

Doğal Soğutkanlarla Güncel Uygulamalar

ÖZET

Su, Hava, Karbondioksit, Hidrokarbonlar ve Amonyak, "Doğal Soğutkanlar" olarak anılmaktadır.

Su ve havanın soğutkan olarak kullanıldığı çevrimler, açık ve kapalı sistemlerle, çevre kirliliğine ve aşırı küresel ısınmaya yol açmayan çözümler sağlamaktadır.

Karbondioksit, geliştirilen yeni kompresör tipleri ile gittikçe daha çeşitli uygulama alanlarına girmektedir.

Hidrokarbonlar; petrol rafinerileri ve petrokimya tesislerinde eskiden beri; büyük soğutma sistemlerinde soğutkan olarak kullanılmaktaydı. Şimdilerde küçük soğutmada, evsel uygulamalarda hidrokarbonlar ve bunların karışımları daha geniş uygulama alanı bulmaktadırlar.

Büyük soğuk depolama tesislerinde ve sanayi soğutmasında yaygın bir soğutkan olan amonyak, günümüzde süpermarket soğutması ve ısı pompalarında güncel uygulama örnekleri sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Doğal soğutkanlar; soğuk hava çevrimi, su buharı kompresörü, dalga rotoru

1. GİRİŞ

Küresel ısınmanın ve atmosferik bozulmaların tahminlerden daha hızlı gelişmesi, tüm sanayi sektörlerinde olduğu gibi, soğutma sektöründe de enerji verimliliğinin artırılması ve hava kirlenmesinin mümkün olan en düşük düzeye indirilmesi konularında araştırma geliştirme çalışmalarını ve uygulamaları arttırmıştır. Soğutma sistemlerinde doğal soğutkanların kullanımı, ancak enerji verimliliği de sağlanarak gerçekleşmelidir. Ozon tabakasına zarar vermeyen HFC (HidroFluoroCarbon) lar ve bunların muhtelif karışımları arasından bazıları daha fazla tercih edilen soğutkanlar arasına girmişlerdir. Bunlardan halen en çok kullanılanlar arasında R134a, R407C, R404A, R410A sayılabilir. Uygulama sıcaklığı ve soğutma kapasitesine göre, her birinin daha avantajlı olduğu çözümler vardır. Bu konudaki gelişmelerin henüz sonu gelmemiştir.

Dr. Müh. Erol ERTAŞ

Abstract:

Water, Air, Carbon dioxide, Hydrocarbons and Ammonia, are called as "Natural Refrigerants".

The refrigeration cycles with the water and air as refrigerant are facilitating such solutions which do not cause contaminations and severe global warming effects.

Carbon dioxide is getting more application solutions with the new developed (high pressure) compressors.

Hydrocarbons were already used as refrigerant at large refrigeration systems in petroleum refineries and petrochemical plants. Nowadays the hydrocarbons and their mixtures are becoming common at household refrigeration applications and heat pumps.

Ammonia was already a preferred refrigerant for large refrigerated stores and industrial refrigeration. Lately it is also being more convenient at supermarket refrigeration systems and heat pumps.

Key Words:

Natural refrigerants, air cycle, steam compressor, wave rotor

Makale

Ancak, bu soğutkanların yapay olarak elde edilmele-ri ve işlevlerini tamamladıktan sonra, herhangi bir şekilde atmosfere salınacak olmaları, çoğu zaten atmosferde bulunan doğal soğutkanlara olan kullanma eğilimini arttırmaktadır. Çünkü yapay soğutkanların çevre ve canlılar için doğurabilecekleri tehlikeler iyi bilinmemektedir. Geçmişten bu güne kullanılagelmekte olan hava, su, karbondioksit, hidrokarbonlar-bunların karışımları-, ve amonyak; soğutma sistemlerinde ve ısı pompalarında değişik uygulama alanları bulmaktadır.

2. HAVANIN (R729) HAVA ÇEVİRİMİNDE SOĞUTKAN OLARAK KULLANIMI

2.1. Giriş

Yirminci Asrın ilk yıllarında Soğuk Hava Çevrimli - SHÇ (air cycle) sistemler gemilerde ve gıda üretimi ile muhafazasında kullanılmışlar, fakat kısa zaman sonra yerlerini soğuk buhar çevrimi ile çalışan sistemlere terk etmişlerdi. 1959 yılından itibaren jet tahrikli yolcu uçaklarında iklimlendirme soğutması ve kargo uçaklarında bozulabilecek malların soğutulması için SHÇ uygulandı,[1],[2] Şekil 1’de basitleştirilmiş bir uçak soğutma sistemi şeması ve bu işlemin T,S diyagramındaki teorik çevrimi görülmektedir. Bu açık bir çevrim olup, şekildeki 1 durumunda KM ana kompresörü çıkışından alınan bir miktar yüksek basınçlı hava, uçak soğutma sisteminde kullanılmak için çekilir. 2 durumundaki sıcak hava HE ısı eşanjöründe ana kompresör giriş tarafından çekilen hava vasıtasıyla soğutulduktan ve AT

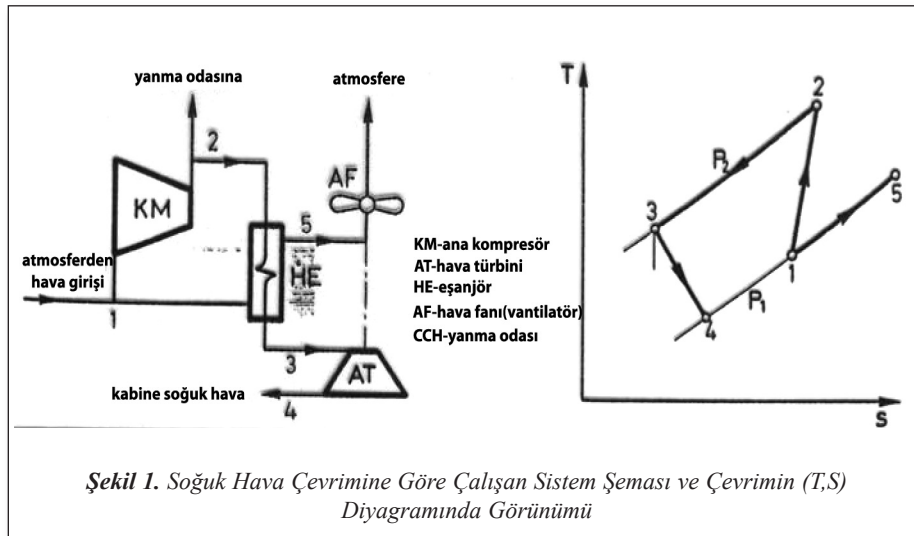
genleşme türbininde genişletildikten sonra; soğumuş olarak, kabin içine sevk edilir. Genleşme türbini AF soğutma havası fanını tahrik eder. Bu sistem uçak yerde iken, kabin soğutmasına da uygundur. Bu durumda uçak ana kompresörü durmakta olduğundan, basınçlı havayı temin için, küçük bir yardımcı türbo kompresör kullanılır.

2.2. Soğuk Hava Çevriminin Kara Araçlarında Kullanımı

Uçaklardaki uygulamalar ve patlamalı motor türbo şarjörlerindeki teknolojik gelişmelerden sonra, kara taşıma araçlarının soğutmasında da SHÇ uygulamasına geçildi. Geliştirilen paket sistemler, Almanya’da hızlı trenlerde denendi.[3] ABD’de de vagonların serinletilmesi için paket üniteler geliştirildi. Tramvaylar ve elektrikli tren vagonlarında bu sistemlerin yaygınlaşması beklenmelidir.

Şekil 2’de Alman yüksek hızlı treni ICE 2.2’ye takılan ve SHÇ’ne göre çalışan kompakt ünitenin yapısı görülmektedir. Tablo 1’de ise, hava çevrimli sistem ile R12 veya R134a kullanan vagon klimaları çevre etkileri açısından karşılaştırılmaktadır. Buradan görülebileceği gibi, hava çevrimli sistem, daha önce kullanılan sistemlerle aynı miktarda enerji sarf etmektedir. Hava çevrimli sistemin bir başka avantajı, bakım işlerinin diğerlerinden daha kısa sürede ve düşük maliyetle yapılabilmesidir.

R134a kullanan tren iklimlendirme sistemlerinden

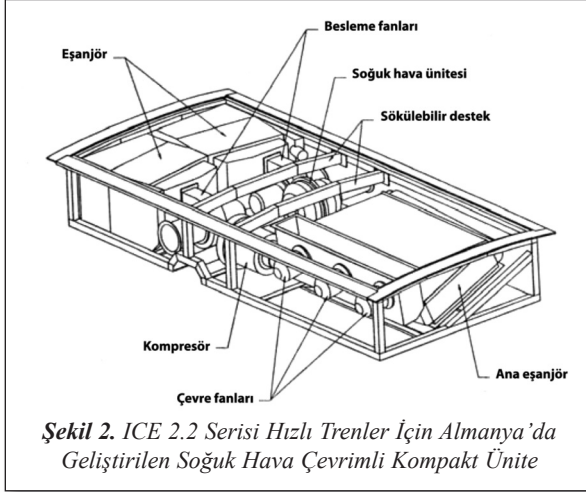


atmosfere olan kaçakların halihazırda mevcut soğutkan şarjının % 60’ı mertebesinde olduğu dikkate alınır, TEWI “Toplam Eşdeğer Isıtma Etkisi”nin hava çevrimi için, R134a sisteminden de daha az olduğu görülür.

Alman ünitesinde birbirine direkt akuple bir asenkron elektrik moto-

Tablo 1. Hızlı Tren Klimalarında Göreceli Enerji Tüketimi ve TEWI sayıları [3]

Tren tipi	Sistem	Enerji faktörü	TEWI kg CO ₂ /yıl
ICE 1	R12 ayrık(split) sistem	1,2	111700
ICE 2	R134a sistemi	1,0	31200
ICE 2.2	Hava çevrimli ünite	1,2	26400

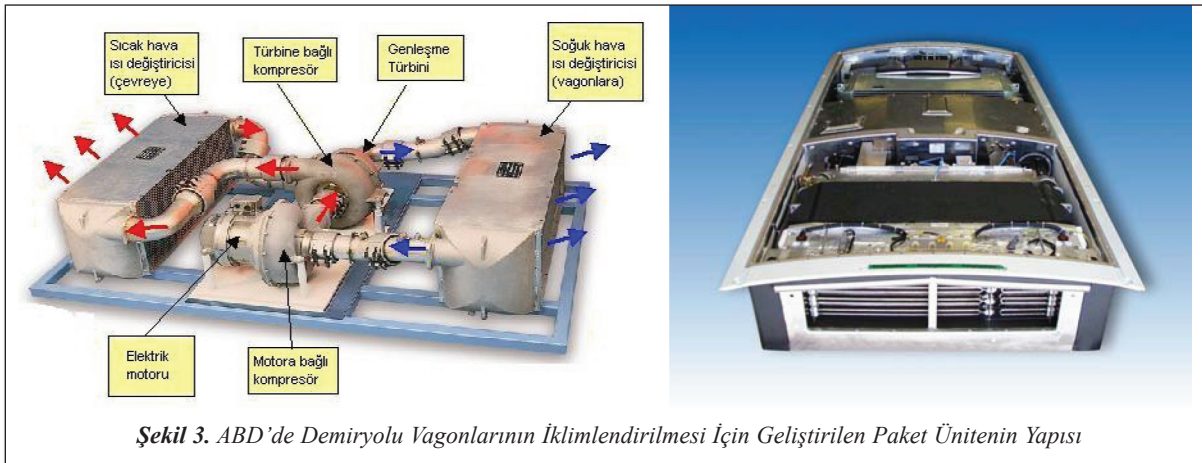


ru, turbo kompresör ve genişleme türbininden meydana gelen yüksek devirli direkt akuple bir grup kullanılmıştır. ABD ünitesinde ise, Şekil 3' te görüldüğü gibi, yüksek devirli bir elektrik motoru ile tahrik edilen bir radyal turbo kompresör ile, bir genişleme türbini ile tahrik edilen turbo fan bulunmaktadır.

İngiltere'deki bir araştırma gurubunca [4] gıda sanayinde kullanım alanları bulabilecek; SHÇ ile çalışan sistemler geliştirilmektedir. Projede, hem soğutma, hem de ısıtma amaçlı olarak kullanılacak paket üniteler amaçlanmaktadır. Bunlar soğutma ve ısı

pompası kombinasyonu olarak yüksek bir performans katsayısı (COP) sağlayacaktır. Prototipin yük-süz test çalışmasında genişleme türbininin çıkışında -114 °C, kompresör çıkışında ise +221 °C sıcaklık ölçülmüştür. Buna göre, işletme sırasında dondurma tüneline -64 °C, ısıtma tüneline +150 °C elde edilebilecektir.

Yine İngiltere'deki bir araştırma grubunca, bir donmuş gıda nakliye TIR'ı üzerindeki paket soğutucunun gövdesi kullanılarak üretilen hava çevrimli bir paket ünite ile yapılan denemelerde cihazın tatmin edici bir şekilde çalışarak -20 °C sıcaklıkta 7,8 kW soğu ürettiği ve bu kapasitenin konvansiyonel soğutucuya göre %8 bir fazlalık gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak, dizel motoru tahrikli makinenin yakıt sarfiyatının oldukça fazla olduğu görülmüştür. Sistem kısmi yükte çalıştırıldığında; yakıt sarfiyatı orijinal soğutucuya göre %200'den %80'e düşmüştür. Sistem elemanlarının optimize edilmesi ile tahrik enerjisinin düşürülebileceği ve pratikte soğutucunun çalışma süresinin büyük bir bölümünün kısmi yükte olduğu göz önünde bulundurulursa, hava çevriminin bu sistemlerde de kullanılacağı açıktır. Seri üretimin başlaması ile şimdilik daha yüksek olan maliyetlerin düşmesi beklenebilir.[5]



Makale

ABD Kaliforniya'daki bir firma, dünyada ilk ticari, hava çevrimi ile çalışan, 5 ton (17,58 kW) soğutma kapasiteli, paket tip soğutucuları satışa çıkarmıştır. İki farklı tipten biri – 20 F (- 18 °C) diğeri – 75 F (- 59,4 °C) sıcaklığındaki muhafaza depolarını soğutmaktadır. Soğuk havanın üniteden çıkış sıcaklıkları sırasıyla – 65 OF (- 53,9 °C) ve – 120 OF (- 84,4 °C)'dir.

3. R718 SU SOĞUTKAN OLARAK MEKANİK SIKIŞTIRMALI BUHAR ÇEVİRİMİNDE KULLANILIR

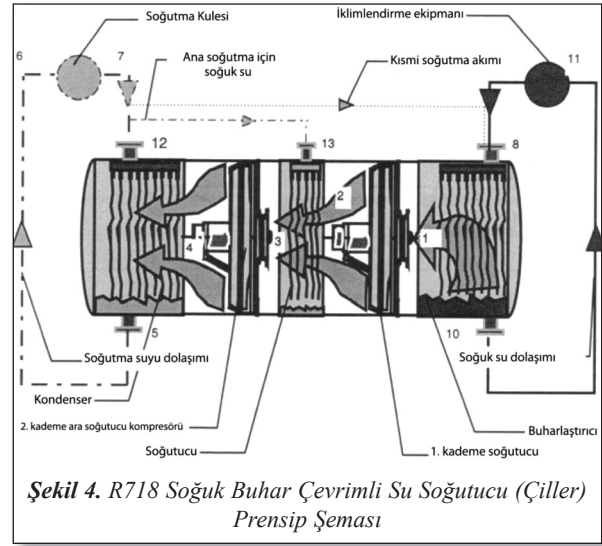
3.1. Giriş

Soğutkan olarak su, ozon tabakasına zarar vermeyen (ODP=0), küresel ısınmayı etkilemeyen (GWP=0), doğal, temiz ve tehlikesiz bir alternatiftir. Açık çevrimde çok eski zamanlardan beri kullanılan bir maddedir. Absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu (dessicant) soğutma sistemlerinde de su, soğutkan görevi görmektedir. Akışkan buzlu suyun ikincil (sekonder) soğutkan olarak kullanımı uygulamaları artmakta ve çeşitlenmektedir. Ancak biz burada suyun R718 kod numaralı soğutkan olarak soğutma sistemlerinde kullanımına ait daha yeni uygulamaları sunmak istiyoruz.[5]

3.2. R718 Suyun Mekanik Sıkıştırma Soğuk Buhar Çevriminde Soğutkan Olarak Kullanımı

Son yıllarda suyun klasik kompresyonlu soğuk buhar çevriminde (MSBÇ) kullanılması konusunda gelişmeler olmuştur. Güney Afrika'da ve Hindistan'da madenlerin iklimlendirme soğutması ve bilhassa merkezi ısıtma ile soğutmanın bir arada yapıldığı ısı pompası sistemleri için örnek uygulamalar görülmektedir (Şekil 4).

Su ile soğuk buhar çevriminin gerçekleştirilmesinde en büyük problem, basıncın çok düşük ve suyun özgül hacminin çok büyük olmasıdır. Yüksek debili kompresör olarak radyal veya aksiyal türbo kompresörler söz konusu olmaktadır. Burada kullanılacak olan kompresörün emiş debisi diğer soğutkanlara göre çok büyüktür. (HFC kullanılan sistemlerin 200 katı), Basınç oranı alt ve üst sıcaklıklara bağlıdır. Buna göre, sıkıştırma basınç oranı 1,8-2,1 alçak, 2,1-



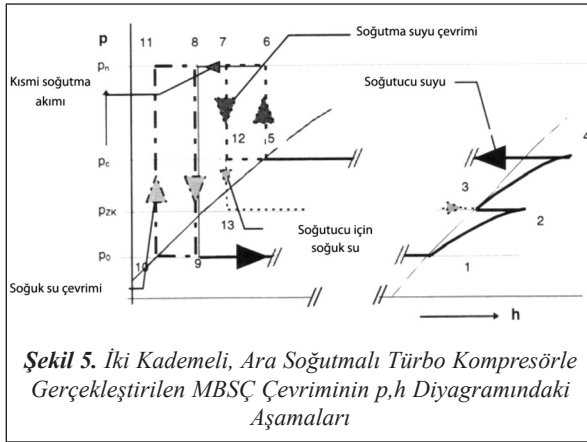
Şekil 4. R718 Soğuk Buhar Çevrimli Su Soğutucu (Çiller) Prensi Şeması

2,5 orta, >2,5 yüksek olarak kabul edilmektedir. Büyük hacimdeki alçak yoğunluklu buharların sıkıştırılmasında türbo kompresörlerin kullanılması gereklidir (su için buhar ejektörlü sıkıştırma, ancak bol ve ucuz buhar sağlanırsa mümkündür). Yaygın uygulamalarda kullanılan bu tip kompresörlerin rotor çapları da oldukça büyüktür. (1,3 – 2,6 m)

Şekil 4'teki uygulamada yatay silindirik bir vakum tankı içine yerleştirilmiş olan R718 kompresörlü su soğutucunun şeması görülmektedir. Bu şema aynı zamanda ısı pompası uygulamaları için de geçerlidir. [7] Aynı sistem açık çevrim olarak da yapılabilir. Ancak o zaman sistem içindeki vakumun muhafazasına uygun devreler öngörülmelidir.

Genel kullanma sıcaklıkları için, yukarıda verilen sıkıştırma oranlarında, şemada gösterildiği gibi, iki kompresör kademesi olması gerekmektedir. Şekil 5'te bu sistemde gerçekleştirilen MSBÇ çevriminin basınç-entalpi (p,h) diyagramındaki aşamaları görülmektedir.

Çeşitli MBSC uygulamalarında bu kompresörlerden çok sayıda kullanılmıştır. Şekil 6'da bu kompresör rotorlarının ana ölçüleri verilmiştir [6]. Açık (karışıklı) kondenser ve buharlaştırıcılar kullanıldığında, ısı transferi için gerekli sıcaklık farkları 1 K'den azdır. Bu da yüksek bir sistem performans katsayısının (COP) elde edilmesini sağlamaktadır.[7,8] Şekil

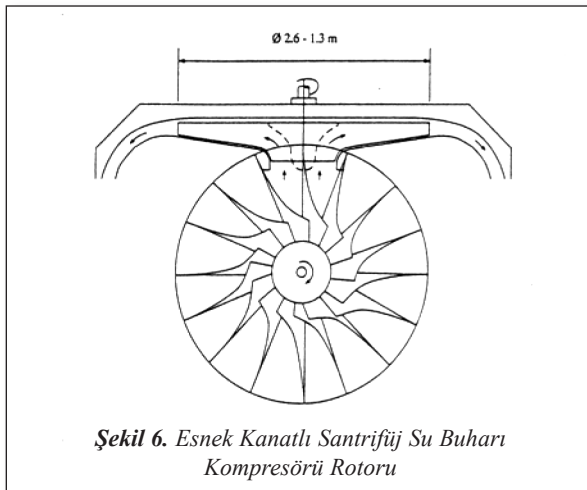


Şekil 5. İki Kademeli, Ara Soğutmalı Türbo Kompresörle Gerçekleştirilen MBSC Çevriminin p,h Diyagramındaki Aşamaları

6'da görülen, 2,6 – 1,3 m çaplı rotorların iki kademede kullanıldığı geleneksel kompresörler Tablo 2'de verilen soğutma kapasitelerini sağlamaktadırlar. Bunların uygulama alanları arasında deniz suyundan tatlı su eldesi, akışkan buz (ice slurry) eldesi ve evaporasyon sistemleri sayılabilir. Ayrıca, bu kompresörler, Hindistan ve Güney Afrika'daki altın madenlerin serinletilmesinde –birkaç MW'a varan kapasitelerde- kullanılmıştır. Bu türbo kompresörler, yüksek devirli ve büyük çaplı olmalarına karşın, buhar yoğunluğunun düşük olması nedeniyle kanatları ince molibden levhalarından esnek olarak imal edilmektedir.

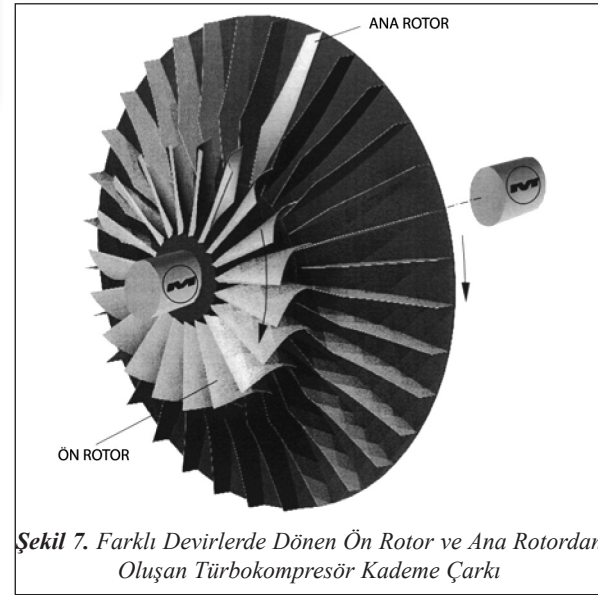
Tablo 2. Kullanım Sıcaklıklarına Göre 2 Kademeli Açık Sistem Kapasiteleri

Kullanım şartları Sıkıştırma basınç oranı	Yaklaşık soğutma kapasitesi MW
9 °C çıkış sıcaklığında soğuk su - Orta	2
Buz üretim sistemleri - Yüksek	3
7 °C çıkış sıcaklığında soğuk su - Yüksek	6



Şekil 6. Esnek Kanatlı Santrifüj Su Buharı Kompresörü Rotoru

Son yıllarda geliştirilen yeni bir tasarım sayesinde, düşük yoğunluktaki su buharının sıkıştırılmasında kullanılan radyal türbo-kompresör rotorunun emişindeki sabit yönlendirici kanatlar yerine, farklı devirde dönen bir ön rotor ve bir ana rotor dizaynı ile; verim, kapasite ve imalat bakımından büyük avantaj sağlanmıştır. (Şekil 7) Ön rotor kompozit faserlerden, ana rotor radyal istikamette yerleştirilmiş ince molibden levhalardan veya kompozit faserden imal edilmektedir. [9],[10]



Şekil 7. Farklı Devirlerde Dönen Ön Rotor ve Ana Rotordan Oluşan Türbokompresör Kademe Çarkı

Şekil 8a'da MBSC çevrimli bir soğutma sisteminin prensip şeması görülmektedir. Sistemde iki kademe- li bir kompresör kullanılmaktadır.

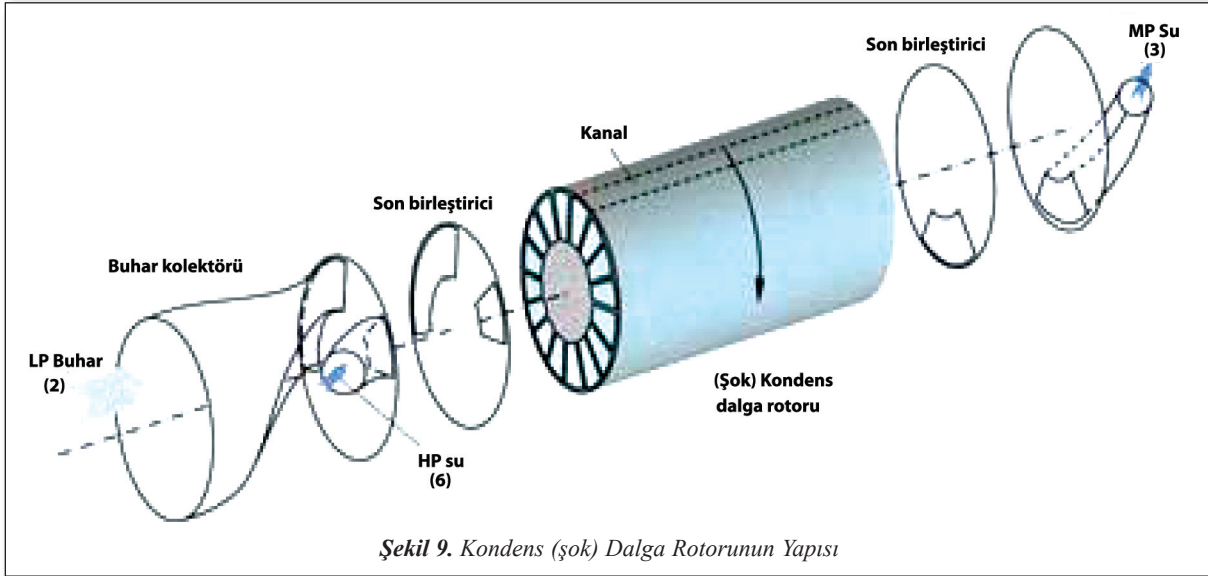
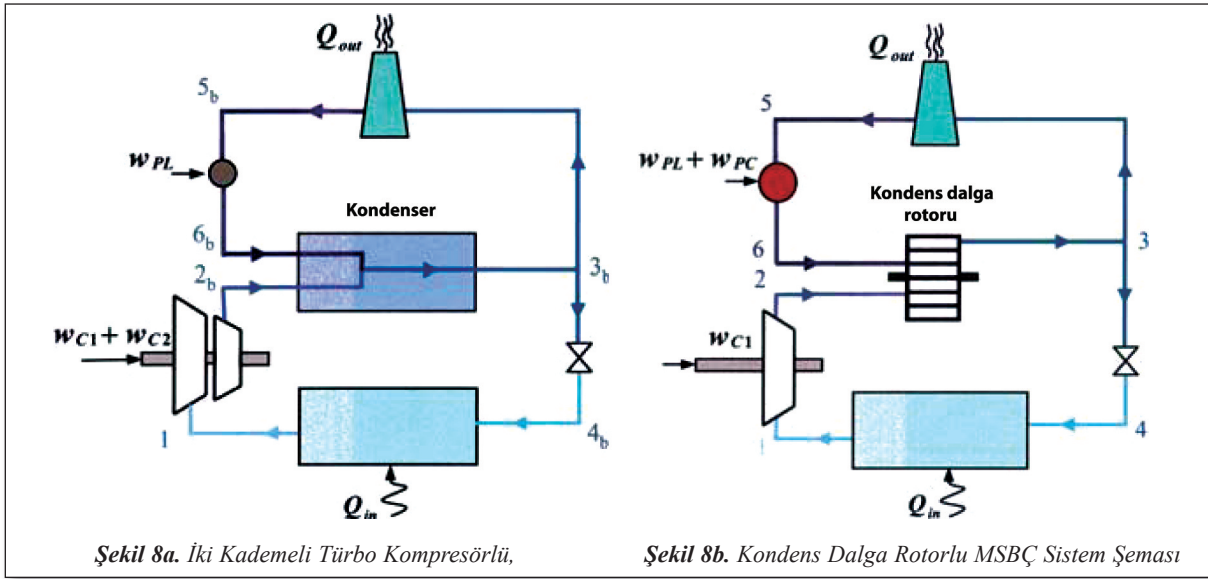
Bu sisteme 3 girişli bir kondens (şok) dalga rotoru eklenmesi ile sıkıştırmanın bir bölümü rotora aktarılmakta ve kompresör kademe sayısı bire indirilmektedir. Bu da sistemin maliyetini oldukça düşürmektedir. Şekil 8b'de kondens dalga rotorlu sistemin şeması, Şekil 9'da bu rotorun yapısı görülmektedir. Kondens şok dalgası rotorunda kompresörden gelen kızgın buharın sıkıştırılması, soğutulması ve yoğunlaşması işlemleri; tek bir dinamik prosesle gerçekleşmektedir. [11]

3. R744 - CO₂ - KARBONDİOKSİT UYGULAMALARI

3.1. Giriş

R744'ün soğutma sahnelerine dönüşü, bugün hızla devam etmektedir. 100 yıldan fazla bir zaman önce,

Makale



bu madde öncelikle gemilerdeki soğutma tesislerinde kullanılmaya başlamıştı. Çünkü bu soğutkanla çalışmak (yüksek basınç dışında) rahattır. CO₂ Yanıcı ve zehirli olmadığı gibi ucuzdur, temini kolaydır. Ozon tabakasına hiçbir etkisi yoktur. (ODP=0) Küresel ısıtma/sera etkisi çok düşüktür. (GWP=1) Diğer soğutkanlarla karşılaştırıldığında, düşük sıcaklıklardaki isentropik ve volumetrik verimleri daha yüksek, hacimsel (volumetrik) özgül soğutma kapasiteleri ise çok yüksektir. (-5/-30 °C) şartlarında R744 – R717'ye (amonyak) göre 1/9 oranında daha küçük kompresör süpürme hacmi gerektirir. Onun için, kompresör silindirleri ve boru kesitleri aynı oranda küçülmektedir. Tek termodinamik

problemi, kritik noktadaki sıcaklığının düşük, (31,4 C) basıncının yüksek (72,9 bar) olmasıdır. Bu bakımdan, R744 ile gerçekleştirilen soğuk buhar çevrimleri kritik üstü ve kritik altı olarak iki grupta açıklanır.

Gemilerde R744 kompresörlerinin kullanımı, bu soğutkanın tarihçesine ışık tutmaktadır [12]. 20. Yüzyılın başlarında gemilerdeki soğutma sistemlerinin büyük çoğunluğunda soğutkan olarak R744 kullanılmakta idi. 1930'dan sonra bunun yerini yavaş yavaş CHFC'ler aldı. 1940 yılında gemilerdeki R744 kompresörü oranı % 80 iken, 1960'da bu oran % 40'a düşmüştü. 1950 yılından sonra R744 soğutma

kompresörü imalatına son verildi. 1980 yılında gemilerde hiçbir R744 tesisi kalmamıştı.[13] Tabii, karadaki tesislerde R744'ün HCFC'ler lehine terk edilmesi, kondenser basınçlarının çevre sıcaklıkları ile birlikte artması sonucu performans katsayısının (COP) süratle düşmesi nedeniyle daha hızlı oldu.

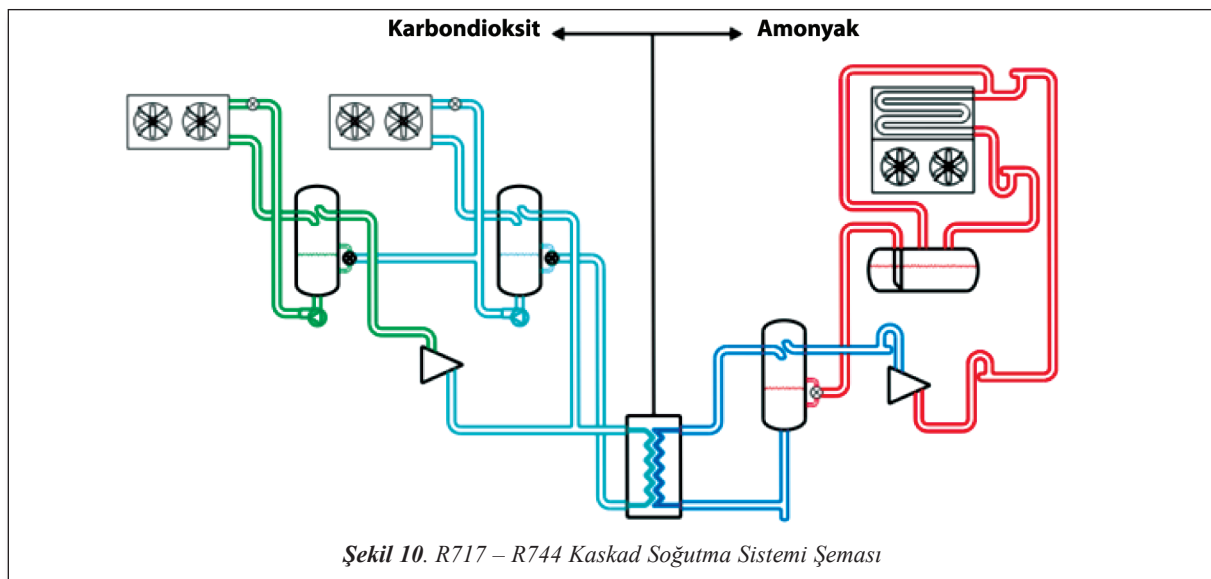
Bugün ise, birçok firma R744 kompresörleri ve sistem elemanları üretimine geçmiştir. (Bunun yanında R744 ile çalışan kompakt soğutma üniteleri üreten çok sayıda firma vardır. Bu sistemlerde diğer soğutkanlarda olduğu gibi, levha tipi ısı eşanjörleri kullanılmaktadır. AB'de 2011 den sonra otomobil klimalarında HFC'lerin kullanılması yasaklanmıştır. Çin ve Japonya başta olmak üzere birçok tanınmış otomobil üreticileri R744 kullanan oto klima sistemlerine geçmek üzere çalışmalar yapmaktadır. Gemilerde donmuş muhafaza soğutma sistemleri düşük sıcaklık kaskad kademesinde R744 kullanılmaktadır. R744 ile kritik üstü olarak gerçekleştirilen çevrimde, gazın kompresörden çıkış sıcaklığı oldukça yüksektir. Bu durumda 90 °C ye kadar sıcak su elde etmek mümkündür. Bu soğutma sistemi bilhassa gıda işleme ve dağıtım işletmeleri için elverişlidir. R744 ısı pompaları uygulamaları kritik üstü çevrimle gerçekleştirilen, yüksek COP değerleri elde edilmektedir.[14]

3.2. Güncel R744 Uygulamaları

R744, kaskad sistemde R717 veya R290 ile düşük

sıcaklık kademesinde kullanılmaktadır. Şekil 10'daki şemada görünen sistem, 2002 yılından bu yana süpermarket derin soğutucularında direkt buharlaşmaya geçilmesi ile Avrupa'daki süpermarketlerde büyük bir kabul görmüştür. Süpermarket soğutma merkezlerinde azaltılmış soğutkan şarjlı R717 veya R290 paket üniteleri kullanılmaktadır. Bu husus ünite, plakalı eşanjörler ve R717 ile tam karışabilen sentetik yağ kullanılması sayesinde mümkün olmuştur. Gıda üretim ve muhafaza soğuk depoların donmuş muhafaza ve dondurma tünelleri bölümleri, (-18/-40 °C) kaskad R744 kademesi ile daha düşük enerji sarf etmektedir. Kaskad sistemin üst sıcaklık kademesinde, bilhassa kuzey Avrupa'da R290 kullanılmaktadır.

- Süpermarket soğutmasında R744-HFC soğutkanlarla kaskad soğutma paket üniteler seri üretimi de yapılmaktadır. Resim 11'de görülen çok kompresörlü paket ünite modern bir R407c/R744 kaskad grubunu içermektedir.
- Açık ve yarı hermetik kompresörler yanında otomobil klimalarında kullanılacak R744 kompresörü ve diğer parçalar denenmiş ve yeni modellere uygulanması başlamıştır Ayrıca küçük soğutma için (-15/+7,2 °C) hermetik R744 kompresörleri geliştirilerek üretime geçmiştir (Resim 12).



Şekil 10. R717 – R744 Kaskad Soğutma Sistemi Şeması

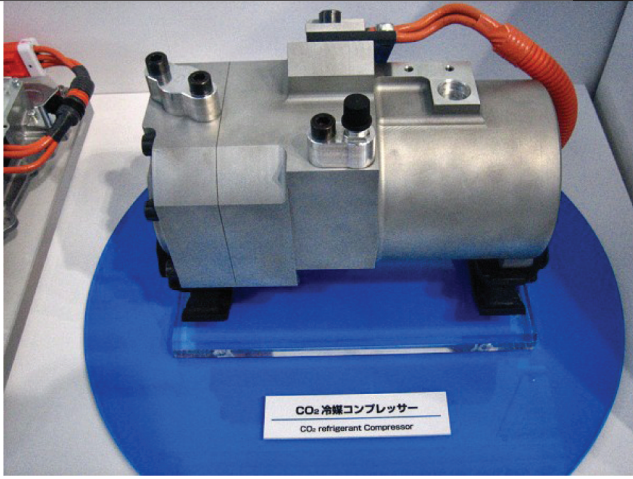
Makale



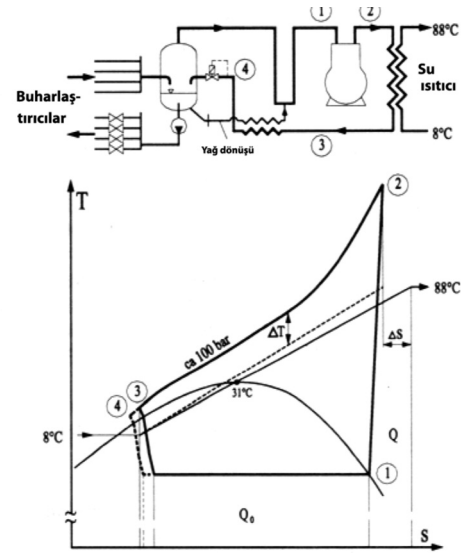
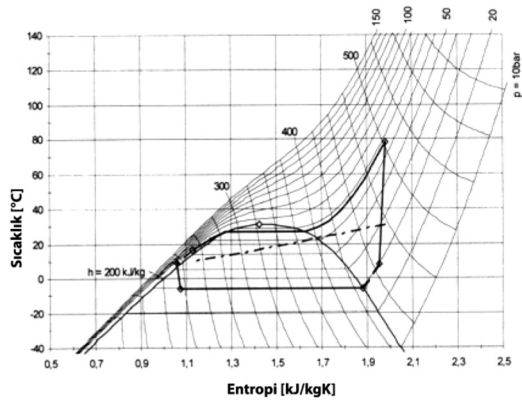
Şekil 11. Süpermarket Soğutmasında Kullanılan R407c/R744 kaskad Kademeli Paket Grup

- R744 ile kritik üstü çevrimlerde yüksek basınç tara-
fındaki ısıyı kullanarak $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşan sıcaklıklar-
da su elde edilebilmektedir. Isı pompası ve soğutu-
cunun birlikte çalışma durumunda performans kat-
sayısı ($\text{COP}=5$) değerine yükselmektedir. Şekil
13'te kritik altı ve kritik üstü çevrimler (T,S)
diyagramı üzerinde görülmektedir.

- R744'ün derin dondurucu sıcaklıklarında ikincil
akışkan olarak kullanımı diğer akışkanlara göre
avantajlıdır. Böylece süpermarket tesislerinde
düşük sıcaklık kademesinde maksimum 25 bar
basınçta sıvı CO_2 dolaşımı soğutucularda daha



Şekil 12. Otomobil Klima Sistemleri İçin R744 Kompresörü ve Hermetik Kompresör



Şekil 13. Tek Kademeli R744 Soğuk Buhar Çevrimlerinin (T,S) Diyagramında Görünüşü. Solta Kritik Altı, Sağda Kritik Üstü Çevrimler

kararlı ve problemsiz bir çalışma sağlamaktadır. Sirkülasyon bir CO₂ pompasıyla yapılmaktadır.[15]
- Askeri taşıt iklimlendirme soğutmasında R744 öncelik kazanmaktadır.

4. HİDROKARBONLAR VE KARIŞIMLARI İLE YAPILAN UYGULAMALAR

4.1. Giriş

Hidrokarbonlar havayla yanıcı ve patlayıcı karışım yapan maddeler olmalarına rağmen, gerekli önlemlerin alınması durumunda soğutma sistemlerinde soğutkan olarak kullanılmaya devam edilmektedir.[16] R170 - Etan, R290 - Propan, R600 - n-Bütan, R600a - İzobütan ve R1270 - Propilen saf hidrokarbon soğutkanlar sayılmaktadır. R402A, R403A, R403B, R406a gibi R290 içeren ve muhtelif ticari isimlerdeki R600 veya R600a içeren HFC karışımları, Avrupa'da zamanla kullanımdan kaybolacaklardır.

1993 yılından başlayarak, Kanada, Avustralya, ABD gibi ülkelerde, yukarıda bahsedilen muhtelif hidrokarbonlar ve karışımları, üretimi ve satışı yasaklanan CFHC'lerin yerine özel küçük hacimli basınçlı kap ambalajlar içinde HC12, HC12a, HC22, HR12, HR22, gibi kodlar ve bir takım markalarla pazarlanmışlar ve gazı kaçan soğutucularda alternatif olarak kullanılagelmişlerdir.

Avustralya ve ABD'de HC karışımlarının R12 veya R22 yerine kullanılması yasak olmasına rağmen, bu karışımların satışı serbest kalmıştı. CFC sınırlamalarının başladığı tarihten sonra, yeni üretilen soğutma sistemlerinde HFC veya doğal soğutkanlar kullanıldı. Avrupa'nın büyük bir kısmında Çin'de ve Hindistan'da buzdolabı, sebil, şişe soğutucu gibi küçük soğutucularda HC'ler kullanılmaktadır. Klima

ve ticari soğutucularda ise, emniyet yönünden CFC'ler ve bunların karışımları kullanıldı. Kuzey Avrupa ülkeleri ise tamamen doğal soğutkanlarda kaldılar. Hâlihazırda, ABD'den gayri tüm ülkelere tüm bilinen markalar, buzdolaplarında enerji sarfiyatının CFC'lerden daha düşük olması; ucuz ve temini kolay olmaları nedeniyle, gerekli önlemleri alarak (bu anlamda geliştirilmiş norm, direktif ve yönetmeliklere uyarak) HC karışımlarını kullanılmaktadırlar. Danimarka'da özel havalandırma önlemleri alınan ayaküstü gıda satış yerlerindeki tüm soğutucu ve ısı pompalarında HC dolgululu soğutucular kullanılmaktadır.[17]

Tablo 3'te saf hidrokarbon soğutkanların diğer doğal soğutkanlarla birlikte çevreye olan etkileri ve zehirlilik sınırları verilmiştir.

4.2. Halen Devam Etmekte Olan Uygulamalar

- Yanabilir soğutkanlarla ilgili olarak evlerde kullanılabilir soğutuculara ait elektrik standartları geliştirilmiş ve AB direktifleri çıkarılmıştır. Genellikle çeşitli soğutucuların evlerde kullanılabilirlikleri dolgu miktarı ve elektrik malzemeleri ile ilgili direktiflerle düzenlenmektedir. Bu konudaki gelişmeler devam etmektedir.[16]
- Ev tipi buzdolaplarının şarj miktarının düşük tutulması ve buharlaştırıcının soğutulan hacmin dışında bırakılarak herhangi bir kaçağın kullanılan soğuk hacme yayılması önlenmekle; patlayıcı karışım oluşması olasılığının sıfırlanması sayesinde, R600a - İzobütan kullanımı mümkün olmaktadır.
- Dış ünitenin açık havada, iç ünitenin konut içinde havalandırılan bir ortamda olduğu konut tipi iki parçalı ısı pompalarında R290 kullanılmaktadır.
- Kuzey Avrupa ülkelerinde Kaskad soğutma sistemlerinin ön kademesinde azaltılmış soğutkan dolgu-

Tablo 3. Doğal Soğutkanların Çevreye Olan Etkileri

Soğutkan Cinsi	Kimyasal Formül	ODP [R11=1]	GWP(100 yıl) [CO ₂ =1]	Yanıcılık	Zehirlilik eşiği [ppm]
R717	NH ₃	0	0	+	50 (25)
R600a	C ₄ H ₁₀	0	3	+	1000
R290	C ₃ H ₈	0	3	+	1000
R1270	C ₃ H ₆	0	3	+	1000
R170	C ₂ H ₆	0	3	+	1000
R744	CO ₂	0	1	-	5000

Makale

lu R290 sistemleri Amonyaga tercih edilmektedir.
- Gerekli önlemlerin alındığı özel makine daireleri veya koruma altındaki açık alanlarda azaltılmış HC dolgulu, daha büyük soğutma sistemleri kurulabilmektedir.

5. R717 - AMONYAK, YENİ ÇÖZÜM ve UYGULAMALAR

5.1. Giriş

R717 ile çalışan ilk soğutma makinası absorpsiyonlu tipte idi ve patenti 1859 yılında Fransız Ferdinand Carré tarafından alınmıştı. Amonyaklı soğuk buhar çevrimiyle çalışan soğutma sistemleri 1900 yılından itibaren soğuk depolarda ve et kombinalarında yaygınlaştılar. Orta ve büyük kapasitedeki soğutma sistemlerinde amonyak kullanımı 1930 sonrasında HCFC'lerin bulunmasından sonra da devam etti. Bilhassa büyük soğuk depolarda, gıda, meşrubat ve süt işleme tesislerinde, merkezi soğutmalı kimya fabrikalarında günümüze kadar uygulamaları artarak devam etti.

Çünkü R717 yanıcı ve zehirli olması ve ayrıca, sınırlı bir karışım oranı aralığında hava ile patlayıcı karışım oluşturmasına rağmen, termodinamik ve ısı transferi ile ilgili fiziksel özellikleri bakımından ideal bir soğutkandır. Havadaki çok düşük oranlarda dahi, insanlar tarafından kokusu kolayca algılanabilir olduğundan, tehlike büyümeden tedbir alınabilmektedir. Geçmişte amonyaklı soğutma tesislerinde meydana gelmiş; zarar verici olaylar çok nadirdir. Sadece büyük tedbirsizlikler ve hatalar karşısında meydana gelmiş zararlar olmuştur.

Tablo 4'de R717'nin, insanlara zararlı etkilerinin oluştuğu, havadaki karışım oranları verilmiştir.

Tablo 4. Amonyakın İnsanlara Zararlı Etkilerinin Oluşturduğu Oranlar [18]

Havadaki NH ₃ oranı [ppm]	Etki
5	Kokunun farkına varılması
25	Yanma hissi başlangıcı
50	Burun, gözler ve boğazda yanma Uzun süreli etkilenmede alışma
100	Bronşlarda ve göz konjonktivinde kızarma
500	Solunum zorluğu
3500-5000	Kısa süreli tesirden sonra öldürücü
Deriyle temas (suda % 50)	Yanma, kabarcık oluşumu

Gelişmeler ve uygulamalar göstermektedir ki, amonyak bütün zararlı olasılıklara rağmen, risk analizleri ve kaza istatistikleri doğrultusunda, diğer avantajları nedeniyle, halen yaygın olduğu kullanım alanlarında; çağımızın getirdiği diğer alternatif soğutkanlarla beraber kullanılmaya devam edilecektir.[19]

5.2. Güncel Uygulamalar

- R717 kullanılan soğutma sistemlerinde dolgu miktarının azaltılması konusunda uygulamalar geliştirilmiştir. Böylece risk analizlerinde olumsuzluk olasılıkları büyük oranda düşürülmüştür.
- R717 soğutkanı ile tam karışabilen yağlar konusundaki çalışmalar sonucu, bazı sentetik yağlar kullanıma geçmiştir. PAO (PolyAlfaOlefin) Böylece NH₃'lü soğutma sistemlerinde yağın kompresöre dönüş sorunları çözülmüştür. Bu sorunun çözülmesi ile; yukarıda belirtilen dolgu miktarı azaltılması olayı gerçekleşmiştir.[20]
- Yarı hermetik tipte amonyak kompresörleri geliştirilmiştir. Bu kompresörlerin R717 tesislerinde kullanılmaya başlaması ile risk faktörü bir kademe daha azalmaktadır.
- Amonyak kullanılan daha küçük soğutma kapasiteli gruplar yapılması konusunda çalışmalar sürdürülmektedir.
- R717 kullanılan soğutma sistemlerinde soğutkan dolgu miktarını azaltıcı önlemler arasında, dalgıç buharlaştırıcı serpantinler yerine, duşlu serpantinler kullanımı uygulanmakta, ayrıca plakalı eşanjörler tercih edilmektedir.[21]
- Sistemden ani ve büyük miktardaki kaçak olasılıklarını ortadan kaldırmak için, gerekli rezerve soğutkanın yüksek basınçlı sıvı tankları yerine, alçak basınç tarafındaki sıvı ayırıcılarda saklanması tercih edilmektedir.

- R717'nin küçük soğutma kapasiteli ticari soğutucularda kullanılması için yapılan çalışmalar başarılı olmuştur. Bu konuda yeni gelişmeler beklenebilir.[22]

KAYNAKLAR

- [1] CARRIER, "First Cooling System For A Jetliner Passenger Cabin", Internet.
- [2] ELWOOD, H.H. et. al. "Commercial Airliner Environmental Control System", Internet.
- [3] KRUSE, H., "Current Status of Natural Working Fluids in Refrigeration, A/C, and Heat Pump Systems", IIR Proceedings, Applications for Natural Refrigerants, s. 49-64, 1996.
- [4] Food Refrigeration and Processing Engineering Research Centre (FRPERC), Internet.
- [5] Letterkenny Institute of Technology, Queen's University of Belfast; (LYIT), Internet.
- [6] KOREN, A., OPHIR, A., "Water Vapour Technology: Application to Commercially Operating Equipment", IIR Proceedings, Applications for Natural Refrigerants, s. 559-566, 1996.
- [7] ALBRING, P., HEINRICH, G., "R718 Heat Pumps", IIR Proceedings, Applications for Natural Refrigerants, s. 553-558, 1996.
- [8] 21. CR –ARTI , "The use of Water Vapour as Refrigerant: Impact of Cycle Modifications on Commercial Feasibility", Report, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Inc., 2004.
- [9] MÜLLER, N., "Entwurf von Laufrädern mit Radialfaserschufeln für Diagonalverdichter mit Getrennt Angetriebenen Vorläufer und Hauptläufer", Doktora Tezi, T.U. Dresden 1999.
- [10] MÜLLER, N., "Design of Compressor Impellers for Water as a Refrigerant", ASHRAE Transactions Resarch s. 214-222, 2001.
- [11] KHRAZI. A.A., AKBARI, P., MÜLLER, N., "Preliminary Study of a Novel R718 Compression Refrigeration Cycle Using a Three-Port Condensing Wave Rotor", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol.127, 2005.
- [12] BR/EDGAARD, T., "Test of an Open Reciprocating Compressor Operating as Low Stage Compressor in a R744/R717 Cascade System", IIR Proceedings, Applications for Natural Refrigerants, s. 623-632, 1996.
- [13] CO₂ Refrigeration "Revolutionary breakthrough in the Refrigeration Area", Internet.
- [14] GÜRLEYEN, K., GÜNGÖR; S, ÇOBAN, M.T., GÜNGÖR, A., "Karbondioksit (R744) Soğutucu Akışkanlı Isı Pompası Sistemleri", Soğutma Dünyası Dergisi, Sayı 41, 2008.
- [15] KILIÇ, K., "Soğutucu Akışkan Olarak CO₂ Kullanılan Süpermarket Derin Dondurucusu", Caddet Newsletter – No 4, 1996'dan çeviri, Soğutma Dünyası Dergisi, Sayı 19, 2002.
- [16] ERTAŞ, E., "Avrupa'daki Soğutma Sistemlerinde Hidrokarbonlar", Soğutma Dünyası Dergisi, Sayı 1, 1997.
- [17] CHRISTENSEN, K., "The HFC-free Fastfood Restaurant" Danish Technological Institute, Internet.
- [18] KOSTER, G.J., "A Way to Safe Use of Ammonia", Proceedings IVa 19th International Congress of Refrigeration", s. 641-644, 1995.
- [19] HAM, K.J.M., GANSEVOORT, J., "Risk Analysis for Ammonia Refrigeration Systems", Proceedings IVa 19th International Congress of Refrigeration", s. 678-685, 1995.
- [20] TYCHSEN, H., "Super Efficient Low-Charge Ammonia Chiller", IIR Proceedings, Applications for Natural Refrigerants, s. 251-258, 1996.
- [21] STRÖMBLAD, M., ENGMAN, C., "Low Charge Heat Exchangers in Ammonia and Absorption Cycles", IIR Proceedings, Applications for Natural Refrigerants, s. 795-804, 1996.
- [22] NIELSEN, O.R. et. al. "Demands on and Development of Small Ammonia Plants for Direct and Indirect Cooling", IIR Proceedings, New Applications of Natural Working Fluids in Refrigeration and Air Conditioning, s. 663-672, 1994.