

Taşıt İklimlendirme Sistemlerinde Soğutucu Akışkan Olarak Karbondioksit (CO₂) Kullanımı

Hüseyin BULGURCU*

Y.Doç. Dr., BAÜ Balıkesir MYO İKS Programı Kampus Balıkesir - hbulgur@yahoo.com

Tahsin USLU

Tek. Öğr., Bornova Seyid ŞANLI Endüstri Meslek Lisesi Tesisat ve Soğutma Bölümü Bornova İzmir - mtahsinuslu@hotmail.com

ÖZET

Yapay soğutucu akışkanlar ozon tabakasına zarar verdiği için ve küresel ısınmaya neden olduğundan dünyada R744 (CO₂) ve R717 (NH₃) gibi doğal (mineral) soğutucu akışkanlara doğru bir dönüş başlamıştır. Bu bağlamda endüstriyel soğutma sistemlerinde R717 (amonyak) yeni güvenlik ve kontrol teknolojileri sayesinde vazgeçilmez bir soğutucu akışkan haline gelmiştir. Aynı şekilde taşıt İklimlendirme sistemlerinde R744 (karbondioksit) soğutucu akışkanlı sistemler üretilmeye başlanmıştır.

1930'lara kadar yaygın bir soğutucu olarak kullanılan karbondioksit daha çok gemilerde tercih edilen bir madde olmuştur. Özellikle R12'nin ortaya çıkmasıyla cazibesini yitirmiş ve son 40-50 yıldır da neredeyse unutulmuştur. CO₂'nin özellikleri arasında kolay temin edilebilir olması, ucuzluğu, sıkıştırma oranının düşüklüğü sayılabilir.

Son yıllarda karbondioksit kullanımı ile ilgili önemli gelişmeler gözlenmiştir. Bu gelişmeler arasında taşıt klimaları, ısı pompaları ve ev tipi soğutucularla ilgili uygulamalar yer almaktadır.

Bu çalışmada taşıt iklimlendirme sistemlerinde R744 (CO₂) kullanımı araştırılmış olup, sistemin yapısı, devre elemanlarının özellikleri, kontrolü ve performansı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbondioksit, CO₂, doğal soğutucu

Usage Of CO₂ as a Refrigerant to Mobile Air Conditioning Systems

ABSTRACT

The use of CO₂ in refrigeration is growing fast because it is the only non-toxic refrigerant, has no effect on the ozone layer and does not contribute to the greenhouse effect. In this respect NH₃ (amonia) become as a very important refrigerant at industrial refrigerations owing to new safety technics. Same way mobil air conditioning systems have been developed that working CO₂.

Carbon dioxide has been used as a refrigerant since the 1930, that preferred in marine refrigeration. Especially took a back seat when synthetic refrigerants like R-12 were introduced in the 1950 and then almost have been forgotten. Properties of CO₂ are easy handling, very cheaply, low pressure ratio.

In the recent years are observed very important advance to usage of CO₂. Between this advances, applications of mobile air conditioning, heat pumps and household refrigerators are located.

In this paper are investigated to use of CO₂ for the mobile air conditioning systems that are examined construction, aspects of components, controls and performance.

Keywords: Carbon dioxide, CO₂, natural refrigerants

GİRİŞ

20. yüzyılın başlarında CO₂ (R-744) yaygın olarak kullanılan bir soğutucu akışkan olmakla birlikte 1940'lı yıllardan itibaren florokarbon kimyasalların bulunmasıyla kullanımdan kalktı. Böylece 1980'li yılların sonunda Norveç Teknik Üniversitesinde Prof. Gustav

Lorentzen'in çalışmalarıyla, yaklaşık yarım yüzyıl aradan sonra, tekrar gündeme geldi. Florokarbon soğutucu akışkanlar üzerindeki çevresel şüphelerin artması üzerine genelde doğal soğutucu akışkanların kullanımı üzerine, ve özellikle yanmaz ve zehirsiz özellikleri dolayısıyla CO₂'ye güçlü bir ilgi oluştu[6].

Yüksek basınç kontrolündeki "kritik basınç üstü" çevrim olarak

* İletişim yazarı

Geliş/Received : 16.09.2007

Kabul/Accepted : 01.10.2007

andlandırılan yeni kavram ilk olarak Gustav Lorentzen ve arkadaşları tarafından geliştirilerek patenti alındı. Norsk Hydro endüstriyel grubu tarafından bu çalışma 1990'da tüm ticari hakları satın alınarak SINTEF AR-GE programına dahil edildi. 90'lı yılların başlarında bu teknolojinin fizibilitesi ve rekabet edilebilirliği gösterildi. Norsk Hydro firması bu çalışmanın lisansını ve teknolojik gelişmesini Shecco Teknoloji ticari markasıyla piyasaya sundu.

1999'da "kritik basınç üstü" CO₂ sistemlerinin ilk ticari uygulamaları; sıcak su ısı pompalarında, 2003'ten itibaren yakıt hücreli taşıtlarda ve son yıllarda ticari soğutma sistemlerinde görünmeye başlamıştır.

2000 yılında Sanyo mühendisleri çift kademeli rotorlu tip CO₂ kompresörü geliştirdiler. Bu kompresör birbirine 180° açı ile bağlanan ikiz rotordan oluşmakta ve 6 Mpa basınç üretebilmektedir.

İlk modern endüstriyel CO₂ soğutma sistemi 2002 yılında Danimarka'daki Sabroe firması tarafından büyük bir başarı ile devreye alınmıştır.

IKK 2004 Uluslararası Soğutma ve İklimlendirme Fuarında Sabroe CO₂ kullanan yüksek basınçlı pistonlu kompresörleri sergilemiştir. Bu kompresör son derece kompakt olup benzer kapasitede olan ticari kompresörlerden boyut olarak 8-12 defa daha küçüktür. Bu kompresörün çalışma basıncı 40 bar'ın üzerindedir.

CO₂'yi soğutucu akışkan olarak kullanan ilk endüstriyel soğutma tüneli Finlandiya'da 2005 yılında kurulmuş olup bu tesis yılda 2 milyon ton balık işleyebilmektedir.

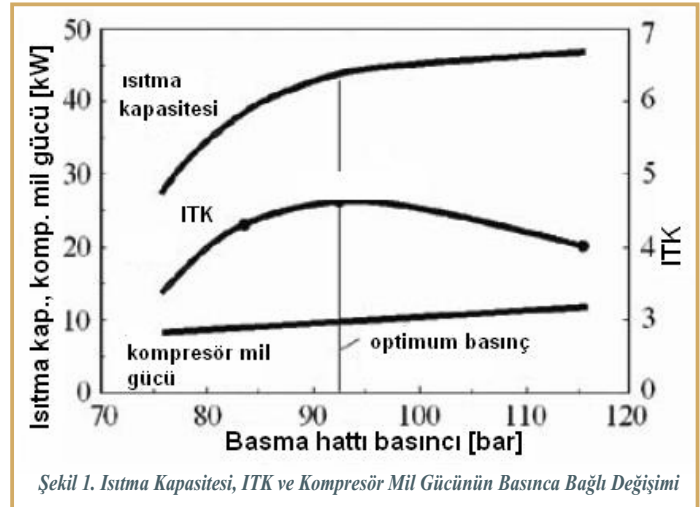
CO₂ sistemlerinin çeşitli alternatif uygulamalarıyla ilgili üniversitelerde ve endüstrinin AR-GE birimlerinde birçok araştırma projeleri devam etmektedir.

ÇALIŞMA AKIŞKANI OLARAK KARBONDİOKSİT

Yaygın soğutucu akışkanlar ile karşılaştırıldığında CO₂'nin en önemli özelliği 31.1 °C olan düşük kritik sıcaklık noktasıdır. Normal ortam sıcaklıklarında CO₂ ile çalışan buhar sıkıştırma sistemlerinde sıcaklık bu değere çok yaklaşmakta ve dolayısıyla basınç 73.8 bar'ın üzerine çıkmaktadır. Bu özellik CO₂ sistemlerini üç noktada diğerlerinden farklı kılmaktadır:

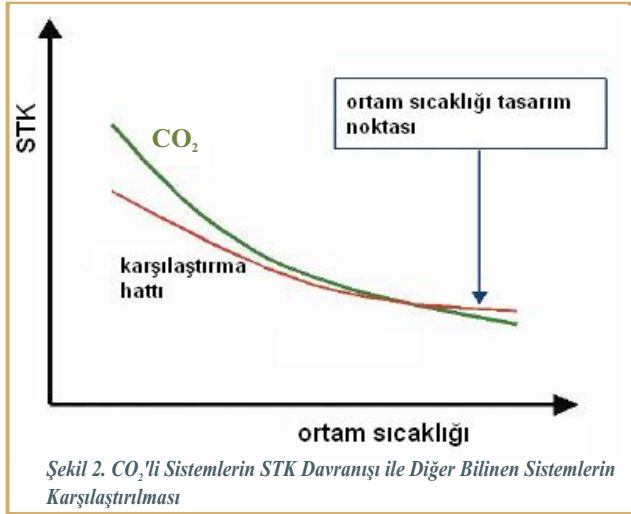
- Isı atımı çoğu kez süper kritik basınçlarda gerçekleşmektedir. Kritik üstü çevrimde sistem kısmen kritik basıncın üstünde kısmen altında çalışacaktır. Kritik üstü sistemlerde yüksek taraf basınçları doyma basıncı ile belirlenemediğinden soğutucu akışkan şarjı ile belirlenir.

- Sistem tasarımı yeterli STK ve kapasite değerini sağlamak üzere yüksek taraf basıncının sürekli kontrolünü gerektirir. Isı pompalı su ısıtma sistemindeki yüksek taraf basıncındaki değişimin ısıtma kapasitesine ve İTK'ya olan etkisi Şekil-1'de gösterilmiştir.
- Sistemin basınç seviyesi oldukça yüksektir (30-100 bar civarında). Sistem elemanları CO₂'nin özelliklerine göre yeniden tasarlanmak ve uyarlanmak zorundadır. Boru ve elemanları küçük hacim işgal ettiğinden CO₂'li sistemlerin depo edilen patlama enerjisi mevcut sistemlerden çok fazla değildir (Petersen) [10]. Yüksek basıncın bir faydası verilen bir soğutma kapasitesi için %80-%90 daha küçük kompresör süpürme hacmi gerektirmesidir.
- Kompresör sıkıştırma oranları düşük olduğundan kompresör verimleri yüksektir.
- Isı atılması durumunda soğutucu akışkandaki sıcaklık kaymaları yüksektir. Süper kritik ve yakın kritik basınçlarda ısı transferinin hemen hepsi veya büyük bir kısmı sıkıştırılmış gazın soğumasıyla oluşur. Isı atımı yapılan ısı değiştirici, kondenser yerine gaz soğutucu olarak adlandırılır. Sıcaklık kayması ısı pompalarında suyun veya havanın ısıtılması için faydalı olabilir. Uygun ısı değiştirici tasarımı ile giren soğutucu akışkan (hava veya su) sıcaklığının birkaç derece üstünde yüksek İTK değeri sağlanabilir.



Şekil 1. Isıtma Kapasitesi, İTK ve Kompresör Mil Gücünün Basınca Bağlı Değişimi

CO₂'li soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin deneylerinden ve modellenmesinden elde edilen tecrübeler STK değerinin, yaygın soğutucu akışkanlara göre ortam sıcaklığı değişimlerinden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Bu durum Şekil-2'de görülmektedir. Daha hassas bir karşılaştırma temeli ortalama şartlarla veya iklimsel değişikliklerin analizi ile yapılabilir.



TAŞIT İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Taşıtlı iklimlendirme sistemleri geçmişten beri atmosferdeki soğutucu akışkan emisyonlarının en etkili kaynağıdır ve HFC-134a'nın üretim hacminin artması bu endişeyi arttırmaktadır. Sonuç olarak resmi kuruluşlar ve çevre örgütleri bu emisyonların azaltılması gereği üzerine odaklanmışlardır. Alman çevre bakanlığı tarafından yapılan bir çalışmaya göre 2007'den itibaren taşıtlı iklimlendirme sistemlerinde HFC-134a yerine tamamen CO₂ kullanılmasıyla Almanya'daki sera etkisi yapan gazların 2010 yılında 1 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak azalması ve 2021 yılında tamamen sıfırlanması sağlanabilir. [11]. Alman otomotiv fabrikalarında yapılan istatistiksel verilere göre yapılan bir karşılaştırmalı çalışmada taşıtlı iklimlendirme sistemlerinden kaynaklanan yıllık emisyon seviyelerinin %10.2 olduğu görülmüştür [12].

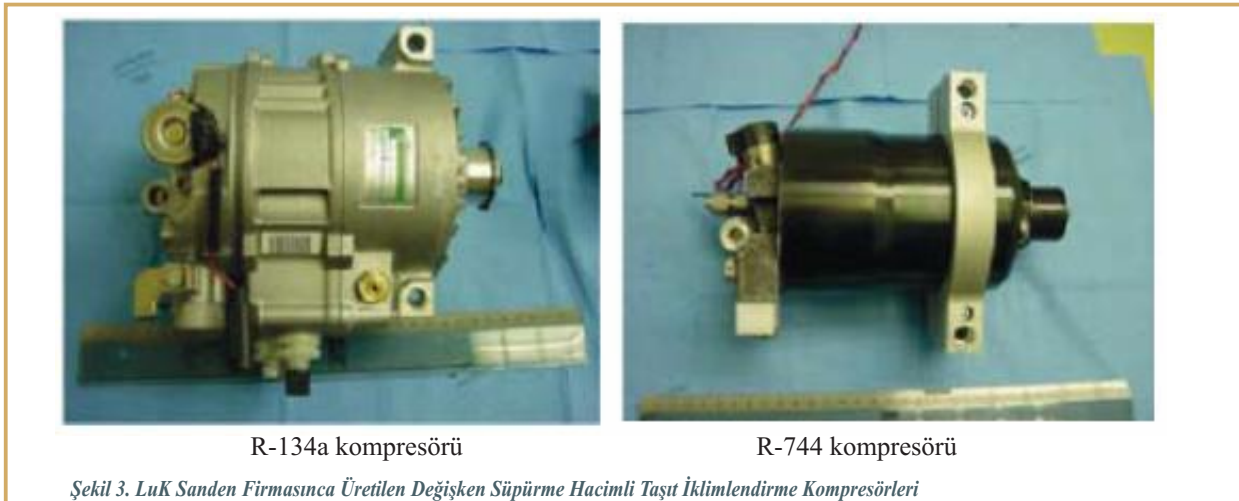
Avrupa Topluluğu komisyonu şimdilerde taşıtlı iklimlendirme sistemlerinde HFC-134a'nın terk edilmesi için bir yasa üzerinde çalışmaktadır[6]. Mevcut öneri HFC-134a'nın tüm yeni araçlardan 2011 yılına kadar yasaklanmasıdır.

Alternatiflerinin küresel sera etkisi 50'den az veya alternatif olarak 150 olup mevcut öneriye uygundur. Bunun anlamı seçimler CO₂'ye, yanıcı alternatifler HFC-152a ve hidrokarbonlara odaklanmaktadır. Şu anki yasa önerisi halk oylamasına bağlı olduğundan terk edilme süresinin başlangıcı değişebilir. Kanun önerisi aynı zamanda diğer uygulamalardaki HFC emisyonlarının azaltılması için ölçümleri gündeme getirmekte fakat çok uzak olduğundan bu alanlarda terk edilme önermemektedir.

Lorentzen ve Pettersen ilk CO₂'li prototip laboratuvar taşıtlı iklimlendirme sisteminin deneysel verilerini 1992 yılında yayımladılar. Bu yayında STK verileri CFC-12 ile karşılaştırmalı olarak verilmişti [6]. Bu olumlu deney sonuçlarına bağlı olarak otomotiv endüstrisi CO₂'li sistemler üzerine çeşitli projeler ve ileri çalışmalar başlattı. Avrupa RACE projesi 1994'ten 1997'ye kadar araçlara monte edilen prototip sistemlerinin geliştirilmesini ve deneylerini içermekte olup bu sonuçlar potansiyel CO₂ esaslı taşıtlı iklimlendirme sistemlerini doğrulamıştır [10]. RACE projesinin üyeleri araç üreticileri (BMW, Daimler-Benz, Rover, Volvo, Volkswagen) ve kompresör üreticileriydi.

Son yıllarda Alman Motor Taşıtlı Endüstrisi Derneği (VDA) CO₂'li sistemlerinin geliştirilmesini ve deneylerini koordine etti ve çok sayıda taşıtlı üreticisi 90'lı yılların sonlarından beri taşıtlı yollarda denemektedir. BMW, Audi ve Daimler Chrysler tarafından 2002'deki endüstri toplantısında tanıtımları yapılmıştır [7]. Bu üç firmanın bağımsız çalışmalarının tutarlı sonuçları aşağıda gösterilmiştir:

- R-744 (CO₂) soğutma modunda R-134a'dan daha yüksek performans göstermektedir.
- R-744 ile düşük kabin sıcaklıklarına daha hızlı ulaşılmaktadır.
- R-744'lü sistemler yakıt tüketimini azaltmaktadır.



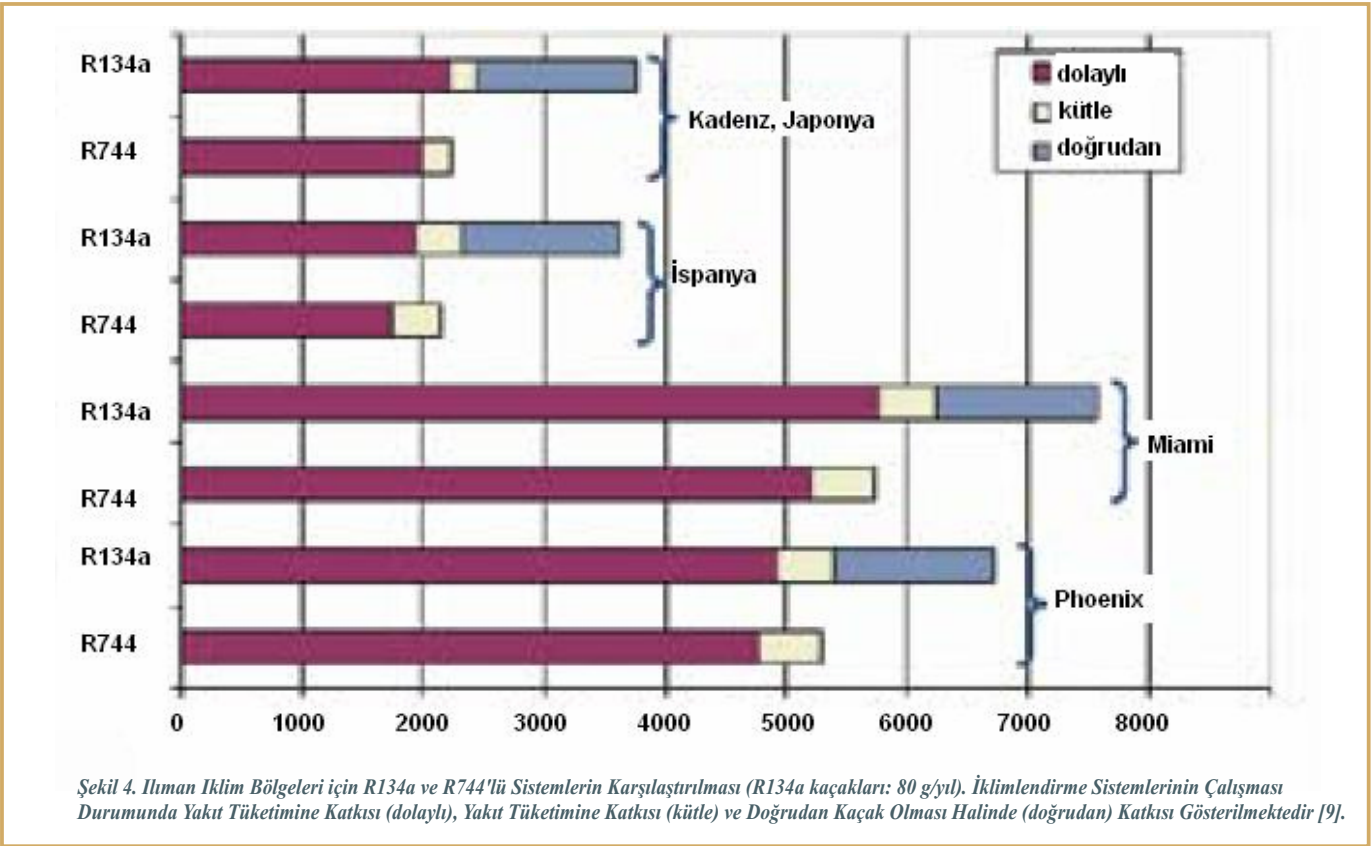
CO₂ esaslı taşıt iklimlendirme sistemleri teknolojisi önümüzdeki yıllardaki gelişmelerle oldukça ileri bir seviyeye ulaşacaktır. Bir örnek olarak Parsch tarafından üretilen küçük bir CO₂'li kompresör Şekil-3'de gösterilmiştir [8].

R-134a'lı ve R-744 (CO₂)'li sistemlerin performanslarıyla ilgili karşılaştırmalı detaylı deneysel araştırma sonuçları SAE Alternatif Soğutucu Programı tarafından verilen şartlara uygun olarak alınabilir. Hrnjak bu sonuçları detaylı olarak göstermiştir [4]. Bu sonuçlara göre Pettersen ve arkadaşları tarafından [9] ve Hafner ve arkadaşları tarafından [11] ömür boyu iklimlendirme verimliliği (LCCP) çalışması yapılmış

fiyat açısından önemsiz olması, sistem ağırlığı yönünden enerji verimli ve emniyetli olması tüm bu uygulamalar için yanmaz ve zehirsiz olan CO₂ oldukça özel avantajlar sunmaktadır.

TAŞIT İKLİMLENDİRME SİSTEMİNİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

CO₂'li iklimlendirme sisteminde temel elemanlar kompresör, gaz soğutucu (kondenser yerine), genişleme valfi ve evaporatördür [14]. Soğutma verimini ve emniyetli çalışmayı sağlamak için elektrik/elektronik kontrollü genişleme valfi kullanımı gereklidir.

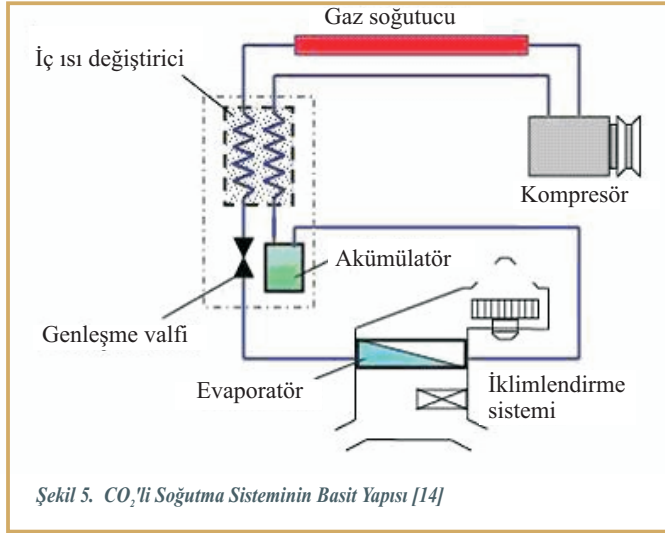


olup R-134a'lı sistemlere göre R-744'lü sistemler %20-%40 daha düşük verimli çıkmıştır. Ancak bu düşük değerler Şekil-4'e göre en sıcak iklim bölgelerinden biri için geçerlidir. Ayrıca yakıt tüketimine bağlı iklimlendirme sistemleri karşılaştırmasında ılıman iklim bölgelerinde olsa bile fark nispeten düşük görülmektedir.

Şehir içi otobüs iklimlendirme sistemlerinde bile CO₂'li sistemler geliştirilmiştir ve iki yıllık (18000 saat) yol testleri olumlu çıkmıştır [12]. CO₂'li sistemler bazı kurallar altında uçaklardaki geleneksel hava çevrimli iklimlendirme sistemlerinde doğal akışkan olarak yeniden kullanılabilir [13]. SINTEF projesinin çözüm ortağı olan Padova Üniversitesi bu çalışmadan sorumludur. Şarj miktarının

Bilinen taşıt iklimlendirme (R-134a) sistemlerine göre CO₂'li sistemlerde aşağıdaki temel farklar mevcuttur:

- Bir gaz soğutucu konvansiyonel sistemlerdeki kondenser karşılık gelecek kompresörden gelen CO₂ soğutucu akışkanı soğutur. Çünkü soğutucu akışkan yüksek basınç tarafında kritik noktanın üstünde olduğundan gaz soğutucuda yoğunlaşmaz. Bunun yerine genişleme valfinden adyabatik genişleme esnasında CO₂ soğutucu akışkan kısmen yoğunlaşır.
- Şekil-5'de gösterildiği gibi bir iç ısı değiştirici; gaz soğutucu çıkışı ile evaporatör arasına konularak gaz soğutucudan çıkan CO₂ soğutucu akışkanının emme tarafındaki hattan ısı değişimi oluşturup, aşırı

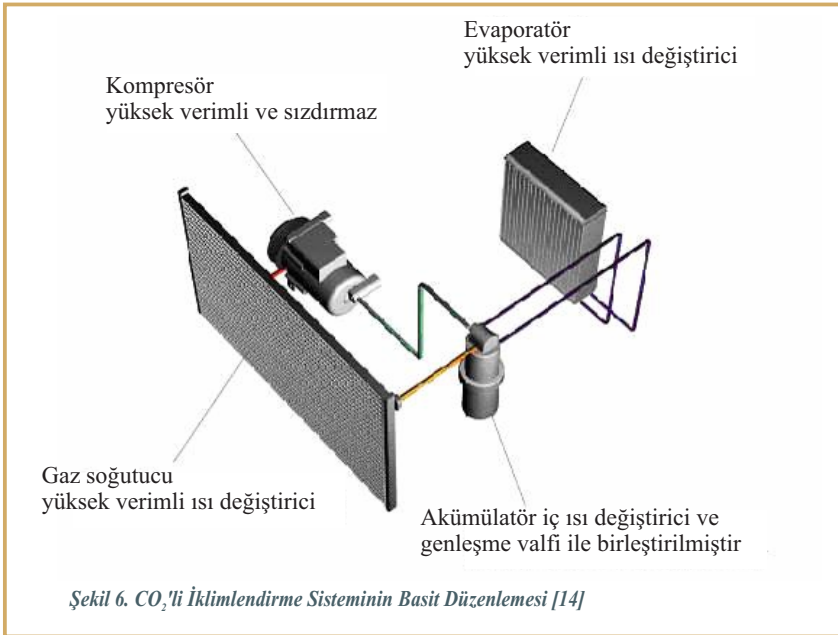
Şekil 5. CO₂'li Soğutma Sisteminin Basit Yapısı [14]

ISI POMPASI ÇEVİRLİ TAŞIT İKLİMLENDİRME SİSTEMİ

Özellikle hibrit yakıtlı araçlarda kabin soğutması yanında ısıtma problemi de mevcuttur. Bundan dolayı CO₂'li sistemlere ısı pompası çevrimi de eklenmektedir. Şekil-7'de DENSO firması tarafından Toyota hibrit araçları için üretilen taşıt iklimlendirme sistemi görülmektedir.

Bu sistem bir direkt geçiş (by-pass) valfinin açılıp kapanmasıyla soğutma konumundan ısıtma konumuna geçebilir (Şekil-7).

Soğutma konumunda 1 no'lu direkt geçiş valfi açılır ve 2 no'lu direkt geçiş valfi kapalıdır. Üstelik iç hava soğutucunun hava karışım odası tamamen kapalıdır. CO₂ soğutucu akışkanı Şekil-8'de gösterildiği gibi dolaşır.

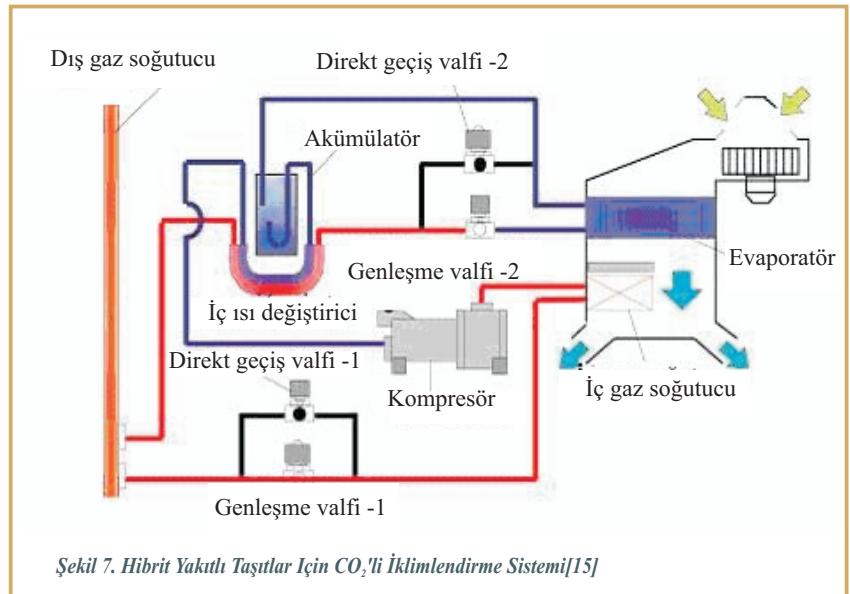
Şekil 6. CO₂'li İklimlendirme Sisteminin Basit Düzenlemesi [14]

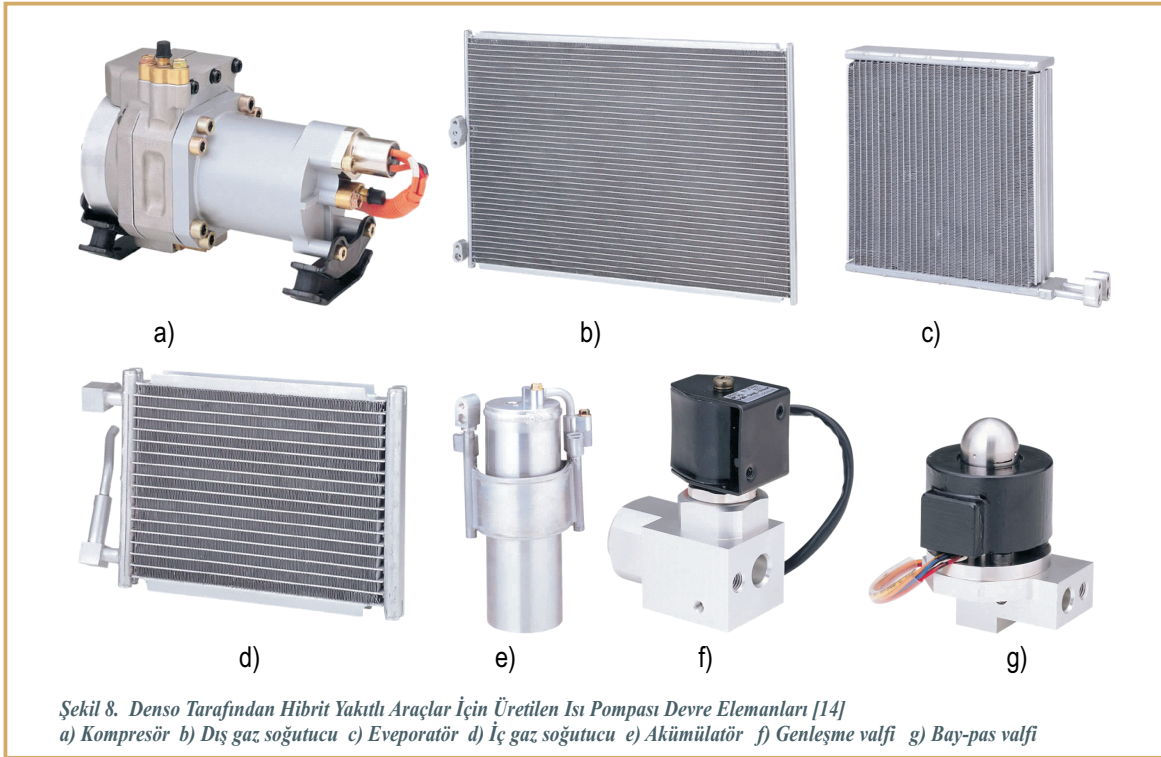
Isıtma konumunda 1 no'lu direkt geçiş valfi kapanır ve 2 no'lu direkt geçiş valfi açılır. Sonra iç gaz soğutucunun hava karışım odası açılır. Kompresörden basılan yüksek sıcaklık ve yüksek basınçtaki CO₂ soğutucu akışkanı iç gaz soğutucuya geçerken ısısını havaya bırakır. Gerekliğinde sistem 2 no'lu direkt geçiş vanasını kapatıp 2 no'lu genleşme valfinin açılma seviyesini kontrol ederek nem alma işlemi de yapabilir.

Bunun ötesinde bu sistemde kompresör bir elektrik motoru tarafından tahrik edilir, motor ve kompresör sızdırmaz (hermetik) olarak birbirine bağlanmıştır. Bunlar iyi sızdırmazlık verimi ve araca kolayca bağlanabilme özelliği sağlar.

soğutulmasını sağlar. İç ısı değiştirici evaporatör girişindeki sıvı miktarını artırarak soğutma verimini iyileştirir, sonuçta sistemin STK değeri artar.

- R-134a soğutma çevriminde sıvı deposu yüksek tarafa yerleştirilmiştir. Bununla birlikte CO₂ soğutma çevriminde akışkanı yüksek tarafta sıvı fazında olmadığından akümülatör/sıvı deposu emme tarafında yerleştirilir. Akümülatör ısı değiştirici ve genleşme valfi ile birleştirildiğinde CO₂'li sistemin yapısı basitleşir ve araçlara kolayca monte edilebilir (Şekil-6).
- Her eleman yüksek basınçta çalışmaya imkan verecek şekilde dayanıklı olarak tasarlanır.

Şekil 7. Hibrit Yakıtlı Taşıtlar İçin CO₂'li İklimlendirme Sistemi [15]



SONUÇ

Ozon tabakası ve sera etkisi yönünden çok avantajlar sunan CO₂'li taşıt iklimlendirme sistemleri üretici firmaların bu alanda somut çalışmalar yapmasıyla yaygınlaşmaya başlamıştır.

Ancak CO₂'li iklimlendirme sistemlerinin pazara sürülmeden önce aşağıdaki hususların çözülmesi gereklidir:

- Fiyatın düşürülmesi
- Ağırlığın düşürülmesi
- Güvenli çalışmanın sağlanması ve
- Aşağıdakileri kapsayan alt yapı sistemin güçlendirilmesi gerekir:
 - Servis ve tamir ekipmanlarının sağlanması
 - CO₂'li iklimlendirme sistemlerinde kullanılacak servis ve bakım güvenliğinin açıklanması ve standartlaştırılması.

KAYNAKÇA

1. Callaghan, P. and Vainio, M., "EC Poised For Action on HFC134a in MACs: Results of MAC Summit 2003", Earth Technology Forum, Motor Vehicle A/C Regulatory Innovations, Washington, April 23, 2003.
2. Gentner H., "Passenger Car Air Conditioning Using Carbon Dioxide As Refrigerant". Proc. Natural Working Fluids'98, IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Oslo, Norway, June, 1998
3. Hafner, A., Neksa, P. and Pettersen, P.: Life Cycle Climate Performance (LCCP) of Mobile Air-Conditioning Systems with HFC-134a, HFC-152a and R-744, Mobile Air Conditioning Summit 2004, Washington, 2004
4. Hrnjak, P.: Design and Performance of Improved R744 System Based on 2002 Technology, SAE Automotive Alternate Refrigerant Systems Symposium, Scottsdale AZ, July, 2003
5. Köhler, J., "Update Second year of CO₂ air Conditioning Operation on German city bus". SAE Automotive Alternate Refrigerants Symposium, June 28 July 1, Scottsdale, Arizona, 1999.
6. Lorentzen, G., and Pettersen J., "New Possibilities for Non-CFC Refrigeration". Proceedings From International Symposium on Refrigeration, Energy and Environment, Trondheim, pp. 147-163, June 1992.
7. Mager, R., Hammer, H., Wertebach, J., "Comparative Study on AC and HP-systems using the Refrigerants R-134a and R-744", VDA Alternate Refrigerant Wintermeeting, Saalfelden, Austria, January 30-31, 2002.
8. Parsch, W., "Status of Compressor Development for R-744 Systems", VDA Alternate Refrigerant Wintermeeting, Saalfelden, Austria, January 30-31, 2002.
9. Pettersen, J. and Neksa, P.: Consequences of the Newest Improvements in R-744 Systems, SAE Automotive Alternate Refrigerant Systems Symposium, Scottsdale AZ, July, 2003.
10. Pettersen, J., "Comparison of Explosion Energies in Residential Air-Conditioning Systems Based on HCFC-22 and CO₂", 20th International Congress of Refrigeration (IIR), Sydney, Australia, September 19-24, 1999.
11. Schwartz, "Forecasting R-134a emissions from car air conditioning systems until 2020 in Germany", Translation of Lecture at DKV Deutsche Kaelte-Klima-Tagung, Bremen, 22.-24. November 2000, <http://www.oekorecherche.de/english/ac-2000.html>
12. Schwartz, W., "R-134a Emissions From Passenger Car Air Conditioning Systems", VDA Alternate Refrigerant Wintermeeting, Saalfelden, Austria, January 30-31, 2002.
13. <http://www.poa-project.com> 12.08.2007 tarihinde erişildi.
14. <http://www.denso.com> 20.07.2007 tarihinde erişildi.