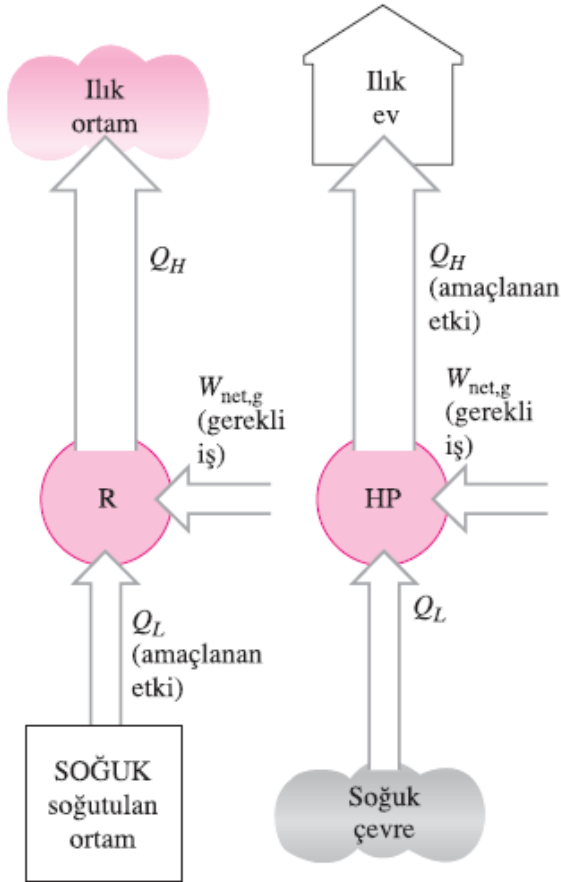


SOĞUTMA MAKİNELERİ VE ISI POMPALARI



Düşük sıcaklıktaki ortamdan yüksek sıcaklıktakine ısının aktarılması için soğutma makinaları olarak adlandırılan özel düzeneklere gereksinim duyulur.

Soğutma makinaları ve ısı pompaları aslında aynı düzenekler olmakla birlikte, kullanım amaçları farklıdır.

$$COP_{SM} = \frac{\text{Elde edilmek istenen}}{\text{Harcanan}} = \frac{\text{Soğutma etkisi}}{\text{İş girişi}} = \frac{Q_L}{W_{net,g}}$$

$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde edilmek istenen}}{\text{Harcanan}} = \frac{\text{Isıtma etkisi}}{\text{İş girişi}} = \frac{Q_H}{W_{net,g}}$$

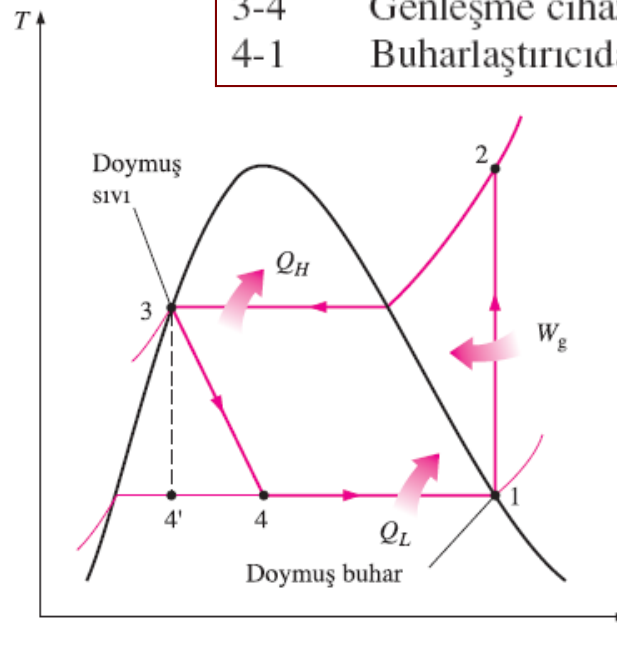
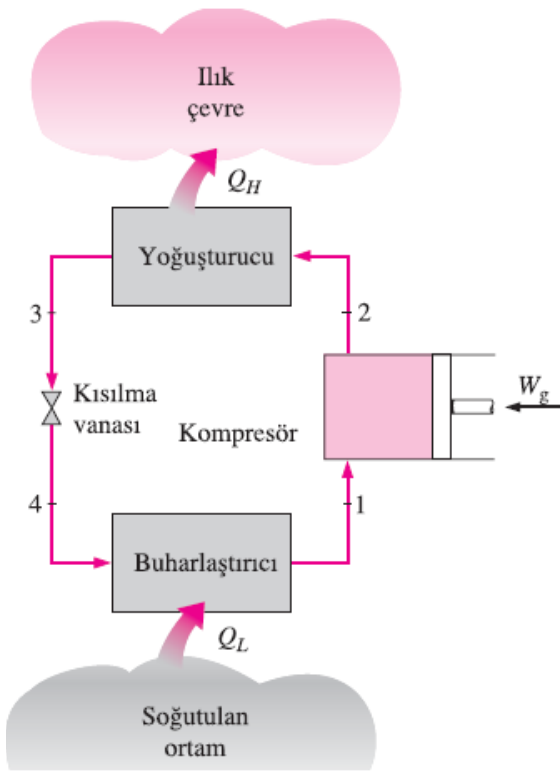
$$COP_{IP} = COP_{SM} + 1$$

Q_L ve Q_H in sabit değerleri için

Soğutma makinesinin amacı soğutulan ortamdaki ısıyı çekmektir (Q_L); ısı pompasının amacı ılık ortama ısı vermektir (Q_H)

İDEAL BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi soğutma makinaları için ideal bir çevrimdir. Ters Carnot çevriminin aksine soğutucu akışkan sıkıştırılmadan önce tümüyle buharlaştırılır ve türbini yerini kısılma işlemi alır.

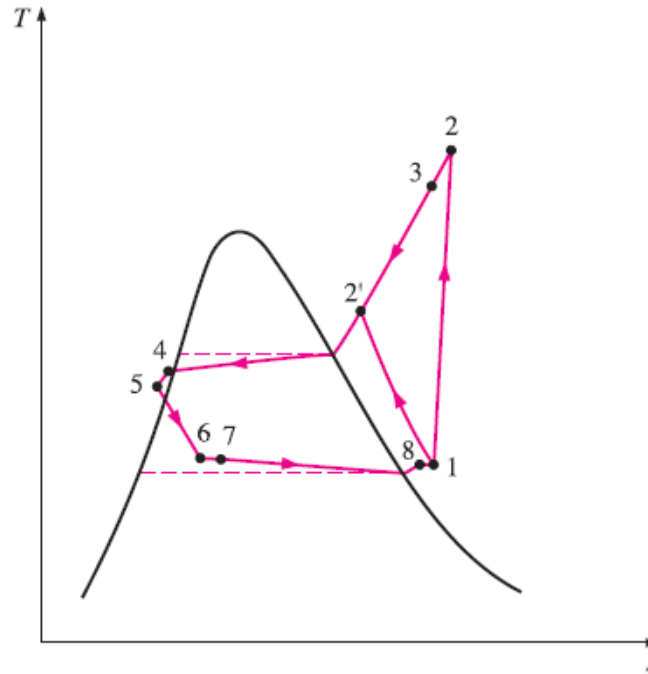
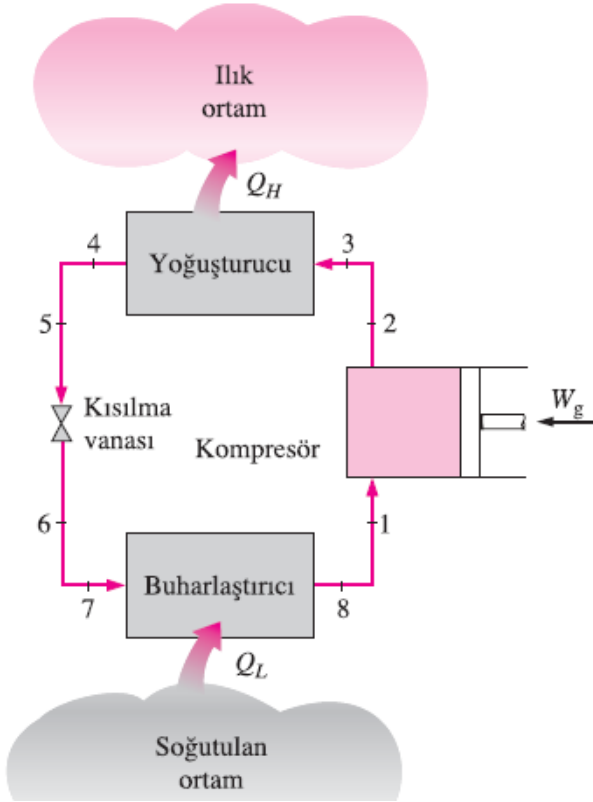


- | | |
|-----|---|
| 1-2 | Kompresörde izantropik sıkıştırma |
| 2-3 | Yoğunlaştırıcıda çevreye sabit basınçta ısı verilmesi |
| 3-4 | Genleşme cihazında kısılma |
| 4-1 | Buharlaştırıcıda sabit basınçta ısı alınması |

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin düzeni ve T-s diyagramı

GERÇEK BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ideal olandan bazı bakımlardan farklı olup, bu durum genellikle çevrimi oluşturan çeşitli elemanlardaki tersinmezliklerden kaynaklanır. Tersinmezliğin iki ana kaynağı, basıncın düşmesine neden olan **akışkanın sürtünmesi** ve **çevreyle yapılan ısı alışverişidir**. Tersinmezliklerin sonucu olarak COP azalır.



FARKLILIKLAR

İzantropik olmayan sıkıştırma

Buharlaştırıcı çıkışındaki kızgın buhar

Yoğuşturucu çıkışındaki sıkıştırılmış sıvı

Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı çıkışındaki basınç düşüşleri

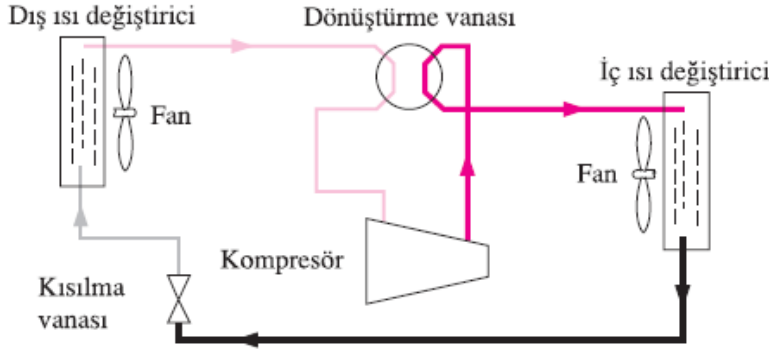
Gerçek buharlı çevrimin düzeni ve T-s diyagramı.

DOĞRU SOĞUTKANIN SEÇİMİ

- Bir soğutma sistemini tasarlarken seçilebilecek birçok soğutkan vardır. Bunlar arasında kloroflorokarbonlar (CFC), amonyak, hidrokarbonlar (propan, etan, etilen vb), karbondioksit, hava (uçakların iklimlendirmesinde kullanılan) ve hatta su (donma noktasının üzerindeki uygulamalarda) sayılabilir.
- R-11, R-12, R-22, R-134a, ve R-502 piyasada kullanılan soğutucu akışkanların büyük bölümünü oluşturmaktadır.
- Endüstriyel ve büyük ölçekli ticari sektörler, zehirleyici olmasına rağmen amonyağı tatminedici bulmuşlardır.
- Büyük kapasitedeki su soğutuculu bina iklimlendirme sistemlerinde en çok R-11 kullanılmaktadır. R-12'den ev tipi buzdolaplarında ve derin dondurucularda ve otomobil klimalarında yararlanılmaktadır. R-22 pencere tipi klima cihazlarında, ısı pompalarında, büyük binaların merkezi iklimlendirme sistemleri ile endüstriyel soğutma sistemlerinde kullanılmakta ve benzer sistemlerde ki amonyak ile rekabet halinde bulunmaktadır.
R-22'nin bir karışımı olan R-502, süpermarketler gibi ticari soğutma sistemlerinin kullanıldığı uygulamalarda baskın soğutkandır.
Kloroflorokarbonların koruyucu ozon tabakasına zarar vermeleri ile dünya atmosferine daha fazla morötesi ışınımının girmesine neden oldukları 1970'lerin ortalarında fark edilmiş ve bunun da küresel ısınmaya neden olan sera etkisine katkıda bulunduğu anlaşılmıştır. Tam olarak halojenleştirilmiş kloroflorokarbonlar (R-11, R12 ve R-115 gibi) ozon tabakasına en fazla zararı vermektedirler. Tam olarak halojenleştirilmemiş R-22 gibi soğutkanların ozon tüketim kabiliyetleri, R-12'nin yaklaşık %5'i kadardır. Yeryüzünü zararlı morötesi ışınlardan koruyan ozon tabakası dostu soğutkanlar geliştirilmektedir. Soğutkan seçiminde dikkate alınması gereken iki önemli parametre soğutkanın ısı alışverişinde bulunduğu iki ortamın (soğutulan ortam ile çevre) sıcaklıklarıdır

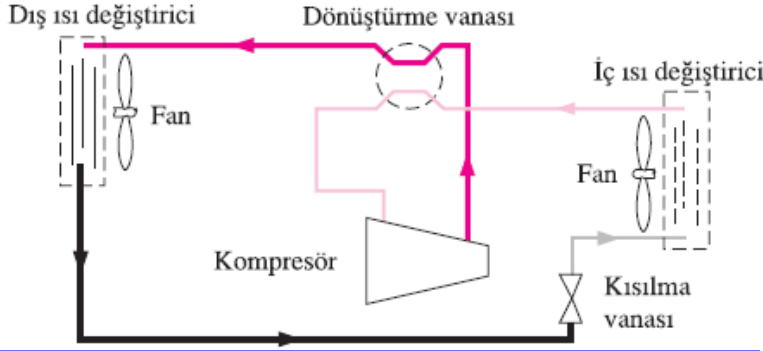
ISI POMPASI SİSTEMLERİ

ISI POMPASININ ÇALIŞMASI - ISITMA BİÇİMİ



- Yüksek basınçlı sıvı
- Düşük basınçlı sıvı-buhar karışımı
- Düşük basınçlı buhar
- Yüksek basınçlı buhar

ISI POMPASININ ÇALIŞMASI - ISITMA BİÇİMİ



Isı pompası yazın bir evi soğutmak, kışın bir evi ısıtmak için kullanılabilir.

Isı pompaları için en çok kullanılan enerji kaynağı, su ve topraktan da yararlanılmasına rağmen havadan havaya sistemlerde atmosferik havadır.

Suyu ısı kaynağı olarak kullanan sistemler genelde 80 m'ye kadar inen derinliklerdeki, sıcaklığı 5 ile 18°C arasında değişen yeraltı sularını kullanırlar ve karlanma problemleri yoktur. Bu sistemler daha yüksek etkinlik katsayılarına sahip olmakla birlikte, daha karmaşıktırlar ve yeraltı suyu gibi büyük miktarlardaki su kütlelerine kolay bir şekilde erişime gereksinim duyarlar.

Isı pompasının kapasitesi ve etkinliği düşük kaynak sıcaklıklarında önemli ölçüde azalır.

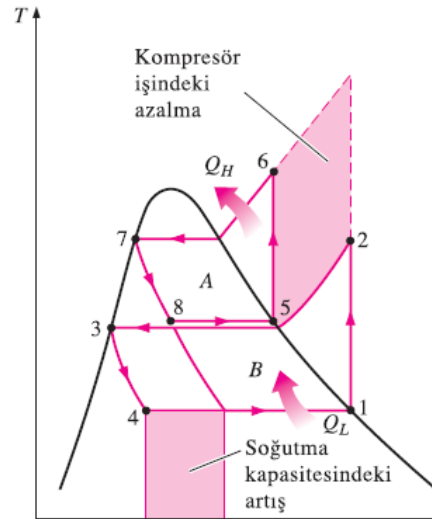
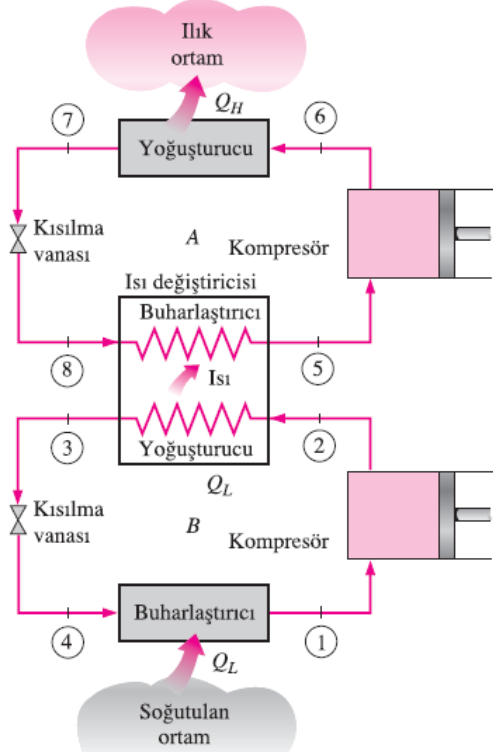
Bundan dolayı havayı ısı kaynağı olarak kullanan ısı pompalarının çoğunda, elektrikli ısıtıcı, mazotlu ya da doğal gazlı kat kaloriferleri gibi yardımcı ısıtma sistemlerine ihtiyaç duyulur.

Isı pompalarının en rekabetçi olduğu yöreler, güney bölgelerimizde olduğu gibi yazın soğutma yükünün büyük, kışın ısıtma yükünün küçük olduğu yerlerdir. Bu yörelerde ısı pompası konutların ve işyerlerinin ısıtma ve soğutma yüklerinin tümünü karşılayabilir. Öte yandan yazın soğutmanın az, kışın ısıtmanın oldukça fazla olduğu yörelerde ısı pompasının ekonomik olması zordur.

YENİLİKÇİ BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ

- Basit buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi en yaygın olarak kullanılan soğutma çevrimi olup, soğutma uygulamalarının büyük çoğunluğu için yeterlidir.
- Basit buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri ucuz ve güvenilir olmalarının yanı sıra hemen hemen hiç bakım gerektirmezler
- Fakat büyük endüstriyel uygulamalarda basitlikten çok etkinlik önem kazanır.
- Bazı uygulamalar için basit buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi yetersiz kalmakta ve iyileştirilmesi gerekir.
- Aşağıda etkinliği artırmak için yapılan düzenlemelerden birkaçı incelenecektir
 - Ardışık Soğutma Sistemleri
 - Çok Kademeli Sıkıştırma Yapılan Soğutma Sistemleri
 - Tek Kompresör ile Çalışan Çok Amaçlı Soğutma Sistemleri
 - Gazların Sıvılaştırılması

Ardışık Soğutma Sistemleri



Bazı endüstriyel uygulamalar oldukça düşük sıcaklıklara gereksinim duyarlar ve uygulamanın söz konusu sıcaklık aralığı, basit buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin etkin çalışabilmesi için çok büyük olabilir. Bu gibi durumlarda başvurulan yöntemlerden biri soğutma işlemini iki kademe gerçekleştirmektir.

$$\dot{m}_A(h_5 - h_8) = \dot{m}_B(h_2 - h_3) \longrightarrow \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_B} = \frac{h_2 - h_3}{h_5 - h_8}$$

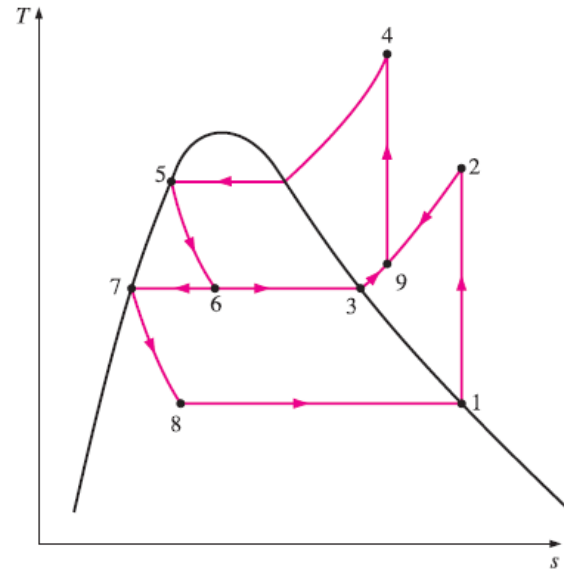
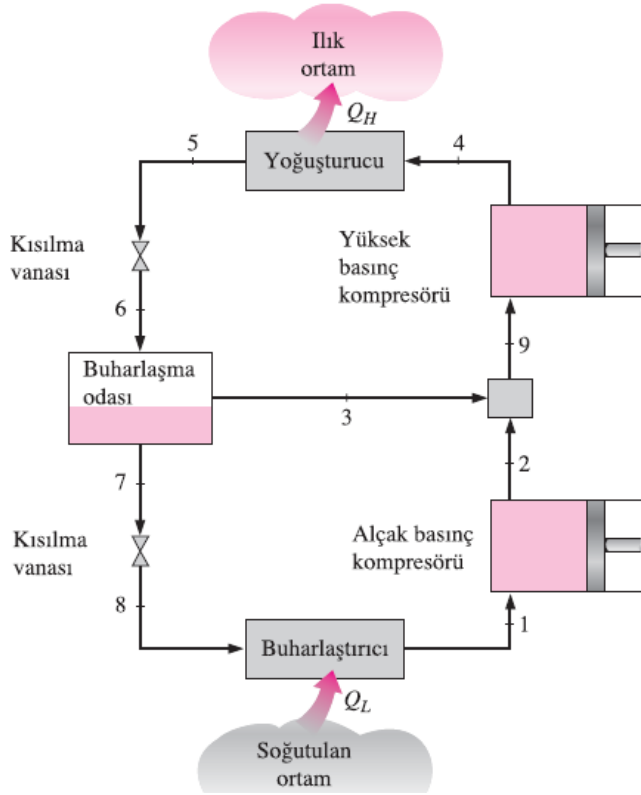
$$\text{COP}_{\text{SM,ardışık}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{net,g}}} = \frac{\dot{m}_B(h_1 - h_4)}{\dot{m}_A(h_6 - h_5) + \dot{m}_B(h_2 - h_1)}$$

Her iki kademe de aynı soğutucu akışkanın kullanıldığı bir ikili soğutma sistemi.

Ardışık soğutma soğutma sisteminin COP sini artırır

Bazı sistemler üç veya dört kademeli ardışık soğutma kullanır

Çok Kademeli Sıkıştırma Yapılan Soğutma Sistemleri

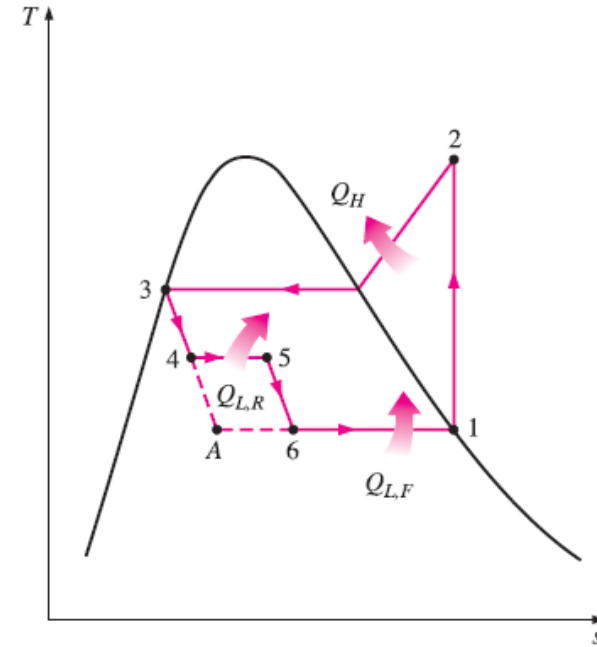
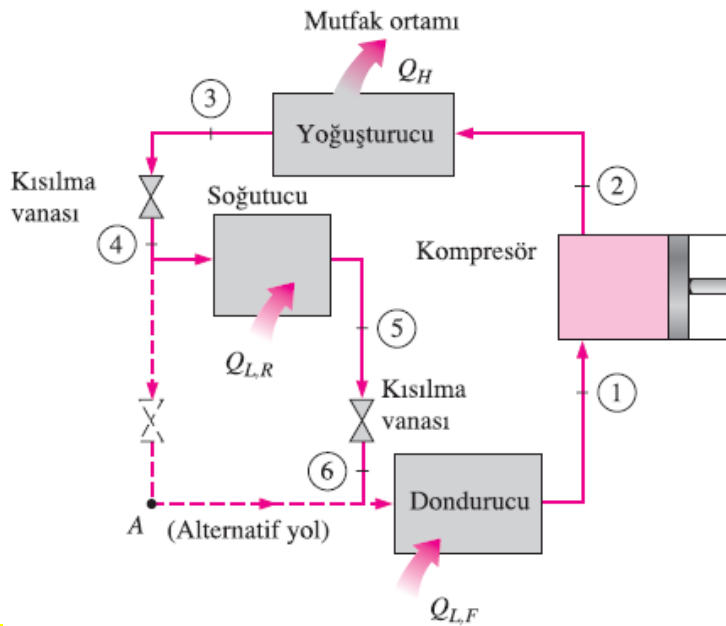


Ardışık soğutma sisteminin her tarafında kullanılan akışkan aynı ise, kademeler arasındaki ısı değiştirici yerine ısı aktarımının daha iyi sağlandığı bir karışma odası veya buharlaşma odası kullanılabilir. Bu tür sistemlere çok kademeli sıkıştırma yapılan soğutma sistemleri adı verilir.

Buharlaştırma odalı iki kademeli sıkıştırmalı bir soğutma sistemi

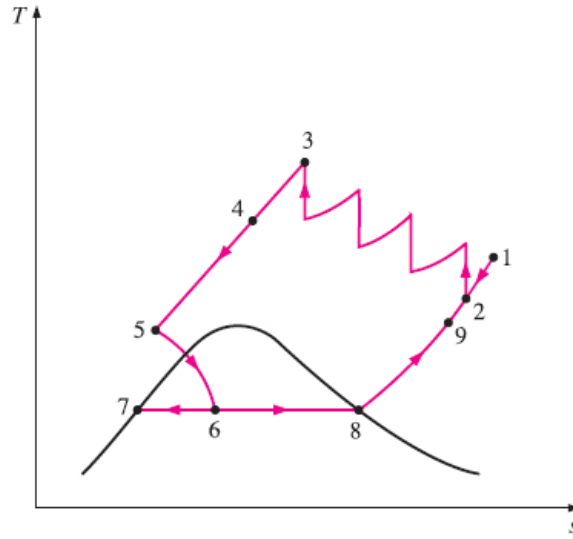
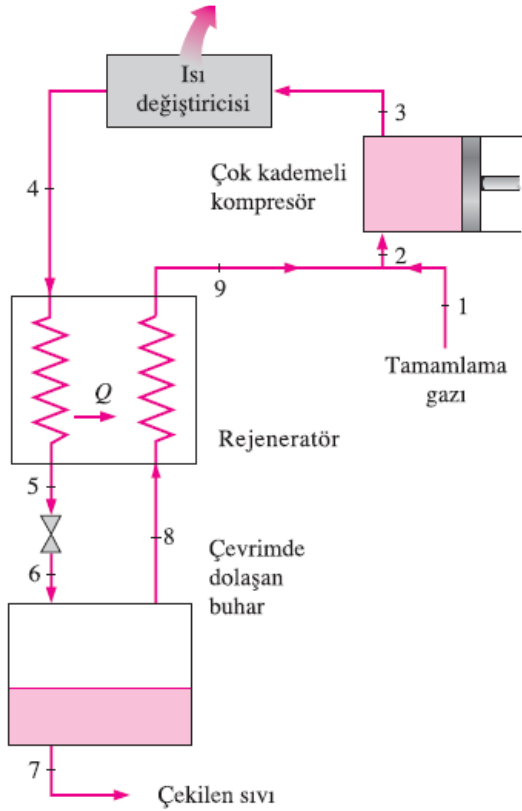
Tek Kompresör ile Çalışan Çok Amaçlı Soğutma Sistemleri

Bazı uygulamalarda farklı sıcaklıklarda birden çok ortamın aynı anda soğutulması gerekebilir. Bunun üstesinden gelmek için, farklı sıcaklıktaki her bir buharlaştırıcı için ayrı bir genleşme vanası ve ayrı bir kompresör kullanılabilir. Ancak böyle bir sistem büyük hacimli ve masraflı olacaktır. Daha uygun ve ekonomik bir çözüm, buharlaştırıcılardan çıkan tüm akışları tek bir kompresöre yönlendirmek ve sistemin tüm sıkıştırma işini bu kompresörde gerçekleştirmektir.



Dondurucusu olan tek kompresörlü bir soğutma makinesinin T-s diyagramı

Gazların Sıvılaştırılması



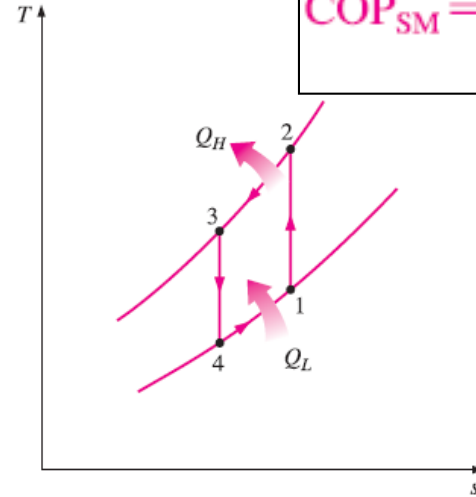
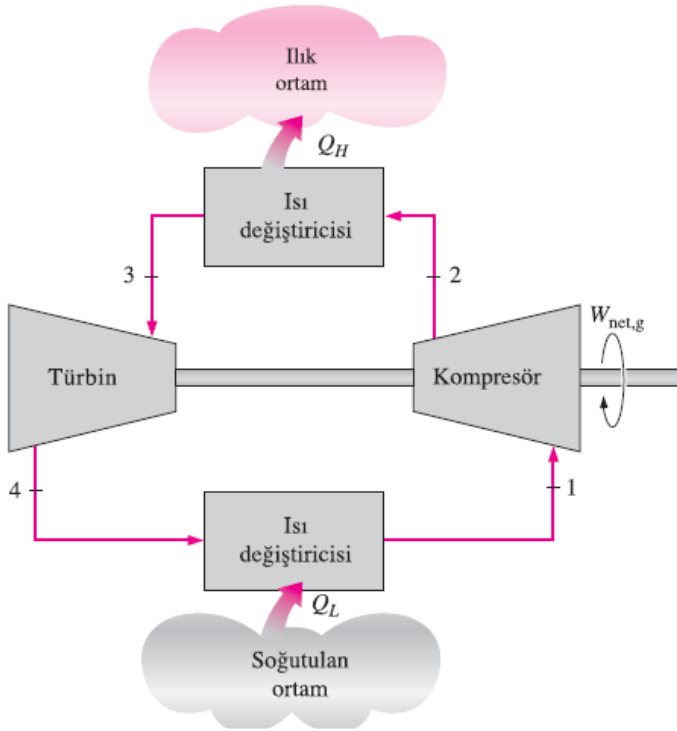
Birçok önemli bilimsel araştırma ve mühendislikle ilgili işlemler kriyojenik (-100°C 'nin altındaki) sıcaklıklarda gazların sıvılaştırılmasına dayandığından, gazların sıvılaştırılması soğutma uygulamalarının her zaman önemli bir alanını oluşturmuştur. Böyle işlemlere örnek olarak, oksijen ve azotun havadan ayrılması, roketler için sıvı yakıtların hazırlanması, çok düşük sıcaklıklarda malzeme özelliklerinin incelenmesi, süper iletkenlik gibi ilginç bazı kavramların araştırılması gösterilebilir.

Gazların sıvılaştırılması için başarıyla kullanılan bazıları karmaşık, diğerleri basit birkaç çevrim vardır.

Gazları sıvılaştırmak için Linde-Hampson yöntemi

GAZ AKIŞKANLI SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ

Soğutma için **ters Brayton çevrimi** (gaz akışkanlı soğutma çevrimi) kullanılabilir.



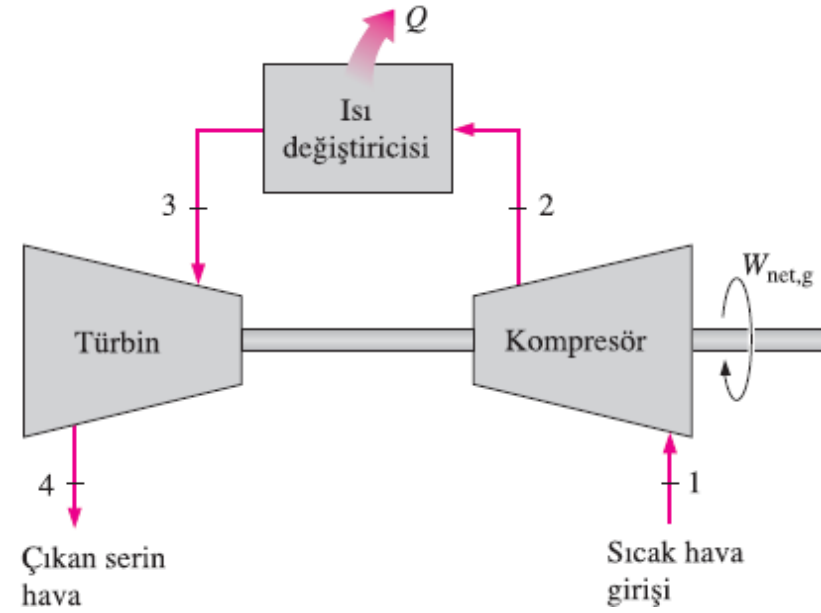
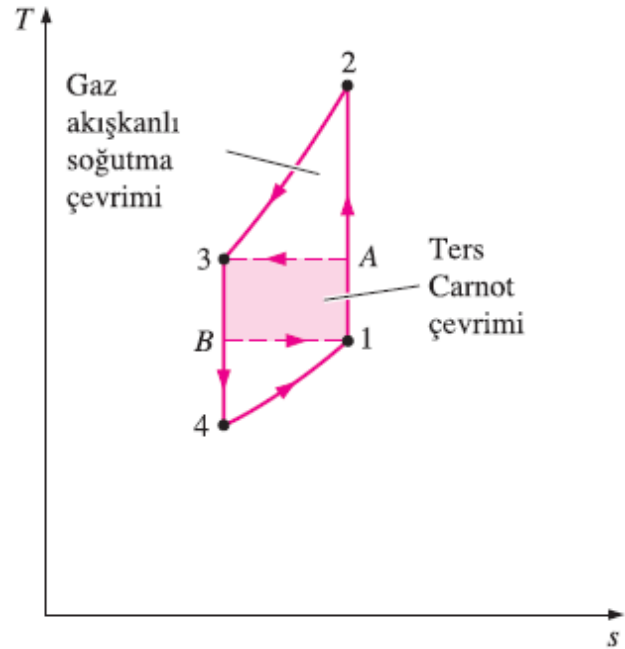
$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{q_L}{w_{\text{net,g}}} = \frac{q_L}{w_{\text{komp,g}} - w_{\text{türb,ç}}}$$

$$q_L = h_1 - h_4$$
$$w_{\text{türb,ç}} = h_3 - h_4$$
$$w_{\text{komp,g}} = h_2 - h_1$$

Basit gaz akışkanlı soğutma çevrimleri

Gaz akışkanlı soğutma çevrimi, buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi veya tersine Carnot çevrimine göre daha düşük etkinlik katsayısına sahiptir.

Tersine Carnot çevrimi net işin küçük bir bölümünü harcarken, (1A3B1 dikdörtgen alanı), daha çok soğutma yapmaktadır (B1 altındaki üçgen alan)



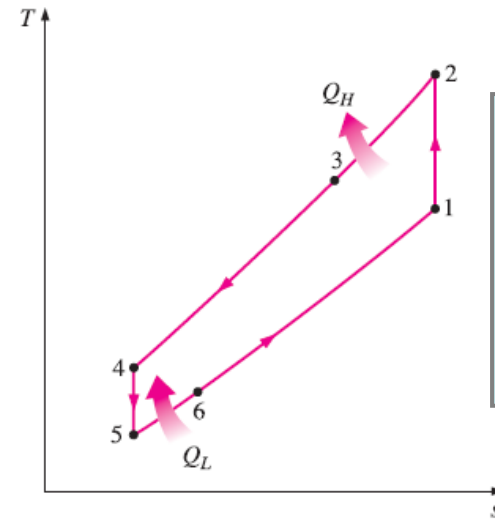
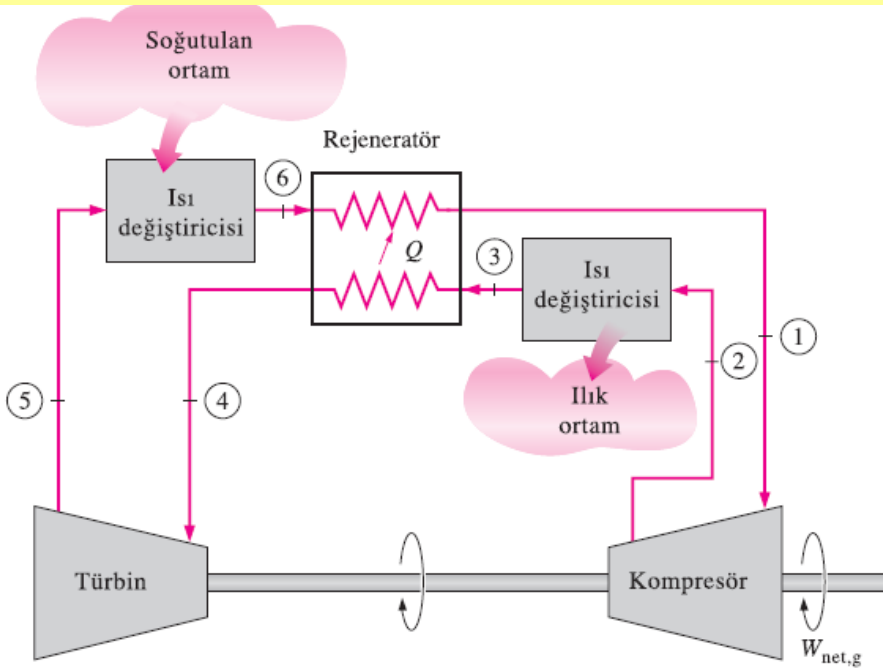
Açık çevrime göre çalışan uçak kabin soğutma sistemi.

Gaz akışkanlı soğutma çevrimlerinin etkinlik katsayıları bağıl olarak düşük olmasına rağmen, iki cazip özelliği vardır. İlk olarak bu çevrime göre çalışan makineler daha basit ve hafif elemanlar ile çalışabildiklerinden, uçaklarda soğutma için elverişli hale gelirler.

Çevrim içinde soğutma yapılmadan elde edilebilecek en düşük türbin giriş sıcaklığı, çevre veya daha başka bir soğutma ortamının sıcaklığı T_0 'dır.

Çevrim içinde soğutma yapıldığı zaman ,yüksek basınçlı gazın sıcaklığı türbindeki genişlemeden önce , T_4 sıcaklığına kadar düşürülebilir.

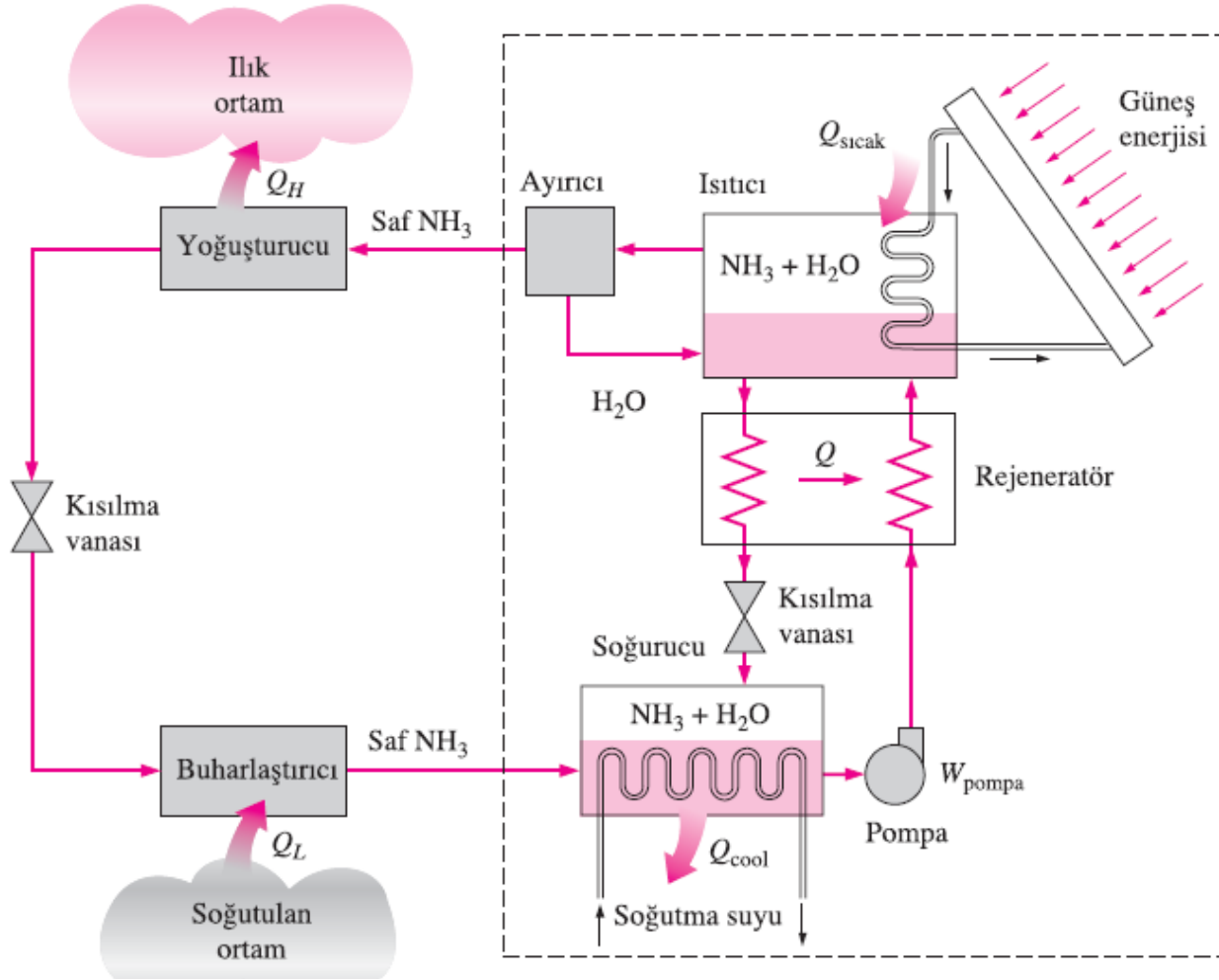
Türbin giriş sıcaklığının düşürülmesi, çevrimin en düşük sıcaklığı olan türbin giriş sıcaklığının da kendiliğinden düşmesine neden olur.



Rejenarasyonlu soğutma çevrimiyle çok düşük sıcaklıklara ulaşılabilir.

Rejenaratörlü gaz akışkanlı soğutma çevrimi.

SOĞURMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ

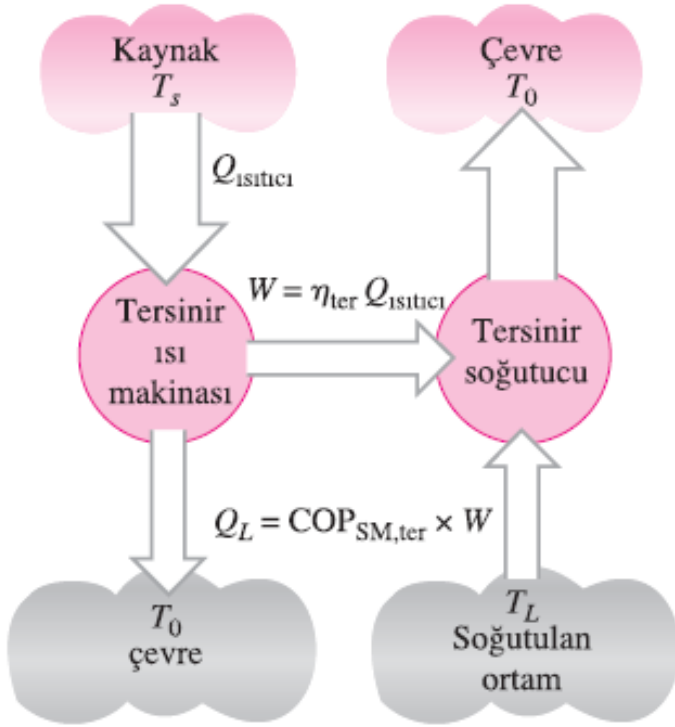


Amonyak-su soğurmalı soğutma çevrimi

Sıcaklığı 100°C ile 200°C arasında olan ucuz bir ısı enerji kaynağı bulunduğu zaman, ekonomik açıdan ilgi çekici olabilecek bir başka soğutma yöntemi **soğurmalı (absorpsiyonlu) soğutmadır.**

Ucuz ısı enerji kaynakları arasında **jeotermal enerji, güneş enerjisi, kojenerasyon veya buhar santrallerinin atık ısıları ve hatta bağlı olarak ucuz fiyattan sağlandığında doğal gaz sayılabilir.**

- Soğurmalı soğutma sistemlerinde *soğutkanın* bir taşıyıcı akışkan içinde soğurulması sözkonusudur.
- En yaygın kullanılan soğurmalı soğutma sistemi, amonyağın (NH₃) soğutkan, suyun (H₂O) taşıyıcı akışkan olarak görev yaptığı amonyak-su sistemidir.
- Diğer soğurmalı soğutma sistemleri arasında, suyun soğutkan olarak yer aldığı, su-lityum bromür ve su-lityum klorür sistemleri sayılabilir. Son iki sistemin uygulama alanları, en düşük sıcaklığın suyun donma noktasının üzerinde olduğu iklimlendirme ile incelenecektir.
- Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemiyle karşılaştırıldığında soğurmalı sistemin önemli bir üstünlüğü göze çarpmaktadır: Bu sistemde buhar yerine sıvı sıkıştırılmaktadır. Sürekli akış işi özgül hacimle orantılı olduğu için, soğurmalı soğutma sistemine beslenmesi gereken iş çok küçük olup (ısıtıcıya sağlanan ısının %1'i mertebelerinde), çevrim analizi sırasında sıklıkla ihmal edilmektedir.
- Bu sistemlerin çalışması dış kaynaktan sağlanan ısıya dayanır. Bu nedenle soğurmalı soğutma sistemleri çoğu kez ısı ile çalışan sistemler olarak sınıflandırılır.
- Soğurmalı soğutma sistemleri buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine göre oldukça pahalıdırlar. Ayrıca daha karmaşık ve daha fazla hacimlidirler. Verimleri daha düşük olduğu için yoğunlaşma ısısının atılması için daha büyük soğutma kulelerine ihtiyaç duyarlar. Yaygın olmadıklarından bakım ve onarımlarının sağlanması daha zordur.
- Bu nedenle soğurmalı soğutma sistemleri ancak ısıl enerji kaynağının birim maliyetinin ucuz ve uzun vadede elektriğe göre düşük kalması beklendiğinde dikkate alınmalıdırlar.
- Söz konusu sistemler genel olarak büyük ticari ve endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar.



$$W = \eta_{\text{İSİT.}} Q_{\text{İSİT.}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) Q_{\text{İSİT.}}$$

$$Q_L = \text{COP}_{\text{SM,ter}} W = \left(\frac{T_L}{T_0 - T_L}\right) W$$

$$\text{COP}_{\text{SM,ters.}} = \frac{Q_L}{Q_{\text{İSİT.}}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \left(\frac{T_L}{T_0 - T_L}\right)$$

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{\text{elde edilmek istenen}}{\text{harcanan}} = \frac{Q_L}{Q_{\text{İSİT.}} + W_{\text{pompa,g}}} \cong \frac{Q_L}{Q_{\text{İSİT.}}}$$

Gerçek soğurmalı soğutma sisteminin COP' si genellikle 1'den daha azdır.

İklimlendirme sistemleri soğurmalı soğutmaya dayanır. En iyi performans ısı kaynağının ısıyı az sıcaklık düşüşlerinde yüksek sıcaklıklarda sağladığı zaman sağlanır

Soğurmalı soğutma sisteminin sahip olabileceği max.COP

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

“Thermodynamics: An Engineering Approach”, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

“Termodinamiğin Temelleri”, SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcıları arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

“Principles of Engineering Thermodynamics”, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

“Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla”, Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcıları arasında yer almaktadır), Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

“Engineering Thermodynamics”, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

<https://www.huseyingunerhan.com/termo2/termo2.html> sayfasında verilen “Termodinamik II” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

“Termodinamik II” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltılması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.

(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).