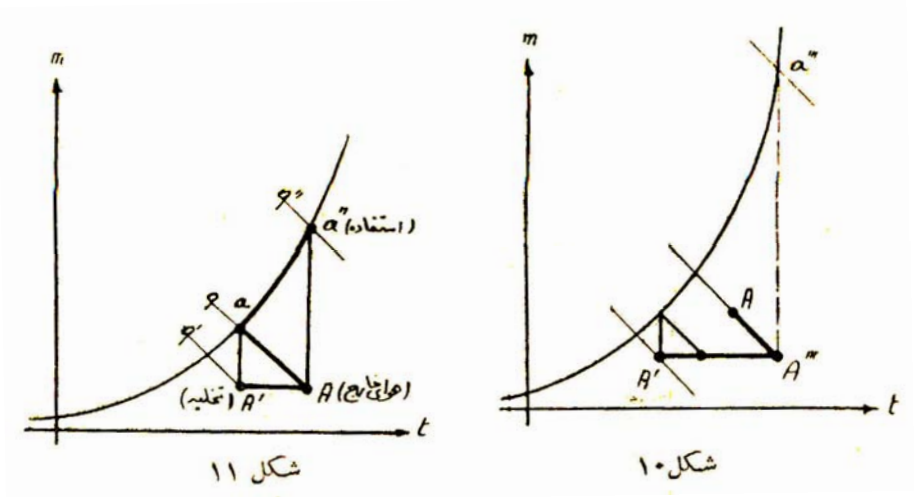
$$M' = M'' \frac{q'' - q_0}{q_0 - q'}$$

حال چنانچه هوای خارج به‌واسطه شدت رطوبت یا حرارت، بالاتر از خط افقی ماربر نقطه ′A (شکل۳) باشد و بخواهیم باز بدون ماشین مبرد آن‌را تا حدود نقطه ′A خنک کنیم، کافی است طبق شکل ۹ در دنبال اعمال فوق، یک عمل خشک‌کردن آدیاباتیک از α تا ′A (به وسیله اجسام جاذب الرطوبه مانند سیلیکوژل و غیره) انجام دهیم . به این ترتیب منطقه عمل ما تا زیر خط افقی مارّبر ′A که نقطه مرطوب



شکل ۸ شکل ۹

هوای مشروط C است، توسعه پیدا می‌کند و اگر طبق شکل ۱۰ خشک‌کردن را قبل از خنک‌کردن انجام دهیم دامنه عمل تمام صفحه مختصات را پوشانده از استعمال ماشین مبرد به‌کلی بی‌نیاز خواهیم شد.



شکل ۱۰ شکل ۱۱

در زمستان نیز همین اسباب‌ها طبق مدار شکل ۱۱ به‌طور معکوس قابل استفاده بوده، در روزهای معتدل موجب صرفه‌جویی محسوسی در مصرف سوخت می‌شود.

همچنین به‌طورکلی ممکن است آب را خنک نموده مستقیماً استفاده نمود و یا با وساطت مبادل ، هوا را خنک کرد.

مباحث و مزایای فوق با فرض کامل بودن اسباب، یعنی عدم اتلاف و اصطکاک و بی‌نهایت بودن سطح تبادل حرارت، به‌نظر می‌آید مسلم باشد ولی البته ارزیدن دستگاه و کیفیت بهره‌برداری آن به نوبه خود باید مورد مطالعه قرار گیرد. امید است موفق به آزمایشی در دانشکده شده نتایج آن را بعداً به اطلاع برساند.

مهندس بازرگان در میان دانشجویان
در جشن دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۲۹/۹/۱۲

آشنایی با زنت و زتکا*

مقدمه سردبیر

مدتی پیش از استاد مهندس مهدی بازرگان درخواست کرده بودیم که به عنوان ابداع کننده دستگاه زنت، مقاله‌ای به‌قلم خود جهت معرفی خصوصیات و مشخصات این دستگاه برای مجله «حرارت و برودت» بنویسند که البته هر بار به دلیلی این امر به تأخیر می‌افتاد.

متأسفانه مقدر چنین بود که این آخرین مقاله علمی استاد باشد ، چه قبل از تحریر کامل آن ، ناگهان بر اثر عارضه قلبی در سوئیس به رحمت ایزدی پیوستند.

با آرزوی غفران الهی برای این دانشمند گرانقدر و تشکر فراوان از فرزند گرامی‌شان آقای محمدنوید بازرگان که تنظیم یادداشت‌های استاد را به‌عهده گرفتند، توجه خوانندگان گرامی را به مطالعه این مقاله جلب می‌کنیم. با این توضیح که ترسیمه‌های داخل نمودارها، خط خود استاد است که به همان صورت چاپ می‌شود.

مقدمه شرکت صنعتی صافیاد

مقاله‌ای که از نظر می‌گذرانید توسط شادروان مهندس مهدی بازرگان برای مجله «حرارت و برودت» در واپسین ایام عمرشان تهیه و تنظیم شد. شاید برایتان جالب

---

* این اثر به نقل از مجلّه «حرارت و برودت» ، شماره ، سال ۱۳۷۳ ، صص ۱۳ تا ۱۸ ، به علاقه‌مندان تقدیم می‌شود.

باشد بدانید که ایشان در این اواخر با جدیت و پشتکار شگفتی علی‌رغم گرفتاری‌ها ، مشغله فراوان و بیماری قلبی ، به تنظیم و تحریر این مقاله اهتمام داشتند. حتی تا شب آخر که فردای آن مسافرت به سوئیس یعنی سفر نهایی‌شان را در پی داشت ، مشغول طراحی نمودارهای مشخصه‌ی هوا بودند و قرار شد تکمیل شده آن را از سوئیس فاکس کنند ، اما تقدیر راهی جز تدبیر در پیش گرفته بود.

به‌هرحال ، اگر نقصی در تنظیم این تقریر وجود دارد ناشی از تکمیل آن از سوی ماست. امیدواریم که نتیجه این تلاش چندین ساله که عصاره آن در این مقاله آمده است بتواند راهگشا و پاسخگوی بخشی از نیازهای فنی تخصصی این کشور در زمینه تأسیسات حرارتی و برودتی باشد و یادگاری از آن بزرگ که خیر و خدمت را سرلوحه زندگیش قرار داده بود.

مقدمه [مؤلف]

از نعمت‌های خدادادی کشور ما ، با وجود تنوع اقلیم‌ها و شدت سرماها و گرماها ، مساعد بودن شرایط جوی است که کمک قابل ملاحظه‌ای به تعدیل هوا در فصول مختلف سال می‌نمایند . مردم فلات مرکزی از زمان‌های قدیم ، با ساختن خانه‌های رو به جنوب ، آفتاب طولانی آسمان صاف ایران را تا عمق اتاق‌ها کشانده و در تابستان با پاشش آب ، هوای محیط زیست را ملایم و مطبوع می‌ساخته‌اند. شب‌ها در صحن حیاط یا روی بام نفس راحت کشیده و روزها در سرداب‌های عمیق یا زیرزمین‌های بادگیردار ، خود را از گرما و حشرات حفظ می‌کردند ، امروزه صنعت تهویه مطبوع اجازه بهره‌بندی بهتر و عملی‌تر از شرایط طبیعی می‌دهد.

زنت یا دستگاه تهویه مطبوع زمستانی- نیمه تابستانی

از چهل سال پیش‌تر ، مردم تهران و بسیاری از شهرهای فلات مرکزی از کولرهای آبی ، با بهای نسبتاً ارزان استفاده می‌نمایند. پانزده سال بعد از ساخت کولر ، شرکت صافیاد[1] با افزایش چند ردیف لوله‌های پره‌دار در دهانه خروجی کولر و تغییرات

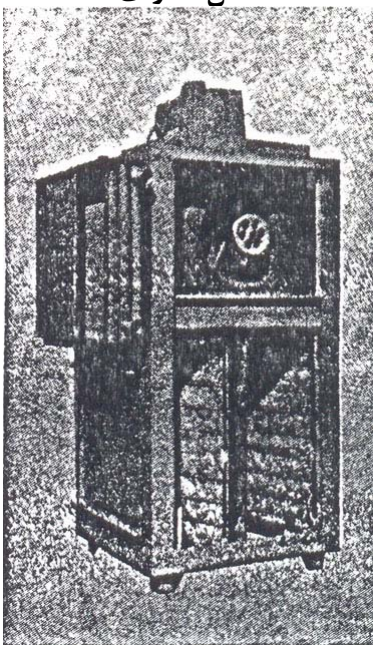
۱. شرکت صافیاد از ادغام دو شرکت صافیر و یاد در سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۴۷ تشکیل شده است.
دفتر شرکت صافیر در خیابان سوم اسفند و محل کارخانه آن که به‌کارهای تأسیساتی اشتغال داشت، در جاده ساوه و اکثریت سهام آن به‌آقای مهندس ستوده تعلق داشت. شرکت یاد توسط یازده تن از استادان دانشگاه که توسط رژیم شاه در سال ۱۳۴۲ از دانشگاه تهران اخراج شده بودند تأسیس شد و ساختمان یاد ←

تکاملی که در آن به‌عمل آورد، دستگاه مفیدی تحویل هموطنان داد که با استفاده از کانال‌های توزیع هوای اتاق‌ها و دیگخانه ساختمان ، جوابگوی تهویه مطبوع زمستان و تابستان برای منازل و ادارات و کارخانجات باشد و نام آن را «زنت» گذاشت. «زنت» مخفف «زمستانی- نیمه تابستانی» است.

نیمه تابستانی از این جهت که نه زنت ، نه کولر آبی و نه هیچ وسیله تبخیری دیگر مانند هواشوی[۱]، قادر به‌ایجاد هوای خنک کافی در گرماهای دمدار و با دماهای مرطوب[۲] بیش از ۲۳ درجه سانتیگراد (۷۵ درجه فارنهایت) نبوده، علاوه بر آن برای مکان‌های پرجمعیت مانند مساجد و سالن‌های سخنرانی و سینماها یا کلاس‌های درس مناسب نمی‌باشد.

زنت صافیاد در مدت۲۵ سال[۳]، با توجه به شرایط ایران و تطبیق با نیازهای مردم و هزینه کمتر نسبت به‌سایر سیستم‌های توأم گرمایش و سرمایش برای منازل و مجتمع‌های مسکونی و مؤسسات عمومی و صنعتی و همچنین مساجد و بیمارستان‌های تهران و شهرستان‌ها ، مورد استقبال فراوان قرار گرفت.

شکل ۱- زنت



اندازه متوسط مدل ۷۰ زنت که صفحه پوشال‌ها و بادرسان و کوبل آن نمایانده شده است.

نمایش نظری و محاسبه زنت

از نظر تئوری ، نمایش مدار هوای زنت ، در مختصات رطوبی هوا[۴] بسیار ساده بوده منطبق با خطوط دمای مرطوب یعنی $t_h = Cte$ و آنتالپی $\lambda = Cte$ می‌شود.

← را در خیابان غزالی (موازی خیابان انقلاب و بین خیابان‌های فردوسی و حافظ) به وجود آورد. در سال ۱۳۴۶ ، پس از آزادی آقای مهندس بازرگان از زندان ، از ادغام شرکت یاد و صافیر ، شرکت صافیاد تأسیس شد و فعالیت آن توسعه یافت و سپس محل جدیدی در جاده تهران- قم در شهرک شمس‌آباد به وسعت ۳۰۰۰ مترمربع برای آن در نظر گرفته شد و کارخانه به آنجا منتقل گردید (ب.ف.ب) .

۱. Air Washer.

۲. Wet Bulb .

۳. منظور ۲۵ سال تا زمان تحریر این مقاله در سال ۱۳۷۳ است که مبدأ آن سال ۱۳۴۸ می‌باشد(ب.ف.ب).

۴. Psychrometric

اگر هوای محیط به درجه حرارت خشک $t_s = ۳۵^{\circ C}$ و درجه حرارت مرطوب با دمای خیس $t_h = ۱۸^{\circ C}$ و نقطه E معرف آن بوده باشد :

$$E\begin{cases} t_s = ۳۵^{\circ C} \\ t_h = ۱۸^{\circ C} \\ h = ۲۰\ ٪ \\ \lambda = ۱۸/۲\ KCAL/KG \end{cases}$$

خنک شدن هوا در اثر تماس با آب و تبخیر، تا رسیدن به‌درجه رطوبت مثلاً h=٪۸۰ ، خط ET می‌شود و نقطه T معرف هوای ارسالی به مکان ، مشخصات زیر را خواهد داشت :

$$E\begin{cases} t_S = ۲۱/۵^{\circ C} \\ t_h = ۱۸^{\circ C} \\ h = ۸۰\ ٪ \\ \lambda = ۱۸/۲ \end{cases}$$

هوای ورودی به مکان ، با کسب مقداری حرارت و رطوبت از جدارها و اشخاص ، بر طبق خط مورب TI تغییر حالت داده به نطقه I می‌رسد که بنا به فرض دارای شرایط مطبوع قابل قبول زیر می‌باشد :

$$E\begin{cases} t_s = ۲۶/۵^{\circ C} \\ t_h = ۲۱/۵^{\circ C} \\ h = ۶۰\ ٪ \\ \lambda = ۱۹/۲\ KCAL/KG \end{cases}$$

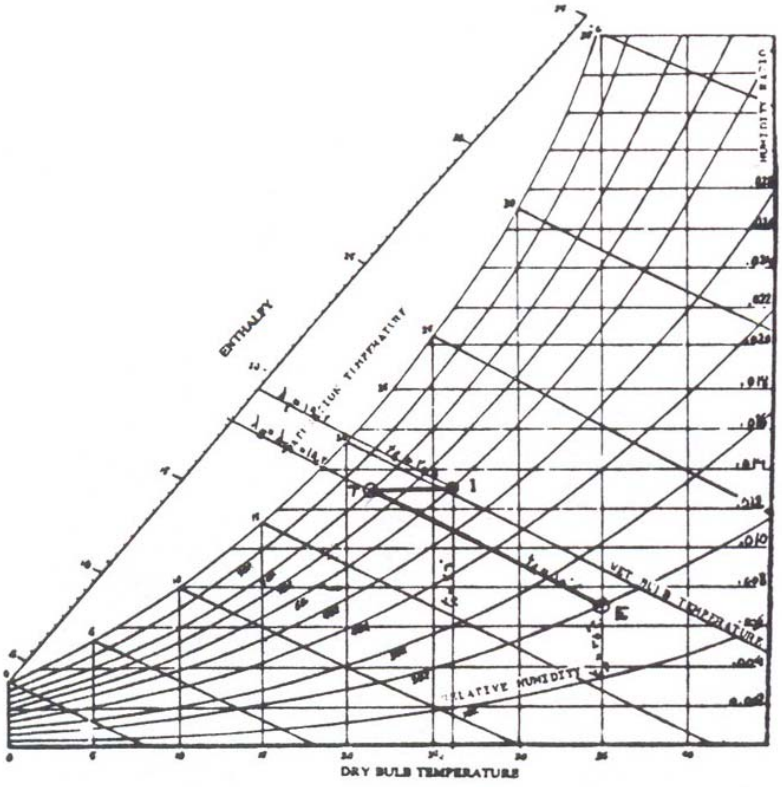
پس در مجموع ،مدار هوای تحول یافته در داخل زنت و مکان با نمایش و مسیر آن خط مکسر ETI می‌باشد.

اختلاف آنتالپی λ با حرارت واحد هواهای خارج و داخل (یعنی نقاط T و I) روی دو خط h = Cte مقادیر خنکی یا برودتی را نشان می‌دهد که یک کیلوگرم هوای ورودی در مکان ایجاد می‌نماید و اگر کل اتلافات برودتی مکان F [Frig/hr] باشد ، مقادیر هوای لازم با ظرفیت بادرسان باید مساوی با بیشتر از مقدار زیرا باشد :

$$A\ [m^3/h] = \frac{1}{d}\ \frac{F}{\lambda_I - \lambda_T}$$

d وزن مخصوص هوا است که در اثر شرایط نرمال ۱/۳ می‌باشد و هر قدر اختلاف آنتالپی‌های نقاط T و I با اختلاف دماهای مرطوب هوای خارج و داخل ، کمتر با هوای محیط گرم‌تر و دمدار باشد (که معمولاً هم چنین است) ، ظرفیت هوارسانی زنت یا کولر (یعنی حجم هوای ارسالی) ، باید زیادتر شود و اگر درجه حرارت مرطوب محیط خارج و مکان مساوی باشند ، ظرفیت لازم معادل بینهایت گردیده ، وجود دستگاه بی‌فایده خواهد شد. در حقیقت برای درجات حرارت مرطوب بالاتر از ۲۳° درجه سانتیگراد ، استفاده از این نوع دستگاه‌ها مردود است . ضمناً با حضور جمعیت و وجود وسایل تولید کننده بخار ، درجه رطوبت از حد مطبوع و قابل قبول تجاوز خواهد کرد.

شکل ۲- ترسیمه رطوبی هوا با تعیین مدار تحول هوا در کولرهای آبی و زنت

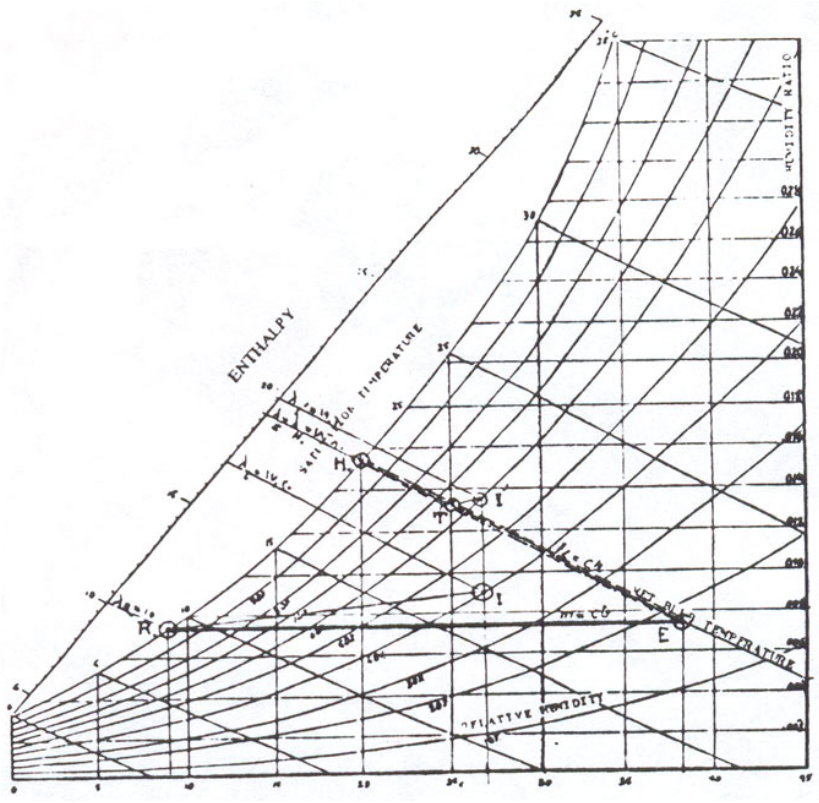


راه حل صحیح برای تهویه مطبوع در شرایط سخت : حرکت به سوی نقطه شبنم

برای رفع مشکل فوق و رسیدن به تهویه مطبوع صحیح در محیط‌های داغ و دمدار (یا شرجی) و برای مکان‌های پرجمعیت ، سیستم فن‌کویل یا هواساز تعبیه شده است که به کمک آب‌سردکن (واتر چیلر) کپرسوری یا جذبی و برج خنک کن ، برای تهیه و توزیع آب سرد لازم ، می‌توان هوای مکان را تا هر درجه که خواسته باشند خنک و خشک نمود.

با واتر چیلر ، ایجاد سرماهای بیش از خنکی مطبوع ۲۶° تا ۲۷° ، برای مصارف کشاورزی و شیمیایی، مانند سردخانه‌ها یا پرورش قارچ و غیر نیز امکان‌پذیر می‌باشد.

شکل ۳- نمایش مدار هوا در حرکت به سوی نقطه اشباع (EHo)
و در حرکت به سوی نقطه اشباع (ERo)



قبلاً توضیح داده شد که از نظر ترمودینامیک ، عملی که در اسباب‌های تبخیری روی هوای دریافتی از محیط صورت می‌گیرد ، یک عمل آدیاباتیک است که با حرارت ثابت یا آنتالپی ثابت ($\lambda = Cte$) و با دمای مرطوب ثابت ($t_h = Cte$) می‌باشد، بدون آنکه برودتی ایجاد شود ، درجه حرارت محسوس هوا تنزل می‌نماید.

نمایش چنین تحول هوا در مختصات پسیکومتریک ، خط مورب $t_h = Cte$ بوده به نقطه اشباع Ho روی منحنی $h = ۱۰۰ \%$ منتهی می‌شود ، یعنی خط EHo .

همچنین است در برج خنک‌کن‌های کلاسیک تبخیری که آب گرم ورودی در اثر تماس با هوای دریافتی از محیط و تبخیر شدن ، تنزل درجه حرارت می‌دهد. حداکثر خنک شدن آب ، رسیدن به درجه حرارت مرطوب t_h یا دمای مرطوب هوای محیط می‌باشد .

اگر $t_۱$ و $t_۲$ به ترتیب درجات حرارت آب در ورود به برج و خروج از آن باشند و $\lambda_۱$ و $\lambda_۲$ را آنتالپی‌های هوا در ورود و خروج بدانیم ، معادله ثبات حرارتی برج چنین خواهد بود :

$$E\,(t_۱ - t_۲) = A.d.(\lambda_۲ - \lambda_۱)$$

که E میزان آب و A میزان هوا و d وزن مخصوص هوا (۱/۳) می‌باشند. درصورت تماس هوا و تبخیر آب و با حرکت به سوی نقطه اشباع ، حداکثر خنک شدن هوا (در اسباب‌های تهویه) و خنک شدن آب در برج‌های خنک‌کن کلاسیک، رسیدن به حالت اشباع هوا یا به دمای مرطوب می‌باشد و تنزل بیش از آن غیر ممکن است مگر آنکه حرکت یا تحول هوا به سوی نقطه شبنم[۱] انجام شود. برای حرکت به سوی نقطه شبنم لازم است درجه حرات هوا بدون تماس مستقیم و تبخیر آب ، یعنی به صورت خشک ، تنزل نماید واین عمل در یک مبدل حرارتی یا اشانژور[۲] صورت گرفته ، هوا به طور غیر مستقیم به وسیله آب خنک شود.

زتکا یا اسباب تهویه مطبوع زمستانی و تابستانی کامل

با توجه به مطالب و نکات پیش گفته ، شرکت صافیاد درصدد برآمد مسیر تحول هوای زنت را با ثابت نگاهداشتن مقدار رطوبت و با استفاده از مبدل و برج خنک‌کن،

۱. Point De Rasée (Dew Point)

۲. Cooling Coil.

به سوی نقطه شبنم سوق دهد. در زنت‌ها و کولرهای آبی که تحول هوا یک تحول ساده به صورت مرطوب بود ، اینک در دو مرحله انجام می گیرد :

۱- خنک شدن به صورت خشک در مبدل (اشانژور) ،

۲- خنک شدن مرطوب در کولر خیس.

اگر E نقطه معرف هوای محیط به مختصات زیر باشد :

$$E\begin{cases} t_s = ۳۸^{\circ}C \\ t_h = ۲۰^{\circ}C \\ h = ۱۸\,\% \\ \lambda = ۱۸/۸ \end{cases}$$

به طوری که در دیاگرام دیده می‌شود ، خنک شدن نهایی و ایده‌آل در زنت و در کولر آبی و دستگاه‌های مشابه ، هوا را به نقطه Ho می‌رساند :

$$H_o\begin{cases} t_s = ۲۰^{\circ}C \\ t_h = ۲۰^{\circ}C \\ h = ۱۰۰\,\% \\ \lambda = ۱۸/۸ \end{cases}$$

ولی در حرکت به سوی شبنم به نقطه Ro می‌رسیم که به لحاظ درجات حرارت خشک و مرطوب و مقدار رطوبت خیلی پایین‌تر از حالت اشباع می‌باشد :

$$R_o\begin{cases} m = mE = ۶/۷\ gr \\ t_s = ۹^{\circ}C \\ t_h = ۹^{\circ}C \\ h = ۱۰۰\,\% \\ \lambda = ۱۰\ KCALIKG \end{cases}$$

و برودتی که یک کیلوگرم این هوا وارد مکان (به مختصات نقطه I) می‌نماید ، به جای :

$$\lambda_۱ - \lambda_{Ho} = ۱۹/۶ - ۱۸/۸ = ۰/۶$$

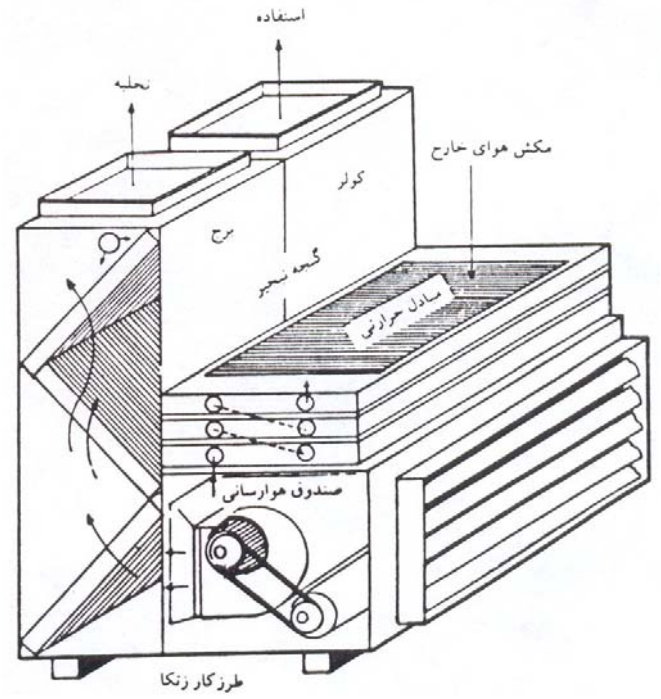
معادل آن می‌شود :

$$\lambda_1 - \lambda_{Ro} = ۱۷/۲ - ۱۰ = ۷/۲۰$$

یعنی در حدود ۱۲ = $\frac{۷/۲۰}{۰/۶}$ برابر می‌شود ، در حالی که هوای داخلی I با درجه رطوبت ۶۰ درصد، به جای ۴۰ درصد نقطه I گرفته شده است. و اصولاً رسیدن به نطقه I با دستگاه‌های تبخیری ، غیر ممکن می‌باشد.

اولین مقاله در مورد این روش در سال۱۳۲۹ (۱۹۵۱) در نشریه دانشکده فنی منتشر شد[1] که قسمتی از مقاله را در زیر ملاحظه می‌کنید. بعدها در مجموعه Ashrac ، سال ۱۹۶۵ ، شرح و تفصیل اسبابی که در کانادا ساخته شده بود ملاحظه گردید. در برابر زنت و کولر آبی که دستگاه‌های خنک‌کن هوا هستند، دستگاه‌هایی که هوای محیط را به طرف نقطه شبنم سوق می‌دهند ، «هوا سردکن» نامیده می‌شوند.

شکل ٤- زتکای اندازه متوسط که روپوش جعبه هوا و گنجه تبخیر آن برای نمایش اجزاء داخلی برداشته شده است.



۱. اشاره مؤلف فقید به مقاله «خنک کردن هوا بدون ماشین مبرد» تألیف خودشان است که در مجله «نشریه دانشکده فنی» شماره ۲ ، صص ۶۱ تا ۶۶ ، اسفند ۱۳۲۹ ، چاپ و منتشر شد و اکنون پنجمین اثر مندرج در همین مجموعه آثار می‌باشد (ب.ف.ب) .

«هواسردکن» کانادایی ، با دو بادرسان یا فن ، کار کرده برج خنک‌کن آن حالت مستقل و جدای از اشانژور را دارد. اشانژور را برای ارزان درآمدن ، با کلوخ‌های معدنی مخصوص ساخته‌اند که روی توری‌های فلزی گسترده‌اند و متناوباً در معرض باد مرطوب خنک و باد خشک داغ ، قرار می‌گیرد.

کارخانه صافیاد از سال ۱۳۶۳ ، طی آزمایش‌ها و مطالعات پی‌گیری ، به فکر بررسی و اجرای عملی و اقتصادی این طرح برآمد و به شکر خدا موفق گردید سه دستگاه مشابه کامل در سال ۱۳۶۶ تحویل سینمایی در شهر نیشابور بدهد و از سال جاری [۱۳۷۳] مدل‌های قابل بهره‌برداری در سه اندازه مختلف کوچک ، متوسط و بزرگ به ظرفیت‌های ۵ ، ۷ ، ۱۰ تن عرضه بازار نماید.

نام این هوا سردکن «زتکا» گذارده شد. «زتکا» به معنای تهویه مطبوع «زمستانی و تابستانی کامل» ، عملاً هم برودت را وارد مکان نموده ، جبران حرارت‌های رسیده به مکان از طریق تابش و تشعشع آفتاب را می‌نماید و هم رطوبت حاصله از تنفس جمعیت و غیره را تا حدود لازم خنثی می‌سازد. البته باز هم چون عملکرد و بازده بستگی به‌میزان خشکی هوای محیط دارد ، به درجه کامل واتر چیلر نمی‌رسد و برای مناطق دارای شرایط شرجی نظیر جنوب ایران، باید یک سیستم رطوبت‌گیری[۱] به آن اضافه شود.

مطالعه نظری و محاسبه زتکا

نمایش مدار زتکا در ترسیمه رطوبی ، یا تحول هوا از ورود به زتکا تا خروج از مکان، خط منکسر ERTI می‌باشد (شکل ۵) که از نقطه E ، مثلاً به مشخصات عادیِ تابستان‌های گرم تهران آغاز می‌شود :

$$E\begin{cases} t_s = ۳۸^{\circ}C \\ t_h = ۲۰^{\circ}C \\ h = ۲۰\ ٪ \\ \lambda = ۱۸/۸ \end{cases}$$

۱. Dryer.

ابتدا ، یک خنک شدن خشک $m = Cte$ به خط افقی ER در جهت حرکت به سوی نقطه شبنم داریم که در مبدل (یا اشانژور) انجام می‌گیرد و دماهای خشک و مرطوب هوا کاهش پیدا می‌نماید.

اگر سطح تبادل اشانژور و سطح تبخیر برج خنک کن بینهایت می‌بود و بازده زتکا ۱۰۰ درصد می‌شد ، به نقطه شبنم Ro می‌رسیدیم ، ولی با فرض بازده عملی ۳۱ درصد، به محاسبه و مشخصات زیر خواهیم رسید :

$$\eta_{zk} = \frac{t_{SE} - t_{SR}}{t_{SE} - t_{SRo}} = ۰/۳۱$$

$$t_{SR} = t_{SE} - ۰/۳۱ \ (t_{SE} - t_{SRo})$$

یا :

$$t_{SR} = ۳۸ - ۰/۳۱ \ (۳۸ - ۹/۲۵) = ۲۶/۵^{\circ}C$$

$$R \begin{cases} t_s = ۲۶/۵^{\circ}C \\ t_h = ۱۶^{\circ}C \\ h = ۳۵\ ٪ \\ \lambda = ۱۵/۷ \end{cases}$$

چنین هوایی که به وسیله‌ی آبِ گردش‌کننده در اشانژور و بدون تماس مستقیم و تبخیر ، تا حدود :

$$t_{SE} - T_{SR} = ۳۸ - ۲۶/۵ = ۱۱/۵^{\circ}C$$

خنک شده و دمای مرطوب آن از ۲۰° به ۱۶° تنزل یافته است ، با رانش بادرسان به جعبه تبخیر فرستاده می‌شود، در آلفا قسمتی از جریان هوا روانه کولر گردیده از طریق تبخیر آب ، بر طبق خط $t_h = Cte$ و مسیر RT سرد شده ، قسمت دیگر برای خنک کردن آب گرم خروجی ، از اشانژور وارد برج خنک‌کن گشته ، مسیر RCD را طی می‌نماید.

نقطه T معرف هوای تهیه شده در زتکا است و خط TI تحول هوا در مکان ، تا رسیدن به شرایط مطبوع نقطه I را نشان می‌دهد :

$$T \begin{cases} t_s = ۱۸/۵^{\circ}C \\ t_h = t_{hr} = ۱۶^{\circ}C \\ h = ۸۰\ ٪ \\ \lambda = ۱۵/۷۰ \end{cases}$$

تحول هوا در مکان ، اگر مکان خالی از جمعیت باشد ، خط $m = Cte$ خواهد بود و در صورت وجود جمعیت و تنفس اشخاص ، خط مورب TI می‌شود به طوری که :

$$A.\ d.\ (m_I - m_T) = N.\ q$$

در این عبارت :

A مقدار هوای ارسالی به مکان بر حسب مترمکعب در ساعت ،

d وزن مخصوص هوا،

N تعداد نفرات ساکن در مکان ،

q مقدار بخار آب حاصله از تنفس یک نفر برحسب گرم در ساعت،

خواهد بود. مقدار کل هوای ارسالی به مکان (یا ظرفیت هوای مفید زتکا) ، از فرمول زیر به دست می‌آید :

$$A.\ d.\ (\lambda_I - \lambda_T) = F$$

در این فرمول؛ F کل اتلافات برودتی مکان[۱] از طریق جدار، تشعشع آفتاب و وجود اشخاص و اسباب‌های گرمازا است. ضمناً همین فرمول، ظرفیت برودتی زتکا را در شرایط مفروض و یا شرایط نرمال تعیین می‌نماید. ظرفیت برودتی زتکا بستگی به‌بازده زتکا دارد که خود آن، تابعی از حاصل‌ضرب بازده‌های اشانژور برج خنک‌کن است.

در مقایسه با زنَت (و کولر و دستگاه‌های تبخیری دیگر) ، اگر شرایط محیط نظیر نقطه E (در شکل ۵) بوده و برای مکان، خواهان هوا مطبوع نظیر نقطه I (۲۷° سانتیگراد و ۵۰ ٪ رطوبت) باشیم، به‌طوری‌که در شکل دیده می‌شود، تأمین منظور غیر ممکن است. زیرا هوای ارسالی نمی‌تواند ایجاد برودتی را که قادر به جبران حرارت وارده

---

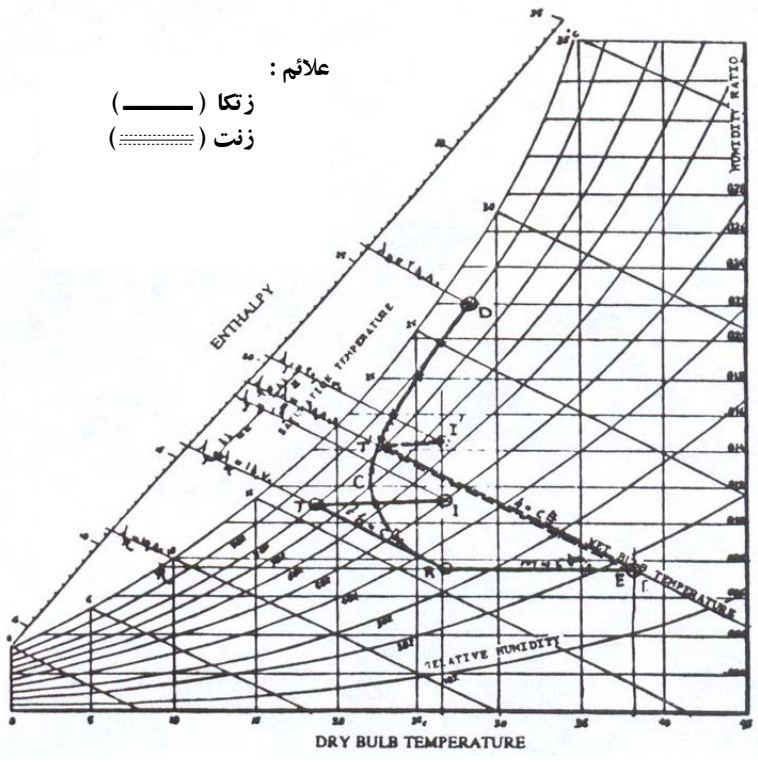
۱. Heat Gain.

به مکان باشد ، بنماید. مگر آنکه هم هوای محیط را مساعدتر بگیریم و هم هوای مکان را با درجه رطوبت بیشتر مثلاً ۶۵ ٪ و راحتی کمتر (نظیر نقطه f) ، بپذیریم. مع‌ذلک ظرفیت هوایی آن باید به نسبت زیر باشد :

$$\frac{\lambda_I - \lambda_T}{\lambda_f - \lambda_E} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{۱۹ - ۱۵/۷}{۲۰/۳ - ۱۸/۸} = \frac{۳/۳}{۱/۵} = ۲/۲$$

یعنی ۲/۲ برابر بیشتر باشد.

شکل ۵- نمایش مدارهای زتکا و زنت



مدار یا سیر تحول آن قسمت از هوا که برای خنک کردن آب اشانژور به برج فرستاده می‌شود ، خط ERCD خواهد بود. این هوا از پایین برج به بالای آن صعود کرده در برخورد با آب گرمی که از اشانژور به روی برج ریخته می‌شود ، کسب حرارت و رطوبت می‌نماید و دمای مرطوب آن در حالت تعادل جریان‌ها ، به اندازه تنزل درجه حرارت آب برج ، ترقی می‌نماید به‌طوری‌که در مجموع ، ثبات حرارتی دستگاه به صورت زیر در آید :

$$(I+\alpha)\,\lambda_E \,.\, A \,.\, d = A \,.\, d.\, \lambda_T + \alpha A d \lambda_I$$

ضریب α ، نسبت هوای ارسال شده به برج ، به هوای ارسالی به مکان می‌باشد و معمولاً در حدود ۰/۵ در می‌آید و هوادهی بادرسان ، ۱/۵ برابر هوای ارسالی به‌مکان می‌شود.

تشکیلات زتکا

زتکا برای انجام عملیات فوق احتیاج به چهار عضو بر طبق شکل ۶ دارد :

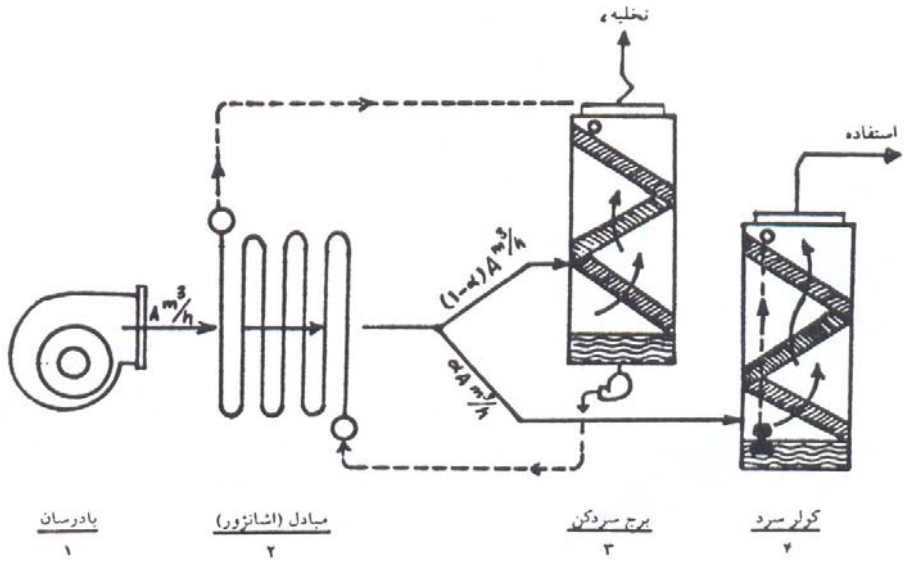
۱- بادرسان یا وانتیلاتور مکنده‌ی هوا از محیط ،

۲- اشانژور خنک‌کننده هوا به صورت خشک از طریق جدار ،

۳- برج خنک‌کننده آب گرم شده در اشانژور ،

۴- صفحه پوشال‌های خیس یا کولر سرد برای سرد کردن هوای خنک شده در اشانژور.

شکل ٦- شمای زتکا و اعضای چهارگانه آن



عضو اضافی و حساس در این مجموعه ، اشانژور یا مبدل حرارت است که چون با اختلاف درجه حرارت ضعیف مابین هوای محیط و آب برج خنک‌کن (حداکثر

به اندازه تفاوت درجات حرارت خشک و مرطوب محیط) کار می‌کند سطح تبادل آن (بنابراین حجم و قیمت تمام شده آن) و افت فشاری که ایجاد می‌کند زیاد در می‌آید. به‌طوری‌که دیده می‌شود دستگاه‌های هواسردکنِ سیستم شبنم، در مقایسه با زنت و کولر آبی ، احتیاج به برج خنک‌کن نیز پیدا می‌کند. هواسردکن‌های سیستم شبنم سابقاً در ایران بر این مبنا ساخته می‌شدند و چون وزن زیاد و بهای نسبتاً سنگین و بازده ضعیف داشتند ، توفیق مطلوب پیدا نکردند.

کوشش ما در این مدت اولاً بررسی و انتخاب اشانژوری بود که بازده و ظرفیت بیشتر، با افت فشار و قیمت کمتر داشته باشد، ثانیاً ترکیب اعضاء طوری باشد که تحول هوا در برج و اشانژور به سوی نقطه شبنم بوده ، آب در گردش ، بیشتر خنک شود.

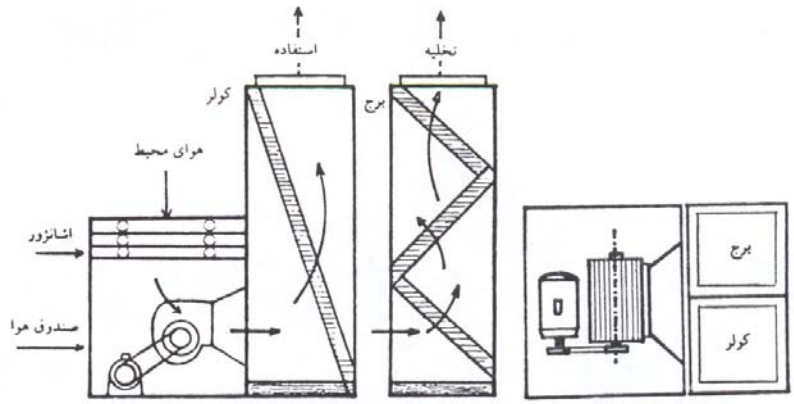
برج به‌جای هوای نظیر نقطه E در شکل ۵ از هوای سرد شده نظیر نقطه R استفاده نماید.

در هواسردکن زتکا، اعضای متحرک دستگاه ، مانند زنت و کولر آبی منحصر به بادرسان بوده ، ساده و کم هزینه در می‌آید.

استفاده از زتکا در زمستان

در زمستان برای گرم کردن هوا از اشانژور تابستانی استفاده به عمل می‌آید (که به وسیله آب داغ دیگ تغذیه خواهد شد).

شکل ۷- پلان زتکا و مقطع طولی آن



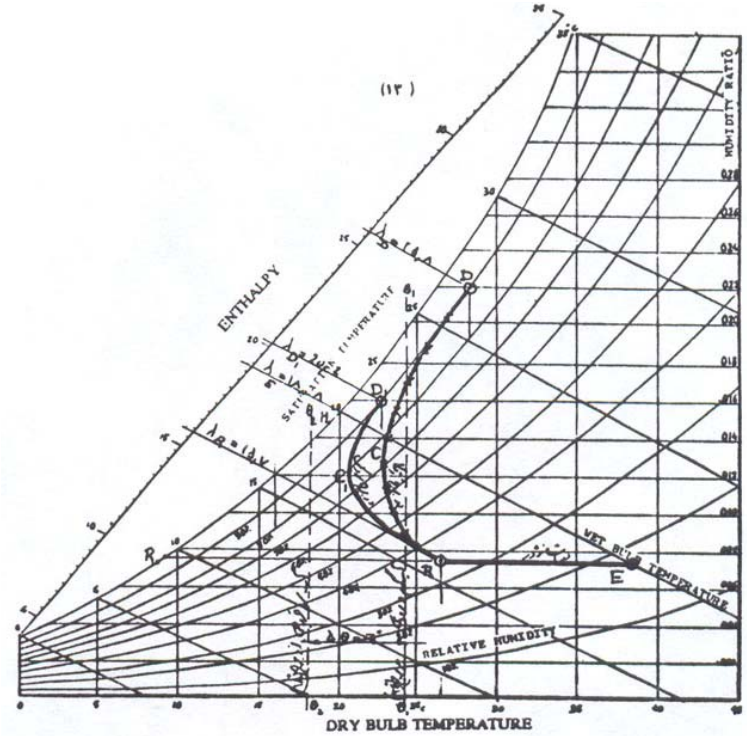
زتکا به وسیله دمپر ورودی صندوق هوا ، به صورت زنت در آمده ، تمام هوای ارسالی بادرسان پس از گرم شدن در اشانژور و تنظیم رطوبت آن در صفحه پوشال‌های برج و کولر ، به مکان فرستاده می‌شود.

برج سرد کن

زتکا این امتیاز را دارد که می‌تواند به سهولت تبدیل به برج خنک‌کن[۱] شود. کافی است کولر آن که سردکننده‌ی هوا است در جهت عکس مورد استفاده قرار گرفته ، سردکننده‌ی آب بشود و به صورت «برج سردکن» در آید.

برج سردکن قادر است درجه حرارت آب گرم ورودی را ، بر خلاف برج خنک‌کن‌های کلاسیک ، تا حدود دمای مرطوب هوای محیط و دو یا سه درجه پایین‌تر از آن ، برحسب میزان خشکی هوا برساند.

شکل ۸- نمایش مدارج برج سرد کن در ترسیمه رطوبی هوا



۱. Refrigeration Tower

برای تبدیل زتکا به برج سردکن :

اولاً ، باید پمپ گردش دهنده آب کولر حذف شود چون احتیاج به وجود آن نبوده آب گرم ورودی برج که باید در اثر تماس و تبخیر با هوا خنک یا سرد شود ، از خارج فرستاده و از تشتک پایین گرفته می‌شود.

ثانیاً ، صفحه پوشال‌ها که در حالت کولر ، ساده و یک طبقه بوده ، باید دو یا سه طبقه شود.

شکل ۸ مدار برج سردکن را نشان می‌دهد. این مدار با همان مفروضات نقاط E و R شکل ۵ که نمایش دهنده مدار زتکا بود ، ترسیم شده است . نقطه R معرف هوای خنک شده بعد از اشانژور است که به دو شاخه RCD و RC_1D_1 تقسیم می‌شود. شاخه RCD تحول هوا در برج خنک کن زتکا را نشان می‌دهد و نظیر RCD شکل (۵) می‌باشد. شاخه RC_1D_1 تحول در برج سردکن را که به جای کولر نشسته است ، نمایش می‌دهد. نقطه نهایی D_1 (تخلیه برج سردکن) دارای درجه رطوبت ۹۰ الی ۱۰۰ ٪ است و درجه حرارت با دمای خشک آن ، اندکی کمتر از دمای آب گرم ورودی t_1 خواهد بود ، به‌طوری که ترقی دمای مرطوب هوای برج سردکن ، مساوی تنزل درجه حرارت آب باشد :

$$t_{hDI} - t_{hR} \approx t_1 - t_2$$

و به طور کلی در مجموع ، تبادل حرارتی دستگاه با معادله ثبات حرارت ، به شرح زیر باید برقرار باشد :

مجموع آنتالیپ‌ها یا حرارت‌های خروجی = مجموع آنتالیپ‌ها یا حرارت‌های ورودی

$$Et_1 + A(1 + \alpha)\, d\, \lambda_E = Et_2 + Ad\,(\lambda_{DI} + \alpha\, \lambda_D)$$

$$E\,(t_1 - t_2) = Ad\,[(1 + \alpha)\,\lambda_E + \lambda_{D1} + \alpha\,\lambda_D]$$

در این معادلات :

E– مقدار آب ورودی به برج سردکن برحسب لیتر در ساعت

A– مقدار هوای ورودی به‌برج خنک‌کن زتکا برحسب متر مکعب در ساعت

t_1– دمای آب گرم ورودی به برج سردکن

t_2- دمای آب خروجی از برج سردکن

d- وزن مخصوص هوا برحسب KG_1M_3

α- نسبت سهمیه هوای برج خنک‌کن زتکا به برج سردکن که جانشین کولر است.

با مفروضات و محاسبات شکل ۸ ، اگر درجه حرارت آب سرد شونده $24^{\circ}C$ باشد، حرارت آب خروجی برج $18^{\circ}C$ شده است که ۲ درجه کمتر از دمای مرطوب محیط می‌باشد.

مهندس بازرگان در حال زدن اولین کلنگ کارگاه جدید
کارخانه صافیاد در شمس‌آباد ، تابستان سال ۱۳۷۳