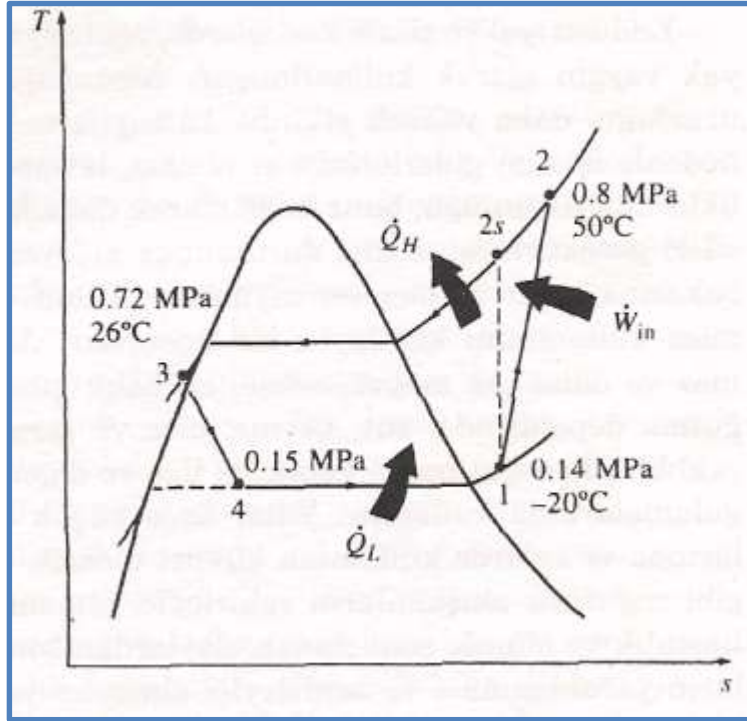


ÖRNEK

Bir soğutma makinesinde, soğutucu akışkan 12, kompresöre 0.14 MPa basınç, -20°C sıcaklıkta kızgın buhar olarak girmekte ve 0.8 MPa basınç, 50°C sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Soğutucu akışkan yoğuşturucudan 26°C sıcaklık ve 0.72 MPa basınçta çıktıktan sonra 0.15 MPa buharlaştırıcı basıncına kısılmaktadır. Soğutucu akışkanın debisi 0.05 kg/s'dir.

- (a) Soğutulan ortamdan birim zamanda çekilen ısıyı ve kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü,
- (b) (b) kompresörün adyabatik verimini,
- (c) (c) soğutma makinesinin etkinlik katsayısını hesaplayın.

1, 2, 3 ve 4 hallerindeki entalpi değerlen soğutucu akışkan-12 tablolarından elde edilebilir



$P_1 = 0.14 \text{ MPa}$	}	$h_1 = 179.01 \text{ kJ/kg}$
$T_1 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$		
$P_2 = 0.8 \text{ MPa}$	}	$h_2 = 213.45 \text{ kJ/kg}$
$T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$		
$P_3 = 0.72 \text{ MPa}$	}	$h_3 \cong h_{f, 26 \text{ }^\circ\text{C}} = 60.68 \text{ kJ/kg}$
$T_3 = 26 \text{ }^\circ\text{C}$		
$h_4 \cong h_3 \text{ (kısılma)} \longrightarrow h_4 = 60.68 \text{ kJ/kg}$		

(a) Soğutulan ortamdan birim zamanda çekilen ısı ve kompresörü çalıştırmak için gerekli güç, ilgili sistemlere enerjinin korunumu denklemini uygulayarak bulunur:

$$Q_L = m(h_1 - h_4) = (0.05 \text{ kg/s})[(179.01 - 60.68) \text{ kJ/kg}] = 5.92 \text{ kW}$$

$$W_g = m(h_2 - h_1) = (0.05 \text{ kg/s})[(213.45 - 179.01) \text{ kJ/kg}] = 1.72 \text{ kW}$$

(b) Kompresörün adyabatik verimi, tanımdan yararlanarak hesaplanır:

$$\eta_k \equiv \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

$$\left. \begin{array}{l} 2s \text{ Hali: } P_{2s} = 0.8 \text{ MPa} \\ s_{2s} = s_1 = 0.7147 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \end{array} \right\} \longrightarrow \begin{array}{l} h_{2s} = 210.08 \text{ kJ/kg} \\ (T_{2s} = 45.4 \text{ }^\circ\text{C}) \end{array}$$

Böylece,

$$\eta_k = \frac{210.08 - 179.01}{213.45 - 179.01} = 0.902 \text{ (veya \%90.2)}$$

olur.

(c) Soğutma makinesinin etkinlik katsayısı

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_g} = \frac{5.82 \text{ kW}}{1.72 \text{ kW}} = 3.44$$

DOĞRU SOĞUTUCU AKIŞKANIN SEĞİMİ

Bir soğutma sistemini tasarlarken kullanılabilir bir çok aracı akışkan vardır. Bunlar arasında Freonlar veya kloroflorokarbonlar (CFC), amonyak, propan, etan, etilen gibi hidrokarbonlar, karbon dioksit, uçakların iklimlendirmesinde kullanılan hava ve donma noktasının üzerindeki bazı uygulamalarda kullanılan su sayılabilir. Soğutucu akışkanın seğimi uygulamaya göre deđiőir. Yukarıda belirtilen soğutucu akışkanlardan freonlar (R-11, R-12, R-22 ve R-502) piyasada kullanılan soğutucu akışkanların en büyük bölümünü oluőturmaktadır.

İlk ticari soğutucu akışkan, 1850'lerde yapılan buhar sıkıőtırmalı sistemlerde kullanılan *etil eter*'di. Bunu amonyak, karbon dioksit, metil klorür, kükürt dioksit, bütan, etan, propan, izobütan, benzin, freonlar ve diğerleri izlemiőtir.

AMONYAK

Endüstriyel ve ticari kesimlerde, zehirleyici olmasına karşın, amonyak yaygın olarak kullanılmıştır. Amonyakın iyi tarafları arasında, ucuzluğu, daha yüksek etkinlik katsayılarına olanak sağlaması ve bu nedenle işletim giderlerinin az olması, termodinamik ve ısı geçişi özelliklerinin üstünlüğü, buna bağlı olarak daha küçük ve ucuz ısı değiştiricileri gerektirmesi, sızma durumunda kolayca belirlenmesi ve ozon tabakasına zarar vermemesi sayılabilir.

Fakat, amonyağın zehirleyici olması kullanımını kısıtlayıcı bir unsurdur. Amonyak evlerde kullanılmaz ve daha çok meyve, sebze, et, balık gibi ürünlerin saklandığı soğutma depolarında, süt, peynir, bira ve şarap depolarında, düşük sıcaklıklarda soğutmanın gerektiği ilaç ve diğer endüstriyel soğutma uygulamalarında kullanılır.

TOKSİK SOĞUTUCULAR

Yıllar Önce küçük çaplı endüstri uygulamalarında ve evlerde kullanılan **kükürt dioksit, etil klorid ve metil klorür** gibi soğutucu akışkanların zehirleyici olmaları şaşırtıcıdır. 1920'lerde hastalık ve ölümlerle sonuçlanan olaylardan sonra, bu soğutucu akışkanların yasaklanması ve zehirleyici olmayan yenilerinin bulunması için bir kamuoyu oluşmuştu.

CFC'LER

1928 yılında Frigidaire Şirketinin isteği üzerine, R-21 adlı soğutucu akışkan General Motors araştırma laboratu-varlarında, üç gün gibi kısa bir süre içinde geliştirildi. CFC ailesinin ilk üyesi olan R-21'den sonra, çeşitli soğutucu akışkanlar üzerinde çalışan araştırma ekibi, ticari kullanım açısından en uygun akışkan olarak R-12'de karar kıldı ve CFC ailesine "Freon" ticari adını verdi. R-11 ve R-12'nin seri üretimine 1931 yılında, General Motors ve E. I. du Pont deNemours şirketlerinin kurduğu bir ortaklık tarafından başlandı. CFC'lerin uygulama esnekliği ve ucuzluğu kısa sürede yaygın olarak kullanılmalarını sağladı. CFC'ler ayrıca spreylerde, köpük yalıtım malzemesinin üretiminde ve elektronik endüstrisinde temizleyici diye kullanılmaktadır.

R-11 daha çok, bina soğutma sistemlerinde yer alan büyük kapasiteli su soğutucularında kullanılmaktadır.

R-12 buzdolaplarında, dondurucularda ve otomobil iklimlendirme sistemlerinde kullanılmaktadır..

R-22 pencere tipi iklimlendirme sistemlerinde, ısı pompalarında, büyük binaların ve endüstriyel kuruluşların soğutma sistemlerinde kullanılmakta ve amonyakla yarışmaktadır

R-115 ve R-22'nin bir karışımı olan **R-502**, süpermarketler gibi büyük ticari kuruluşlarda en çok kullanılan soğutucu akışkandır, çünkü tek kademe sıkıştırmayla oldukça düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarına olanak vermektedir.

R – 11, Trikloroflorometan..... CCl_3F

R – 12, Diklorodiflorometan..... CCl_2F_2

R – 13, Klorotriflorometan..... CClF_3

R – 22, Kloroflorometan..... CHClF_2

R – 502, (R-22/R-115)(48,8/51,2).....Azeotrop karışım

R – 717 Amonyak, NH_3

Hatırlatma; R – 115, Kloropentafloroetan..... CClCF_5

OZON TABAKASININ DELİNMESİ

Bünyesinde klor (Cl) bulunan atmosferde uzun ömürlü soğutucu akışkanlar zamanla bileşenlerinden ayrışarak yeryüzünden ve atmosferden yukarıya doğru yükselir. Ancak bileşenler ozon tabakasına kadar yükseldiğinde:



ifadesinden de görüleceği üzere zayıf klor oksit molokülü ile oksijen molokülünü oluşturur. Böyle bir olayın devamlılığı zamanla ozonosferde bozuşmalara ve adeta delinmelere yol açar.

- ❖ 1985 yılında ilk olarak Güney Kutbu üzerinde OZONOSFER'de bozuşma ve zayıflamanın saptanması ile, 1987 yılında Montreal Protokolü ile bünyesinde klor bulunan soğutucu akışkanların tüketimlerinin sınırlandırılmasına karar verilmiş
- ❖ 1995 yılında Avrupa Birliği Ülkelerince bu tür soğutucu akışkanların tüketimlerinin yasaklanmasına karar verilmiş,
- ❖ 1996 yılında gelişmiş ülkelerce kişi başına 0,3 kg/yıl miktarını geçmemek kaydı ile bu tür soğutucu akışkanların tüketimlerinin sınırlandırılmasına karar verilmiştir.

Bugün için başta Avrupa Birliği Ülkeleri ile, gelişmiş endüstriyel ülkelerde R-11 ve R-12 üretimi ve tüketimi yapılmamaktadır. Ancak ozon şemsiyesine (ozonosfer) daha az zarar verdiği gerekçesi ile R-22'nin soğutucu akışkan olarak bir süre daha kullanılacağı görülmektedir,

ALTERNATİF SOĞUTUCU AKIŞKANLAR

R – 11 yerine,	henüz alternatifi yok.
R – 12 yerine,	R – 134a CH_2FCF_3 , Tetrafloroetan
	R – 600a $\text{CH}(\text{CH}_3)_3$, İzobutan
R – 13 yerine,	R – 170 CH_3CH_3 , Etan
R – 22 yerine,	R – 404A (R-143a/R-125/R-134a)(44/52/4)
R – 502 yerine,	R – 407C (R-32/R-125/R-134a)(23/25/52)
	R – 290 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$, Propan

Hatırlatma;

R – 143a , Trifloroetan , CH_3CF_3

R – 125 , Pentafloroetan, CHF_2CF_3

R – 32 , Diflorometan , CH_2F_2

Bu alternatif soğutucu akışkanlardan R-134a ve R-404A ile R-407C bugün için ülkemizde genellikle kullanılmaktadır.

R-134a buzdolaplarında, klima cihazlarında ve soğuk (taze) muhafaza soğuk depolarında,

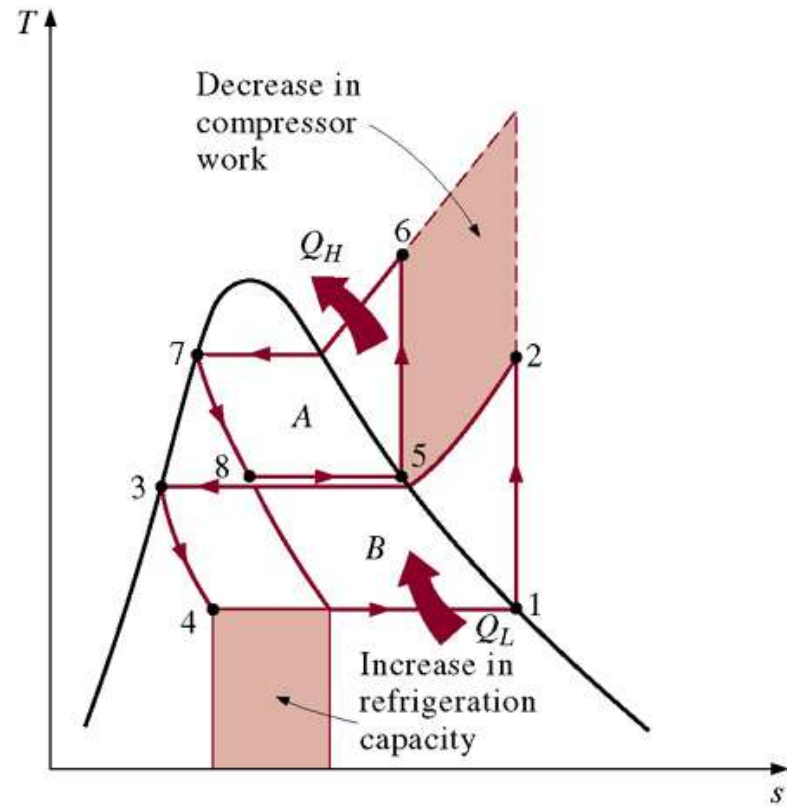
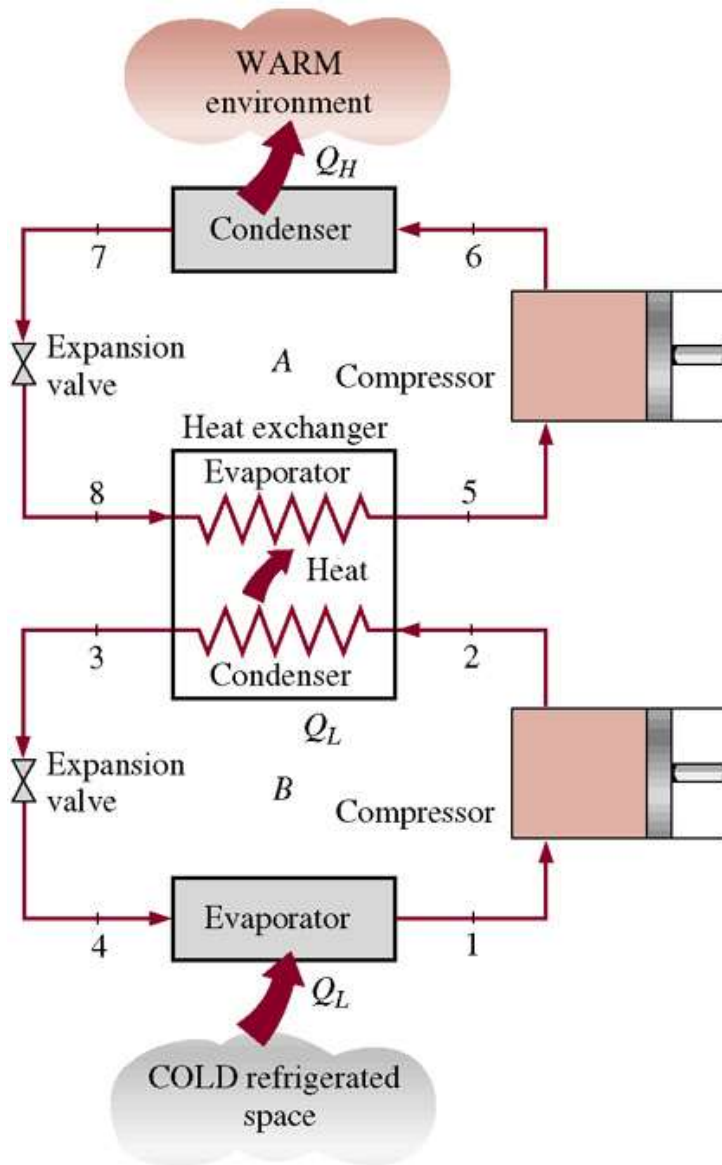
R-404A ile R-407C ise derin dondurucularda ve donmuş nakil araçları ile donmuş muhafaza depolarında uygulama alanı bulmaktadır.

Bugün için alternatifine ihtiyaç olmayan **R-717 (amonyak, NH₃)** soğutucu akışkan olarak büyük boyutlu ticari tür soğuk ve donmuş depolarla buz fabrikalarında uygulama alanı bulmaktadır.

ÇİFT AKIŞKANLI SOĞUTMA ÇEVİMLERİ

Birçok halde tek akışkan kullanarak istenilen sıcaklıkta soğutma yapabilmek mümkün olmayabilir. Pratikte, evaporatör içindeki akışkan buhar basıncının çevre basıncından daha düşük olmaması istenir. Örneğin amonyağın üçlü noktası $-77\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu halde, $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'un altına düşüldüğünde, evaporatörde vakum meydana gelir. Bu durum pratikte çeşitli sakıncalar doğurduğundan amonyak ile daha düşük sıcaklıklara inilmesi güçleşir. Diğer taraftan buhar basıncı çok yüksek bir akışkan kullanılması halinde de, akışkan buharlarını soğutma suyu ile sıvılaştırmak için çok yüksek basınçlara çıkılması gerekir.

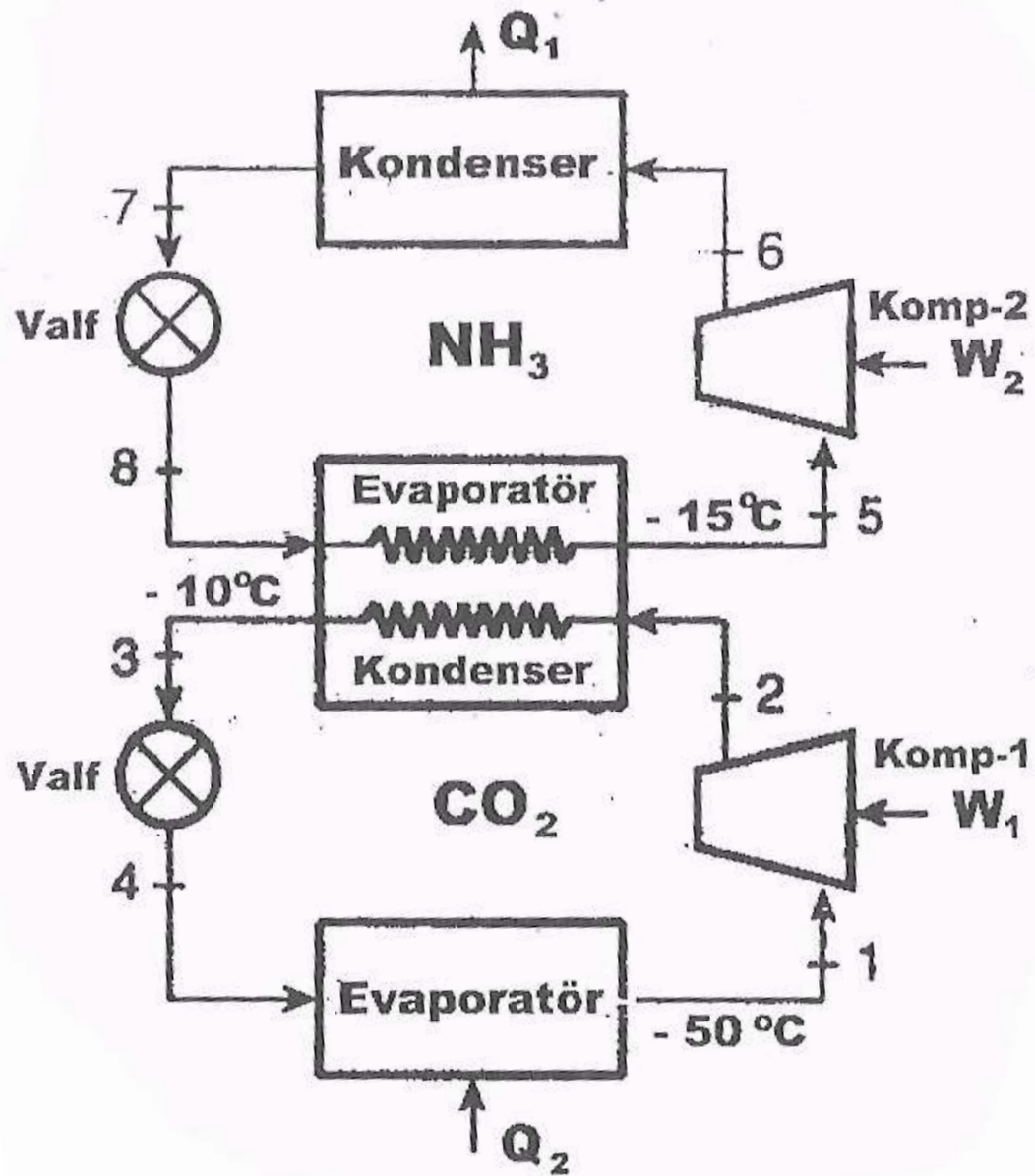
Tek akışkanlı çevrimlerin bu sakıncalarını gidermek amacıyla çift akışkanlı soğutma çevrimleri kullanılır. Çift akışkanlı soğutma çevrimlerinde iki soğutma çevrimi birlikte çalıştırılır. Birinci çevrimde buhar basıncı düşük olan bir akışkan kullanılır. Bu çevrimde akışkan soğutma suyu ile yoğunlaştırılır. Birinci çevrimin evaporatöründe oluşan soğuk ortamda, buhar basıncı daha yüksek olan ikinci akışkan oldukça düşük basınçta yoğunlaştırılabilir. Yani birinci çevrimin evaporatörü ikinci çevrimin kondenseri olarak kullanılır. Bu nedenle birinci çevrimin soğutma kapasitesi ikinci çevrimde kompresörden çıkan kızgın buharları yoğunlaştırmaya yetecek derecede seçilir. Birinci çevrimin görevi yalnızca yoğunlaştırma yapmaktır. Düşük sıcaklıktaki asıl soğutma ikinci çevrimin evaporatöründe gerçekleşir.

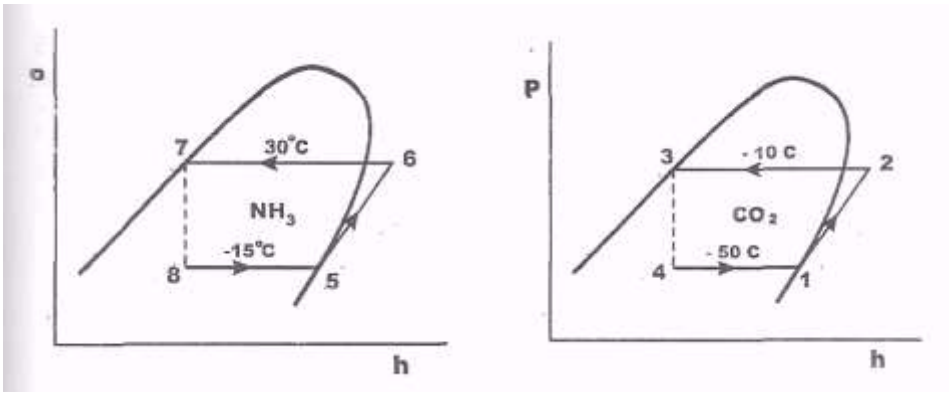


ÖRNEK

Amonyak ve karbon dioksit akışkanlarını kullanarak çift akışkanlı İki çevrim ile $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 100 kW kapasitesinde soğutma yapılacaktır. Birinci çevrimde akışkan olarak amonyak kullanılacak ve kompresörden çıkan kızgın amonyak buharları soğutma suyu ile yoğunlaştırılacaktır. Birinci çevrimin kondenser sıcaklığı $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve evaporatör sıcaklığı $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ dur. Amonyak çevriminden elde edilen soğuk ortamda (evaporatörde) karbon dioksit çevriminde kompresörden çıkan kızgın buharlar, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a kadar soğutularak sıvı hale getirilecektir. Kompresörlerde sıkıştırma işleminin izentropik yapıldığı kabul edilecektir. Buna göre,

- Her iki çevrimde kompresörlerden geçen akışkan debilerini,
- Kompresörlerin teorik gücünü,
- Çevrimin toplam performans katsayısını hesaplayınız.





EK-12'de verilen karbon dioksit tablosundan aşağıdaki değerler alınır.

- 50 °C da doymuş buharın özellikleri,

$$P = 6,83 \text{ bar} \quad h_b = 730,2 \text{ kJ/kg} \quad s_b = 4,203 \text{ kü/kg.K}$$

-10 °C da doymuş sıvının özellikleri,

$$P = 26,47 \text{ bar} \quad h_s = 472,2 \text{ kJ/kg}$$

Kompresörden çıkan kızgın buharın entalpisini bulmak için kızgın buhar tablosundan alınan değerler ile interpolasyon yapılır.

$P = 26,47 \text{ bar}$ ve $s = 4,203 \text{ kJ/kg.K}$ olan kızgın karbon dioksit buharının entalpisini $h_2 = 803 \text{ kJ/kg}$ bulunur.

a) Karbon dioksit çevrimi

Evaporatörde alınan ısı,

$$Q_2 = h_1 - h_4 = 730,2 - 472,2 = 258,0 \text{ kJ/kg}$$

Kompresörden geçen akışkan debisi,

$$m = \text{Soğutma kapasitesi} / Q_2 = 100 / 258 = 0,388 \text{ kg/s}$$

Birinci kompresör işi,

$$W = h_2 - h_1 = 803,0 - 730,2 = 72,8 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Güç} = (0,388 \text{ kg/s}) (72,8 \text{ kJ/kg}) = 28,2 \text{ kW}$$

Karbon dioksit çevriminin kondenslerinde 1 saniyede 0,388 kg gaz -10°C 'da yoğunlaştırılacaktır. Karbon dioksiti yoğunlaştırmak için alınması gereken ısı,

$$Q_1 = m(h_2 - h_3) = 0,388 (803,0 - 472,2) = 128,4 \text{ kJ/s}$$

O halde amonyak çevriminin soğutma kapasitesi 128,4 kW olmalıdır.

b) Amonyak çevrimi

Birinci çevrimde kızgın karbon dioksit buharlarını yoğunlaştırmak için - 15 °C sıcaklıkta 128,4 kW gücünde soğutma yapılması gerekmektedir. Amonyak çevriminin kondenser sıcaklığı 30 °C dir.

30 °C da doygun sıvı amonyağın özellikleri:

$$P = 11,66 \text{ bar} \quad h_s = 322,9 \text{ kJ/kg}$$

-15 °C da doygun kuru buharın özellikleri (interpolasyon ile): $h_b=1425,7 \text{ kJ/kg}$

$$s_b= 5,5453 \text{ kJ/kg.K}$$

Kompresörden çıkan kızgın amonyak buharının entalpisi kızgın buhar tablosundan interpolasyon yapılarak $P = 11,66 \text{ bar}$ basınç ve $s_1 = s_2 = 5,5453 \text{ kJ/kg.K}$ olan kızgın buharın entalpisi, $h_2 = 1656,8 \text{ kJ/kg}$ bulunur.

Evaporatörde alınan ısı,

$$Q_2 = h_1 - h_4 = 1425,7 - 322,9$$

$$Q_2 = 1102,8 \text{ kJ/kg}$$

Kompresörden geçen akışkan debisi,

$$m = \text{Soğutma kapasitesi}/Q_2 = 121,7 / 1102,8$$

$$m = 0,110 \text{ kg/s}$$

$$m = (0,110) 60 = 6,6 \text{ kg/dakika}$$

Kompresör işi,

$$W_2 = h_2 - h_1 = 1656,8 - 1425,7$$

$$W_2 = 231,1 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Güç} = (0,110 \text{ kg/s}) (231,1 \text{ kJ/kg})$$

$$\text{Güç} = 25,4 \text{ kW}$$

Kompresörlerin toplam gücü,

$$\text{Toplam güç} = 28,2 + 25,4 = 53,4 \text{ kW}$$

Çevrimin toplam performans katsayısı;

$$\text{COP} = Q_2/W = 100/53,4 = 1,87$$