

Soğutma Teknolojisi

Bahar Y.Y.

Prof. Dr. Ayla Soyer

İçerik

- Soğutma ile ilgili temel kavramlar
- Soğutma sistemleri

Mekaniki soğutma sistemi

Sıcaklık ve ısı kavramları

Sıcaklık

- Bir maddeyi oluşturan atom ve moleküller durağan olmayıp, hareket halindedirler.
- Newton'un 2. hareket yasasına göre, hareket eden bir cismin kinetik enerjisi, cismin kütlesine ve hızına bağlıdır.
- Hareket eden atom ve moleküller o maddede kinetik enerji oluştururlar. Bu enerji maddenin içsel enerjisidir.
- Bir maddeyi oluşturan tüm moleküllerin hareketinden kaynaklanan ortalama kinetik enerji, o maddenin sıcaklığını oluşturur.
- Buna göre; sıcaklık ne kadar yüksek ise, moleküllerin hareketi o kadar fazla demektir.
- Bir cismin sıcaklığını yükseltmek için ona "ısı" gibi bir ek enerji verilmesi gerekir.

Sıcaklık ölçümünde kullanılan skalalar

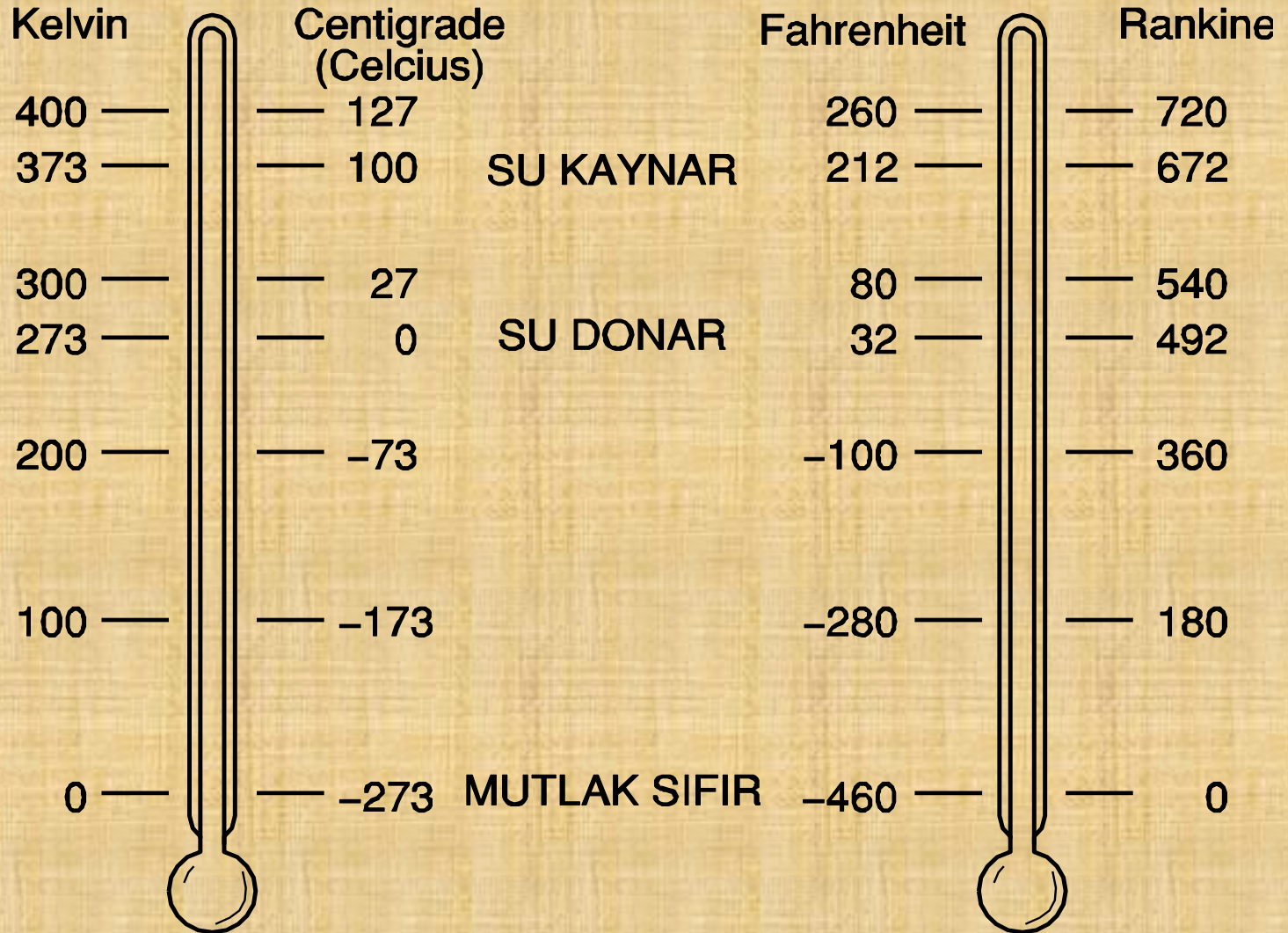
Başlıca iki termometre skalası

- Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)
- Celcius ($^{\circ}\text{C}$) (santigrat skalası)

Bunlar dışında;

- Kelvin ve
- Rankin skalaları

Sıcaklık ölçümünde kullanılan skalalar



Sıcaklık ve ısı kavramları

Isı

Bir enerji şeklidir. Bir sistem ile sistemin çevresi arasında yalnız sıcaklık farkından dolayı akan enerji türüdür.

- Burada sıcaklık derecesi, ısı enerjisinin akış yönünü belirler.
- Isı, sıcaklığı yüksek olan sistemden, düşük olan sisteme doğru akar.
- Isı birimleri; kcal

BTU (Btu)

1 kcal: 1 kg suyun sıcaklığını 14.5°C 'den 15.5°C 'ye (1°C) yükselmesini sağlayan ısı enerjisidir.

1 BTU: 1 pound suyun sıcaklığını 63°F 'dan 64°F 'a (1°F) ısınmasını sağlayan ısı enerjisi miktarıdır.

- Isı enerjisi

Isı bir enerji formu olduğuna göre, herhangi bir enerji birimi aynı zamanda bir ısı birimi demektir.

Her enerji birbirine dönüşebilir.

SI 'de; iş birimi olan ve aynı zamanda ısı enerjisi birimi olarak da kullanılan Jul'ün ve diğer ısı birimlerinin birbirleriyle eşdeğer ilişkileri:

$$1 \text{ KJ} = 0.23889 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ KJ} = 0.948 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ kcal} = 4.186 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kcal} = 3.968 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ Btu} = 0.252 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ Btu} = 1.055 \text{ kJ}$$

Soğuk tekniğinde ısı ile ilgili olarak kullanılan iki kavram:

- Frigori
- Soğuk tonu (tons of refrigeration)

Frigori: Bir soğutucunun soğutma kapasitesinin kalori olarak ifadesidir. Örneğin 30 000 frigorilik soğutucu denildiğinde, bu soğutucunun soğutma kapasitesinin 30 000 kcal/h olduğu anlamına gelir.

Soğuk tonu: 0°C'de 1 ingiliz tonu suyun, 24 saatte donmasını sağlayacak kadar ısının uzaklaştırılmasına eşdeğer bir soğutma kapasitesini ifade eder.

1 İngiliz tonu 2000 lb'dir. (1 lb=0.453 kg)

suyun donma gizli ısısı 144 Btu/lb'dir.

Buna göre 1 soğuk tonu: $2000 \text{ lb} \times 144 \text{ Btu/lb} = 288\,000 \text{ Btu/24 h}$

Kcal olarak;

1 soğuk tonu: $(2000 \times 0.453 \text{ kg}) \times 80 \text{ kcal/kg} = 72\,560 \text{ kcal/24 h}$

Isı kapasitesi ve özgül ısı

Isı kapasitesi: Bir cisme verilen ΔQ ısısının, o cisimde neden olduğu ΔT sıcaklık değişimine oranı, o cismin ısı kapasitesidir (C).

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad \text{birimi, J/}^\circ\text{C, kJ/}^\circ\text{C}$$

Molar ısı kapasitesi: Bir maddenin 1 molünün 1°C ısınması için gerekli olan ısıya, o maddenin molar ısı kapasitesi denir.

Birimi, J/mol $^\circ\text{C}$

Özgül ısı: Bir maddenin ısı kapasitesinin, o maddenin birim kütlesine oranı onun özgül ısıdır.

$$\text{Özgül ısı, } C_p = \frac{\text{Isı kapasitesi}}{\text{Kütle}} = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \quad \text{Birimi; kJ /kg }^\circ\text{C}$$

Isı enerjisi ve türleri

- Bir maddenin sıcaklığı yükselmiş ise, ısı kazanmıştır.
- Bir maddenin sıcaklığı düşmüş ise, ısı kaybetmiştir.
- Fakat bir maddenin ısı kazanma veya kaybetmesi, daima onun sıcaklığında bir değişime neden olmaz.
- İç enerjide bir kazanç veya kayıp, o maddede sıcaklık değişimine neden olmaksızın faz değişimine neden olur.
- Bir maddenin sıcaklığında değişmeye neden olan ısıya "**hissedilir ısı**" denir.
- Bir maddenin sıcaklığında değişme olmaksızın o maddenin faz değiştirmesini sağlayan ısıya "**gizli ısı**" denir.

Örnek: 100°C'de kaynayan suyun, aynı sıcaklıkta buhara dönüşmesi

- Faz değişiminde sıvı buharlaşıyorsa bu ısıya “**buharlaştırma (evaporasyon) gizli ısı**” denir.
- Faz değişiminde sıvı donuyorsa bu “**donma gizli ısı**”dır.
- Hissedilir ısı hesabı:

$$Q = m c_p \Delta T$$

Q = Suyun kazandığı hissedilir ısı, KJ

m = Suyun kütlesi, kg

c_p = Suyun özgül ısı, KJ/kg°C

ΔT = Suyun sıcaklığındaki değişim, °C

Tam tersi durumda;

- Yani, soğutulursa, bu sefer buhar yoğunlaşır. Bu sırada uzaklaştırılan ısıya **“yoğunlaşma gizli ısısı”** denir.
- Donmuş halden sıvı hale dönüş söz konusu ise, burada buzun tamamen sıvı hale dönüşmesi için verilen ısıya **“erime gizli ısısı”** denir.

Entalpi

- Bir sistemin entalpisi, hissedilir ısı ile gizli ısı toplamından oluşur. Buna göre entalpi, toplam ısı demektir.
- Buzun buhara dönüşmesinde entalpi değişim grafiği

Termodinamiğin temel yasaları

- 1. yasa: İzole edilmiş bir sistemde enerji sabit kalır. Başka deyişle; enerji yok edilemez veya oluşturulamaz ve fakat başka bir şekle dönüşebilir.
- 2. yasa: Enerji spontan olarak sadece, yüksek olandan düşük olana doğru transfer olur.

Isı transferi

- Gıdanın soğukta muhafazası işleminde daima gıdadan ve gıdanın saklandığı ortamdan ısının uzaklaştırılması gibi temel bir olay sözkonusudur.
- Isının bir ortamdan başka bir ortama taşınmasına **ısı transferi** denir.
- Başlıca iki ısı transfer şekli;
 - *kondüksiyonla ısı transferi
 - *Konveksiyonla ısı transferi

SOĞUTMA SİSTEMLERİ

- Mekaniki soğutma sistemi
- Çok aşamalı soğutma sistemi
- Absorpsiyonlu soğutma sistemi

Soğutma sistemi;

- Düşük sıcaklıkta ortamdaki ısıyı, daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama aktaran sistemdir.
- Eğer bir sistem, çevre sıcaklığının altında tutulması gerekiyorsa ısının termodinamiğin 2. yasasının tersine düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa aktarılması gereklidir.
- Bunun için ortama enerji verilmesi gereklidir.
- Buna göre soğutma sistemi, düşük sıcaklığın hakim olduğu bir ortamın ısını yüksek sıcaklıktaki bir ortama aktaran pompa gibi görülebilir.

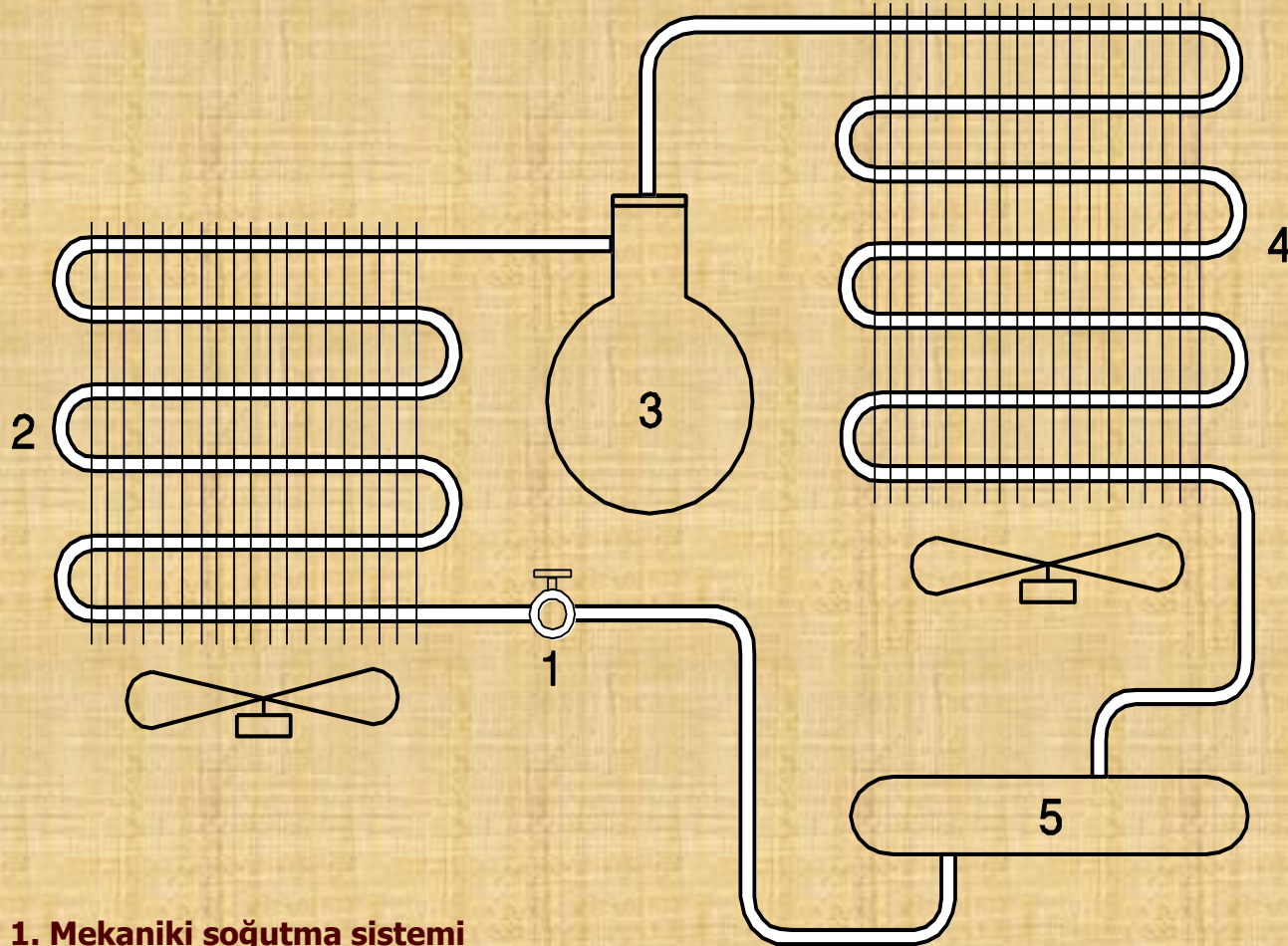
- Bir soğutma sisteminde bir soğuk ve bir de sıcak uç vardır.
- Sistemin düşük sıcaklıktaki tarafı (soğuk ucu), soğutulan ortamın sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta tutulur. Böylece soğutulan ortamın ısı, termodinamiğin 2. yasasına göre soğutma sisteminin soğuk tarafına spontan olarak akabilmektedir.
- Soğutma sisteminin sıcak tarafı, soğutulan ortamın dışında yer alır ve sıcaklığı, buradaki çevrenin sıcaklığından daha yüksek olmalıdır ki, soğutulan ortamda absorbe edilmiş ısı, çevreye spontan olarak akabilsin.
- Bu ısı bazen, başka bir ısıtma işleminde ısı kaynağı olarak kullanılabilir.

- Soğutma sisteminde bir sıcak bir de soğuk ucun oluşması, sistemde devamlı dolaşan bir soğutucu akışkan (refrijerant) yardımıyla sağlanabilmektedir.
- Soğutucu akışkan, fiziksel olarak diğer sıvılar gibi davranır. Bilindiği gibi bir sıvının kaynama ve yoğunlaşma sıcaklığı, mutlak basıncın bir fonksiyonudur.
- Yani, sıvı düşük basınç altında daha düşük derecelerde kaynar.
- Soğutma sistemlerinde düşük basınç altında düşük sıcaklık derecesinde kaynayan refrijerant (soğuk uç), soğutulan çevrenin ısını buharlaşma gizli ısı olarak yüklenir.
- Bu şekilde buharlaşan refrijerant, yüksek bir basınca sıkıştırıldığında, yüksek sıcaklıkta yoğunlaşır (sıcak uç).
- Böylece absorbe edilmiş ısı, yoğunlaşma sonucu serbest kalır ve yoğunlaştığı çevreye yayılır.

Mekaniki Soğutma sistemleri

- Tek aşamalı kompresyon sistemi
- Soğutma sisteminin başlıca üniteleri

Tek aşamalı kompresyon sistemi



Şekil 1. Mekaniki soğutma sistemi

1: Genişleme valfi, 2: Evaporatör, 3: Kompresör,
4: Kondenser, 5: sıvı refrijerant deposu

Soğutma sisteminin başlıca elemanları

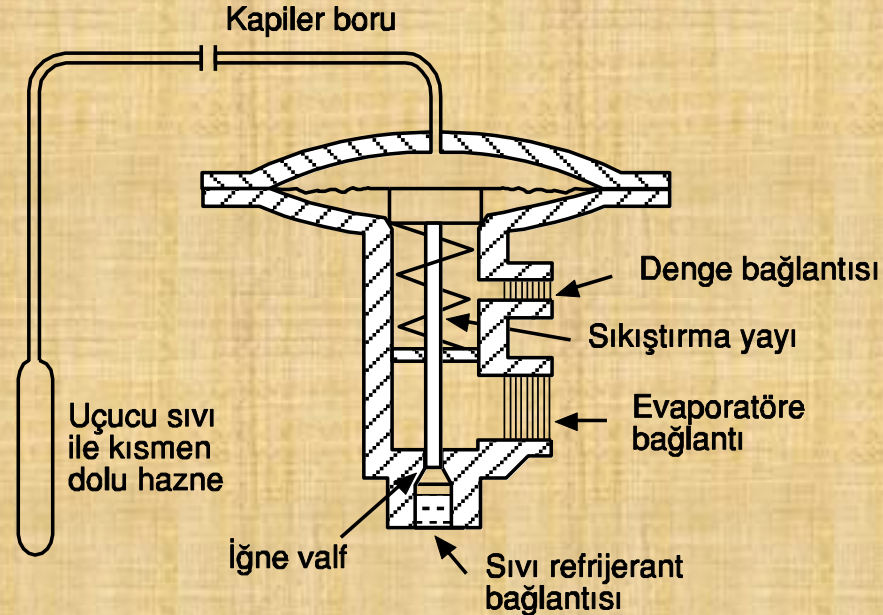
- Genişleme (genleşme) valfi
- Kompresör
- Evaporatör
- Kondenser
- Refrijerant

Soğutma sisteminin başlıca üniteleri

Genişleme valfi (genleşme valfi, akış kontrol valfi)

Sabit bir buharlaşma sıcaklığı oluşturmak üzere refrijerantın evaporatöre akışını otomatik olarak düzenleyen cihazlardır.

Soğutucu akışkan basıncını istenilen buharlaşma basıncına düşürmeye yarayan sistem elemanıdır.

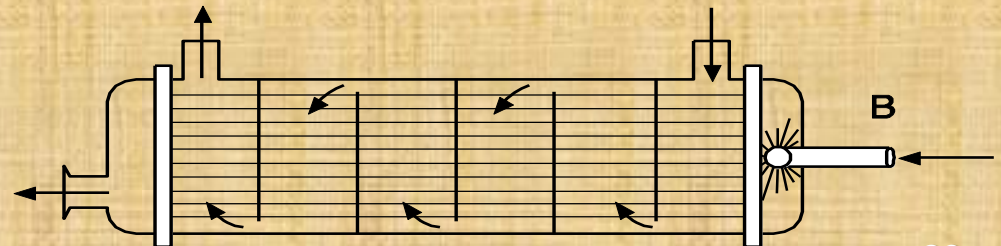
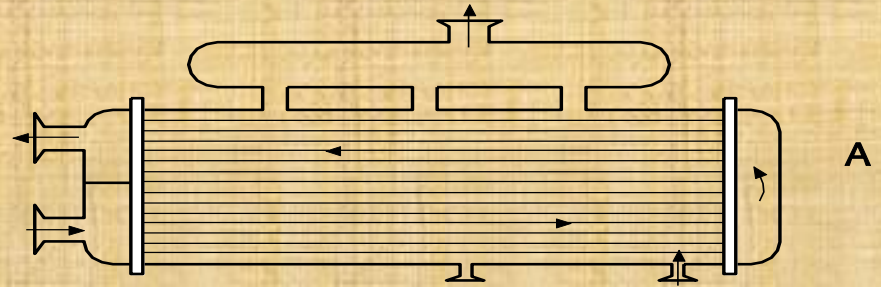


Termostatik genişleme valfi

Evaporatör (buharlaştırıcı)

- İçinde sıvı refrijerantın buharlaştığı bir boru demetidir. Isı transferinin hızlı ve yeterli olması için hem uygun bir malzemedен yapılmış olması, hem de çok geniş bir yüzeye sahip olması gerekir.

- Çelik,
- bakır,
- pirinç,
- alüminyum



Evaporatörler

- İçinde sıvı refrijerantın buharlaştığı boru demetidir.
- Isıl iletkenlik katsayısı çok yüksek materyallerden yapılmalıdır (Al, Cu gibi).
- Geniş bir yüzeye sahip olması gereklidir.
- Evaporatöre transfer olan ısı Q ile gösterilirse, soğutulan ortamdan evaporatördeki refrijeranta transfer olan ısı miktarı:

$$Q = k \times A \times \Delta T_{lm}$$

k : Toplam ısı transfer katsayısı

A : Evaporatörün efektif yüzey alanı

ΔT_{lm} : Logaritmik sıcaklık farkı

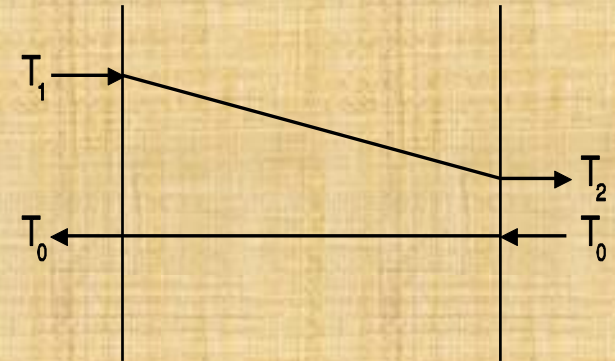
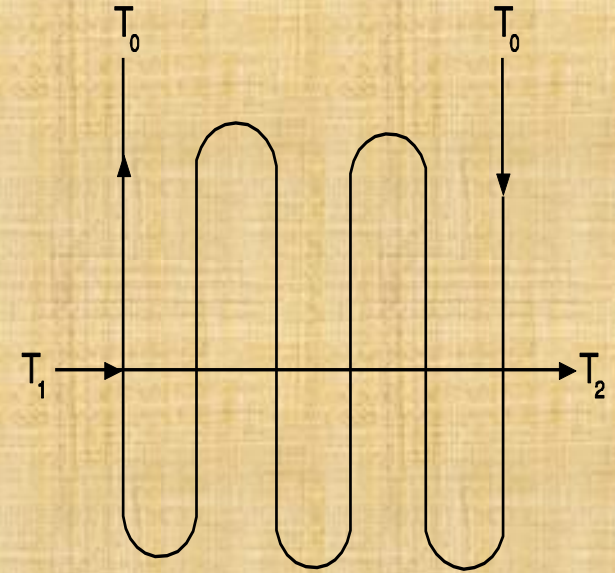


Evaporatörler



Evaporatörler

- ΔT_{lm} değeri yüksek tutulursa, evaporatörün yüzey alanını küçültme olanağı doğar.
- Bu durumda T_0 düşer. Eğer soğutulan hava ise, havadaki su buharı, evaporatör dış yüzeyinde yoğunlaşarak karlanmaya neden olur. Hava nemi düşer ve depolanan madde su kaybeder.
- ΔT soğuk hava depolarında $5-6^\circ\text{C}$ civarında tutulur.



Evaporatörde sıcaklık profili

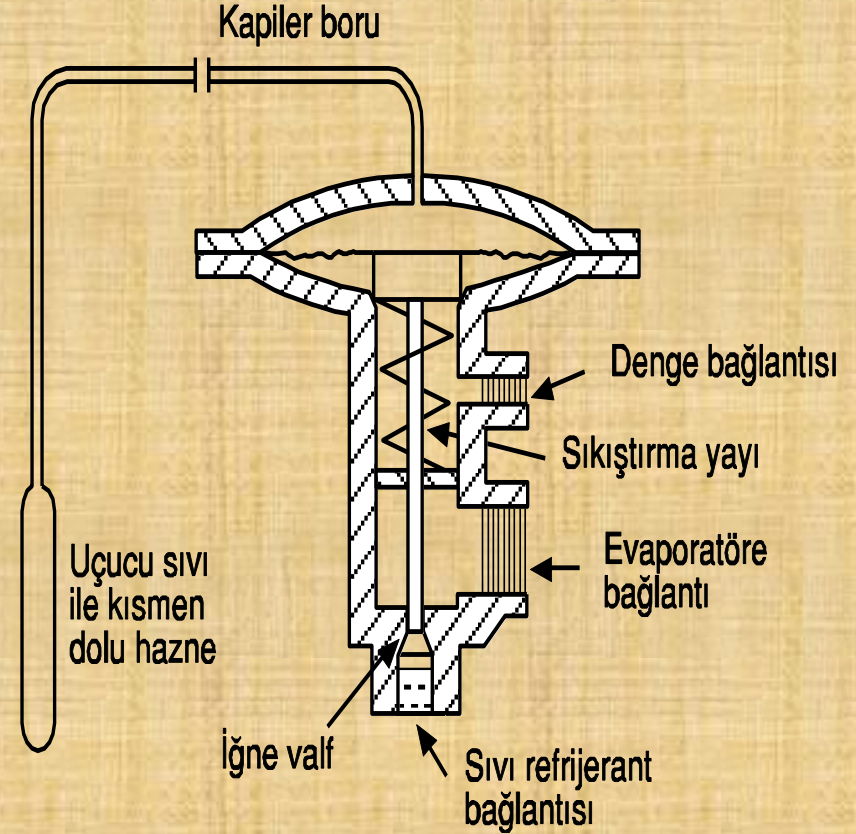
T : Soğutulacak ortamın evaporatöre giriş sıcaklığı
 T^1 : Soğutulmuş ortamın evaporatörden çıkış sıcaklığı
 T_0^2 : Refrijerantın buharlaşma sıcaklığı

Evaporatörler

Başlıca iki tip evaporatör vardır:

- Kuru evaporatörler (direkt genişlemeli evaporatörler)
Genişleme valfinden geçen refrigerant evaporatörü dolaştıktan sonra kompresöre gelir. Yani refrigerant evaporatörü tümünden buharlaşmış olarak terk eder. Bu tip sistemlerde termostatik kontrol kullanılır. Evap. çıkışındaki gaz sıcaklığı, sıcaklığa duyarlı bir eleman tarafından genişleme valfini kumanda eder.

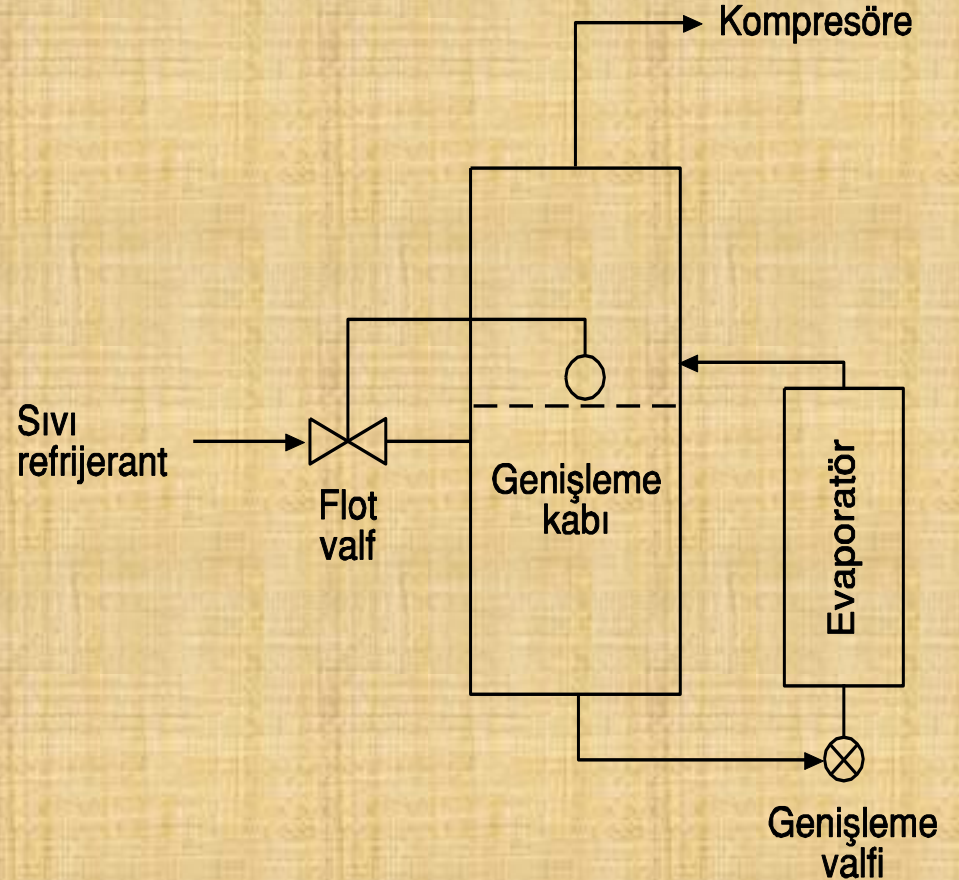
- Islak evaporatörler



Termostatik genişleme valfi

Evaporatörler

- Islak evaporatörler Genişleme valfini geçen refrijerant bir ara hazneye gelir. Bu haznedeki basınç evaporatör basıncına eşittir. Derhal bir kısım ref. buharlaşır. Buharlaşan ref. kompresör tarafından emilir. Soğuk sıvı refrijerant evaporatöre gider.



Islak evaporatörün çalışma ilkesi

Kompresör

- Evaporatörde oluşmuş refrijerant buharını emerek, daha sonra gideceği kondenserde yoğunlaşabileceği bir basınca sıkıştıran ve kondensere sevkeden ünedir.

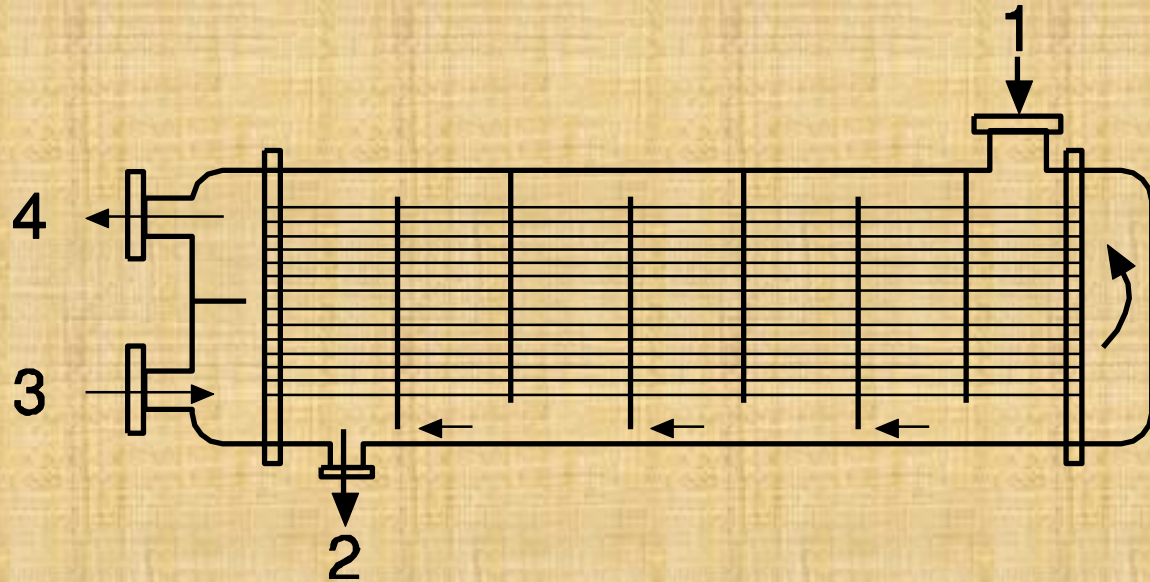
Kompresörler

Başlıca 4 tip kompresör vardır.

- Rotorlu
- Pistonlu
- Turbo (santrifugal kompresör)
- Vidalı

Kondenser (yoğuşturucu)

- Kompresörden kızgın gaz halinde gelen refrijerantın soğutulup, yoğunlaştırıldığı ünitelerdir.



Boru demetli silindirik kondenser

Kondenserler (kondensatörler)

- Gaz halindeki sıcak, kızgın refrijerantın soğutulup, yoğunlaştırıldığı ısı değiştiricilerdir.
- Boru demetinden oluřmuřlardır.

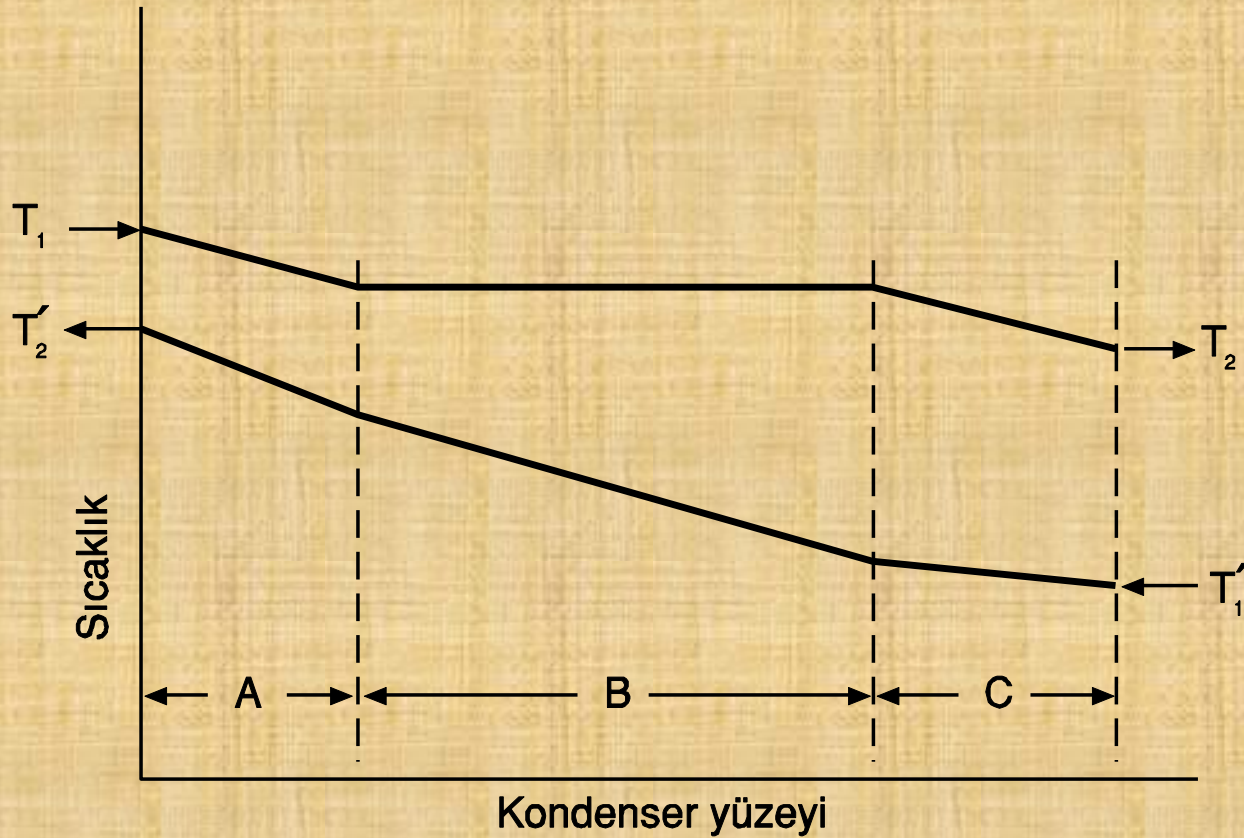
Kondenserlerde soğutma ortamı olarak hava veya su kullanılır. Buna göre;

- Hava soğutmalı kondenserler
- Su soğutmalı kondenserler olmak üzere iki tipi vardır.
- Her iki tipte de soğutma; önce kızgınlık alma, yoğunlaştırma ve aşırı soğuma gibi üç aşamada gerçekleşir.

Kondenserler



Ticari tip hava soğutmalı kondenser



Kondenselerde sıcaklık profili

T_1 : Refrijantın kondensere giriş sıcaklığı

T_1' : Refrijerantın kondensere çıkış sıcaklığı

T_2' : Soğutma ortamının (su veya hava) giriş sıcaklığı

T_2 : Soğutma ortamının çıkış sıcaklığı

A:Kızgınlık alma bölgesi, B:Yoğunlaşma bölgesi, C:Aşırı soğuma bölgesi

Kondenselerler

Hangi tip kondenselerin seçileceęi;

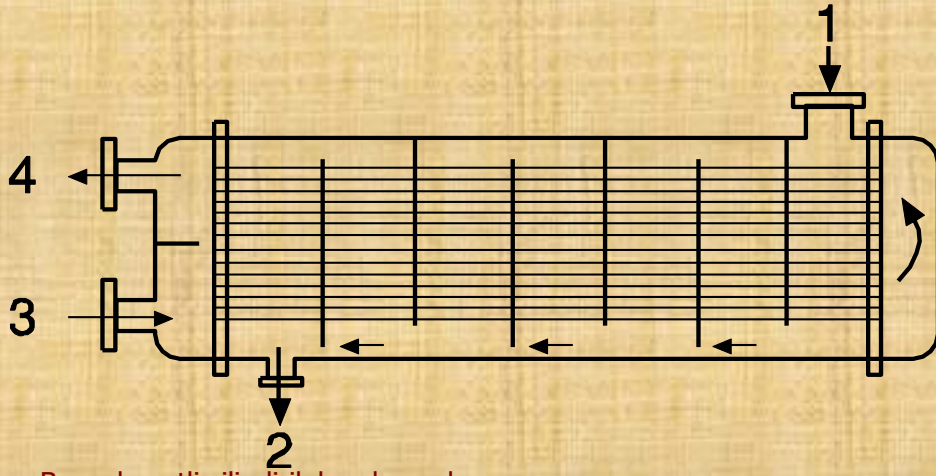
- Sistemin kapasitesi
- Kullanılan refrijerant tipi,
- Bol su kaynağı olup olmaması gibi faktörlere göre değişir.
- Küçük soğutma ünitelerinde (40000 kJ/h) çoęunlukla hava soęutmali kondenselerler
- Amonyakli sistemlerde ve büyük kapasiteli sistemlerde daima su soęutmali kondenselerler kullanilir.

Hava soğutmalı kondenselerde;

- Çıplak boru sisteminden oluşur. Boru içerisinden sıcak gaz geçerken soğur ve yoğunlaşır.
- Küçük kapasiteli soğutma sistemlerinde fan'a gereksinim olmaksızın havanın doğal konveksiyonu ile soğuma gerçekleşir.
- Büyük kapasiteli sistemlerde hem kondenser yüzey alanının büyütülmesi, hem de fan kullanılarak soğutma etkinliğinin artırılması gereklidir (zorlamalı sirkülasyon).
- Seçilen yoğunlaşma sıcaklığı ile soğutmada kullanılan hava sıcaklığı arasında en az 6°C fark olmalıdır.
- Hava soğutmalı kondenselerin olumsuzluğu:
- Hava sıcaklığına bağımlı olmaları ve bunun da mevsim ve hatta gün boyunca değişmesi nedeniyle otomatik olarak kontrol edilmeleri güçtür.
- Olumlu tarafları, kullanılmaları basit, bakımları kolaydır.

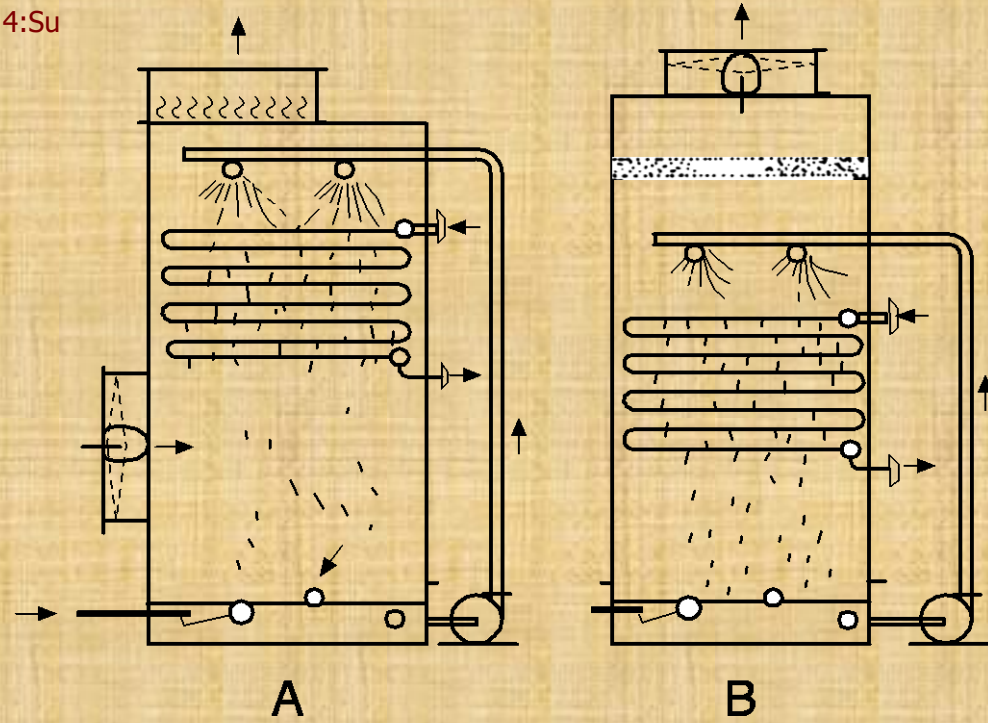
Su soğutmalı kondenselerde;

- Amonyaklı sistemlerde kullanılır.
- Kullanılan su yumuşak olmalıdır. Aksi halde kondenser yüzeyi taşlaşır ve soğutma etkinliği azalır.
- Yumuşak su pahalıdır. Isınmış yumuşak su atılmaz ve soğutma kulelerinde soğutulur.
- Olumsuzluğu; su tarafındaki yüzeyin zamanla kirlenmesi, su sertliğinden dolayı taşlaşmasıdır.
- Olumlu tarafı daha etkin soğuma gerçekleşmektedir.



Boru demetli silindirik kondenserler

1:Refrijerant buharı girişi, 2:Sıvı refrijerant çıkışı, 3:Soğuk su girişi, 4:Su çıkışı



Evaporatif kondenserler,A:Hava üflemeli,B:Hava çekişli