soğutma dünyası

*Süpermarket Soğutma Sistemleri ve Enerji Verimliliğinin Artırılması Amaçlı İzmir`de Bir Süpermarket Soğutma Sisteminin İncelenmesi

Arş. Gör. Halil TUZCU, Prof. Dr. Ali GÜNGÖR
halil.tuzcu@gmail.com, ali.gungor@ege.edu.tr
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Enerji verimliliği, kaliteyi düşürmeden ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden, tüketilen enerji miktarının en aza indirilmesidir. Soğutmada harcanan enerji bir süpermarketin enerji kullanımının yarısı veya daha çoğu mertebelerindedir. Çabuk bozulan ürünlerin bu tür soğutulmuş raflarda sergilenmesi ve depolanması gereklidir. Kompresör ve kondenserlerde toplam enerji gereksiniminin %60-70'i kullanılır. Bu gibi sistemlerde, sistemin sürekli olarak gözetim altında tutulması, enerji verimliliği ve son yıllarda çevresel etkiler nedeni ile son derece önemlidir.

Gerçekleştirilecek bu çalışmada, süpermarketlerde kullanılan soğutma sistemlerinin çeşitliliği incelenecek ve mevcut sistemlerin enerji verimliliğinin artırılması ile ilgili çalışmalara yer verilecektir. Bu çalışma kapsamında İzmir'de bulunan, büyük müşteri kapasitesi ve mağaza hacmine sahip bir süpermarkette incelemeler yapılacak ve enerji verimliğini artırma çalışmaları gerçekleştirilecektir.

Enerji Verimliliği Kanunu ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından belirlenen hedef, Türkiye'nin enerji yoğunluğunu 2020 yılına kadar %15 azaltmaktır. Bu hedef, aynı enerji ile daha fazla üretimin önünü açacak, enerji yatırım ihtiyaçlarını ve ithalat bağımlılığını azaltacak, ayrıca temiz çevrenin korunmasına önemli katkılarda bulunacaktır. Avrupa Birliği Hedefleri ve Türkiye'de belirlenen yönetmelikler çerçevesinde, süpermarket soğutma sistemlerindeki enerji verimliliğinin hangi oranlarda artış sağlayabileceği de bu çalışmanın kapsamı içerisindedir.

Anahtar Kelimeler: Süpermarket soğutma, soğutma, soğutkanlar, enerji verimliliği.

ABSTRACT

Energy efficiency is a minimizing the amount of energy consumption without interrupting economic development and social welfare. The energy consumption in cooling is half or more of energy demand in a supermarket. Such products which are perishable need to be presented and storaged on these kind of chilled shelves. Compressors and condensers use amount of 60-70% of the total energy requirement in supermarket cooling systems. In such systems, energy efficiency is extremely important in recent years due to environmental influences if the system is kept under constant surveillance.

To perform this study, we examined a variety of cooling systems used in supermarkets and on the efforts to increase energy efficiency of existing systems will be discussed. In this study, there are examinations in a supermarket which has a great customer capacity and studies to increase in energy efficiency.

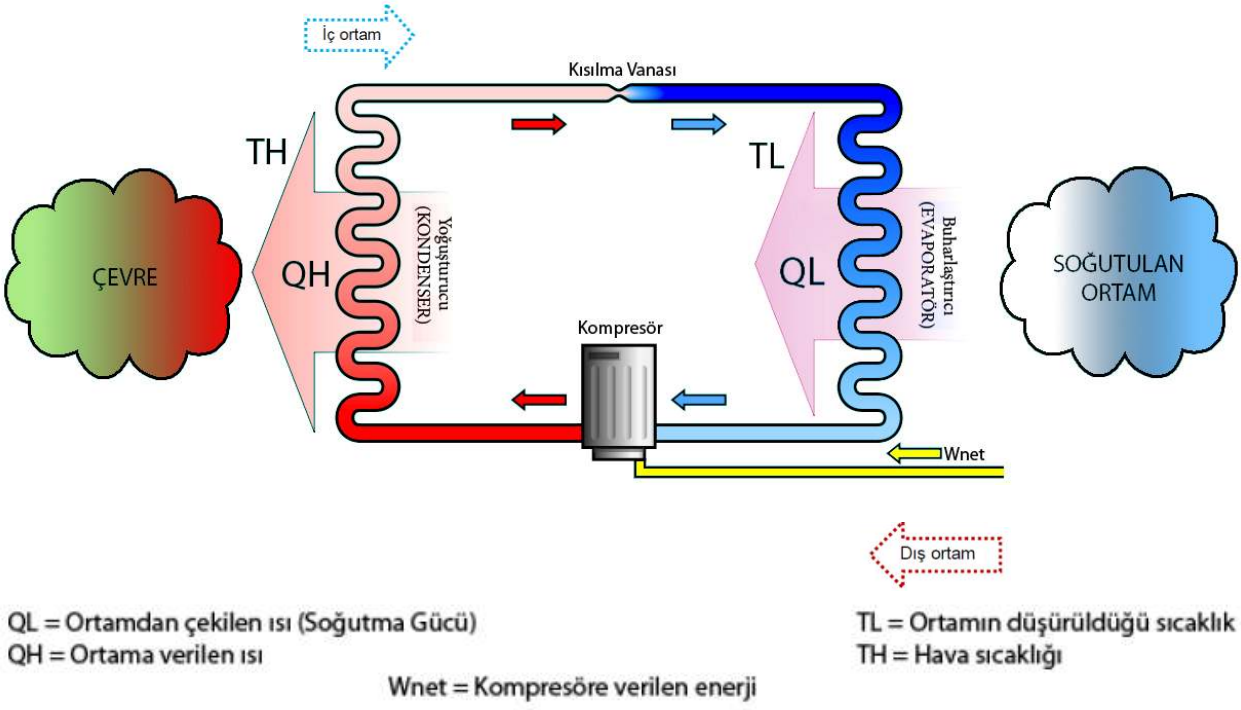
The target set by Energy Efficiency Law with Ministry of Energy and Natural Resources is to reduce Turkey's energy intensity by 15% up to 2020. This goal will pave the way for more production with the same energy, reduce investment needs and dependence on energy imports, will also be an important contribution to protect the clean environment. European Union goals and the regulations of Turkey, in supermarket refrigeration systems' energy efficiency which provide increased rates are within the scope of this study.

Key Words: Supermarket refrigeration, refrigeration, refrigerants, energy efficiency

1. GİRİŞ

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın azaldığı yönde olduğu bilinen bir gerçektir, başka bir deyişle ısı geçişi, yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Bu doğal bir olgudur ve kendiliğinden gerçekleşir. Bu olgunun tersi kendiliğinden gerçekleşemez. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak soğutma makinelerinin kullanımı ile mümkündür.

Soğutma makineleri de ısı makineleri gibi bir çevrimi esas alarak çalışır. Bir soğutma çevriminde kullanılan aracı akışkana, soğutucu akışkan (soğutkan) adı verilir. En yaygın kullanılan soğutma çevrimi buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimidir ve dört eleman ile gerçekleşir; kompresör, yoğuşturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcı. Soğutucu akışkan kompresöre buhar olarak girer ve burada yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır.



Şekil 1. Soğutma Makinasının Temel Çalışma Prensibi

Kompresör çıkışında kızgın buhar halinde olan akışkan, yoğuşturucuda çevre ortama ısı vererek soğur ve yoğuşur. Akışkan yoğuşturucudan sonra kılcal borulara girer ve kısılma etkisiyle basıncı ve sıcaklığı büyük ölçüde azalır. Soğutucu akışkan daha sonra buharlaştırıcıda soğutulan ortamdan ısı alarak buharlaşır. Çevrim buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın kompresöre girmesiyle tamamlanır.
Soğutucu ve buzdolaplarında kullanılan, soğutucu akışkana ısı geçişinin olduğu dondurucu bölümü, buharlaştırıcı işlevini görür. Buzdolabının arkasındaki borular ise akışkanın mutfaktaki havaya ısı verdiği yoğuşturucu kısmıdır.

Süpermarket soğutma sistemlerinde aynı çevrim geçerlidir ve sistem daha büyük soğutma kapasitelerinde çalışma durumundadır. Sistemin çalışması esnasında kompresör ve kondenserlerde toplam enerji gereksiniminin %60-70'i kullanılır. Bu oranının azaltılması enerji verimliliği açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

2. SOĞUTMA MAKİNALARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Soğutma makinalarının çalışma prensibi, farklı soğutma çevrimleri gruplarına göre incelenebilir. Bu gruplar;

1.İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi,

2.Gerçek buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi,

3.Gelişmiş buhar sıkıştırmalı soğutma sistemleri,

a. Kaskad soğutma sistmeleri,
b.Çok kademeli sıkıştırma yapılan soğutma sistemleri,

4.Tek kompresör ile çalışan soğutma sistemleri,

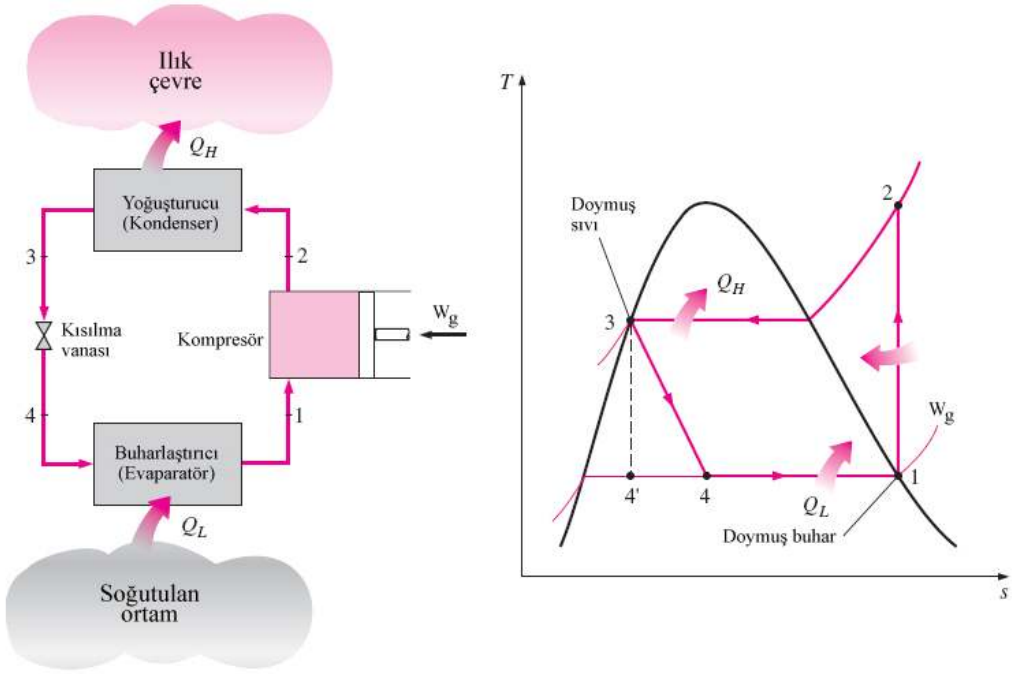
5.Birden fazla kompresör içeren soğutma sistemleri,

6.Gaz akışkanlı soğutma çevrimleri,

7.Soğurmalı soğutma sistemleri,

şeklindedir.

Her bir grup kendi içinde farklı çalışma elemanlarına sahip olsa da, soğutma verimliliğinin en fazla olabileceği Ters Carnot çevrimine bağlı olarak çalışırlar. Şekil 2'de Ters Carnot soğutma makinasının çevrimine bağlı olarak çalışan İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ve T-s diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. İdeal Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevriminin Tesisat Şeması ve T-s Diyagramı [1]

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 sıkıştırmalı bir soğutma çevriminde, soğutkan kompresöre 1 halinde doymuş buhar olarak girer ve izantropik olarak yoğunlaştırıcı basıncına sıkıştırılır. Bu izantropik sıkıştırma sırasında, soğutkanın sıcaklığı çevre ortamı sıcaklığının oldukça üzerine çıkar. Daha sonra soğutkan 2 halinde kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girer ve çevreye ısı verilmesi ile 3 halinde doymuş sıvı olarak çıkar. Bu durumda da soğutkanın sıcaklığı hala çevre ortamı sıcaklığının üzerindedir.

Doymuş sıvı olarak 3 halinde bulunan soğutkan, genleşme vanası veya kılcal borudan geçirilrek buharlaştırıcı basıncına kadar kısılır. Bu işlem sırasında soğutkanın sıcaklığı soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. Daha sonra soğutkan 4 halinde, düşük kuruluk derecesinde doymuş sıvı olarak buharlaştırıcıya girer ve soğutulan ortamdan ısı alarak tümüyle buharlaşır. Soğutkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre tekrar girerek çevrimi tamamlar.

Carnot soğutucularının soğutma verimini belirlemek için Soğutma Etkinlik Katsayısı (COP; coefficient of performance) tanımlanır.

$$COP_{SM,Carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{1}{\frac{T_H - T_L}{T_L}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1} \qquad (1)$$

Burada iki sıcaklık farkının azalması, başka bir ifade ile T_L'nin yükselmesi veya T_H'nin düşmesi durumunda COP'nin de arttığına dikkat edilmelidir. Tersine Carnot çevrimi iki berlirli sıcaklık seviyesi arasında çalışan *en etkin* soğutma çevrimidir. Bu nedenle soğutma makinaları için ideal çevrim olarak ilk önce bu durumun incelenmesi doğaldır [1].

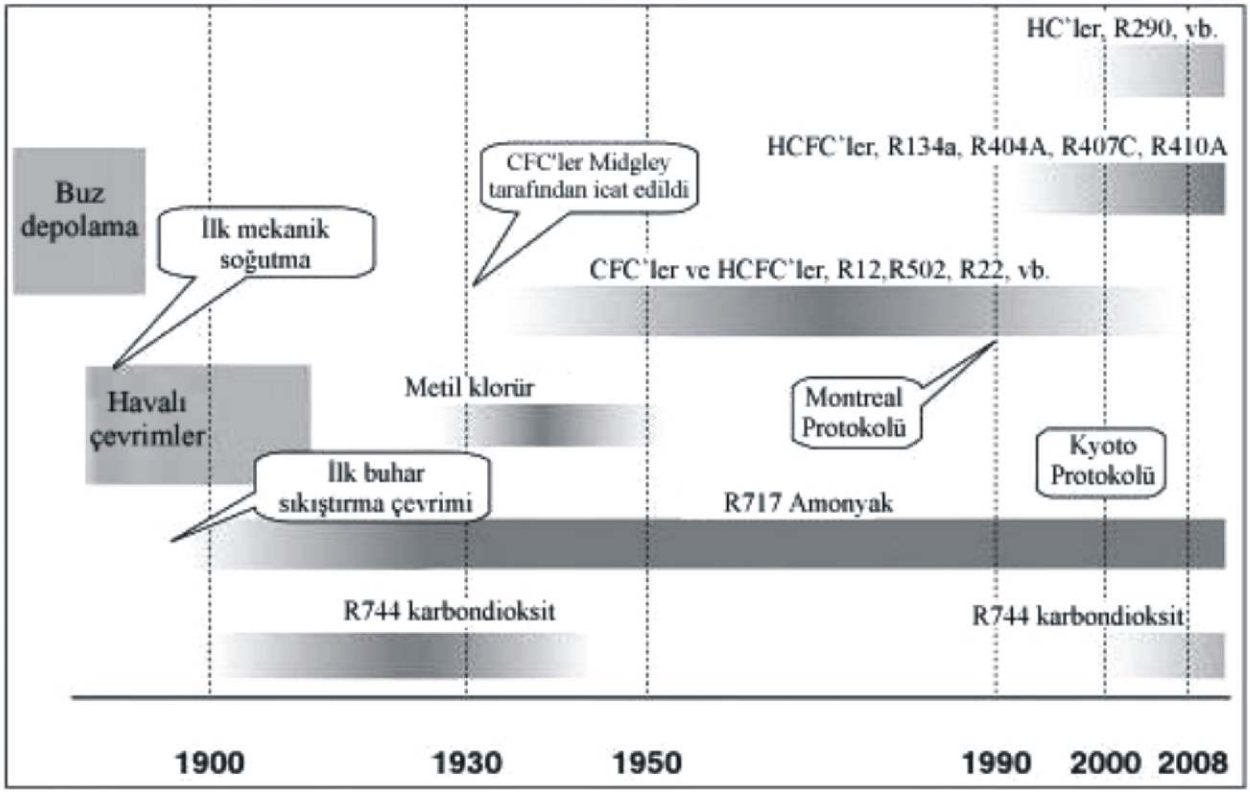
3. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE SOĞUTUCU AKIŞKANIN SEÇİMİ

3.1. Soğutucu Akışkan (Soğutkan) Çeşitleri

Bir önceki bölümde çevrimdeki iki farklı sıcaklık farkının azalmasının COP değerini artırmasından bahsedildi, peki bu sıcaklık farkını azaltabilmek için T_L sıcaklığında değişiklikler yapılabilir mi? Evet, soğutma çevriminde farklı akışkanlar kullanılır ve kullanılan akışkanın buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak COP değerinin artırılması mümkündür.

Bir soğutma sistemini tasarlarken seçilebilecek birçok soğutucu akışkan vardır. Bunlar arasında kloroflorokarbonlar (CFC), amonyak, hidrokarbonlar (propan, etan, etilen vb), karbondioksit, hava (uçakların iklimlendirilmesinde kullanılan) ve hatta su (donma noktasının üzerindeki uygulamalarda) sayılabilir [1].

Soğutma sistemlerinin kullanılmaya başlanıldığı ilk günlerden itibaren çeşitli soğutucu akışkanlar kullanılmıştır ve soğutucu akışkanlara ait zaman çizelgesi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Soğutucu Akışkanların Kullanım Yıllarına Ait Zaman Çizelgesi [2]

İlk mekanik soğutma 1990'lı yılların başlarında gerçekleştirildi. Özellikle son 25 yıl içinde ise soğutkanların çevreye karşı olan zararları da dikkate alınarak kullanımına devam edilmiştir. Mekanik soğutma öncesinde ise bilinen ilk soğutkan hava olmuştur. İlk buhar sıkıştırma çevrimi uygulandığında ise daha karmaşık sistemlerin kullanımı gerekmiştir fakat daha etkili sonuçlara ulaşılmıştır. Buhar sıkıştırma çevrimlerinde kullanılan ilk akışkanlar amonyak ve karbondioksit olmuştur. Amonyağın çevreye karşı zehirleyici etkilerinden dolayı Avrupa, Yeni Zelanda ve Avusturalya gibi yerlerde kullanımı azalmıştır. Karbondioksitli sistemlerde ise yüksek basınç gerekmektedir fakat 1945'lere kadar kullanımı devam etmiştir [2].

3.2. Süpermarket Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutma Sistemleri

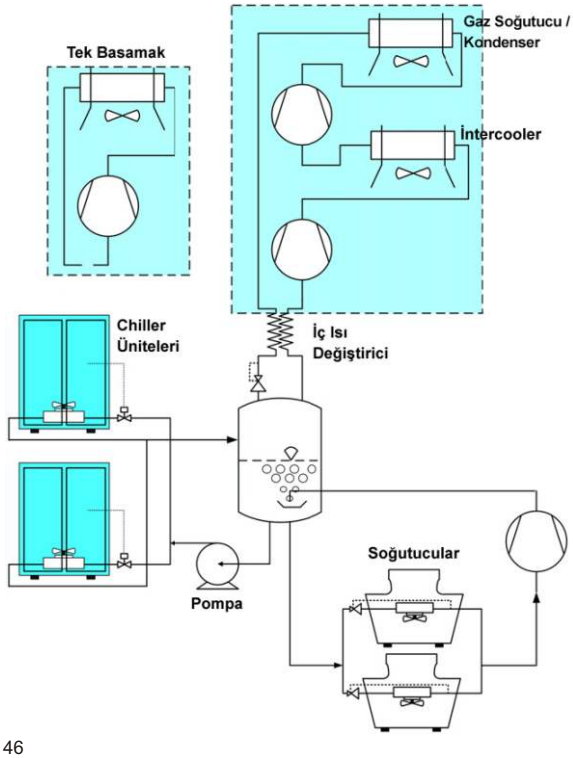
Sentetik soğutma sıvıları ıslanma özelliği sayesinde işlenen parça üzerinde tutunmayı azaltarak, makine ve makine parçalarının daha temiz kalmasını sağlar bu sayede ekipman genel ömrü uzamış olur. Süpermarket soğutma sistemi hatları genellikle uzun borulama yapılması gereken hatlardır ve bu nedenle sentetik soğutma sıvıları kullanımı yaygın olmuştur fakat sentetik sıvılar grubundan olan CFC, HCFC ve HFC gibi soğutkanların ozon tabakasına zarar verdiği ve küresel ısınmada rol oynadığı bilinmektedir.

Son yıllarda sentetik soğutkanların yerine doğal soğutkanlar almaya başlamıştır. Doğal soğutkanlar olarak su, asal gazlar, hidrokarbonlar, amonyak ve CO_2 gibi soğutkanlar arasında, CO_2; 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda ve sıkıştırmalı buhar çevriminde çalışabilen çevreye zararsız ve yanıcı olmayan tek soğutkandır [3].

Süpermarket soğutma sistemlerinde boruların yerleştirilmesinin ve birleşim noktalarındaki işçiliğin önemi oldukça fazladır. Eski sistemlerde %30 ve daha fazla olan soğutkan kaçakları, yeni sistemlerde %15 ve daha az oranda olmaktadır [4]. Belirtilen bu durumlardan dolayı süpermarket soğutma sistemlerinde doğal soğutkanların kullanılması önemlidir.

CO_2 kullanan süpermarket soğutma sistemleri ile R404A kullanan süpermarket soğutma sistemleri arasındaki yıllık enerji tüketimi kıyaslandığında; kuzey ve orta Avrupa'da yapılan çalışmada CO_2 kullanan sistemlerin %10 daha az enerji tükettiği görülmüştür [5].

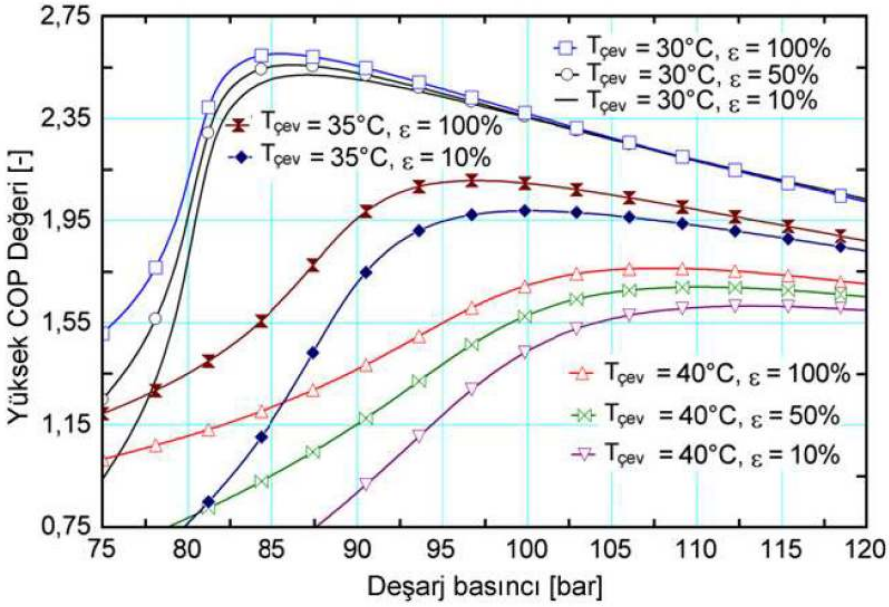
3.2.1. CO_2 Merkezli Sistem Çözümü



Teknoloji ilerledikçe farklı akışkanlarla farklı çalışmalalar yapılmıştır. Bunlardan birisi de 2008 yılında Sawalha tarafından yapılan 2 kademeli CO_2 merkezi sistem uygulaması olmuştur. Dış ortam sıcaklığının 10~40°C olduğu sıcaklık aralığında en yüksek COP değerini CO_2 vermiştir [6].

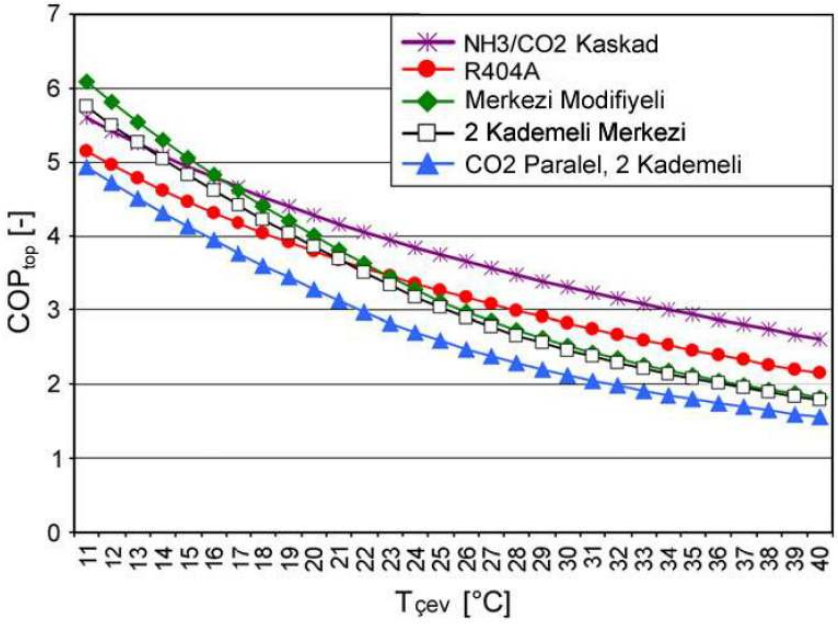
Şekil 4. Yüksek Basınçlı Sıkıştırma Durumunda Bir veya İki Kademeli Sıkıştırma ile CO_2 Merkezli Sistem Çözümü [6]

Tek basamaklı ya da iki basamaklı olarak kullanılan sistemde (Şekil 4) iç ısı değiştiricinin etkisi fazladır. İç ısı değiştiricinin farklı değerlerinde, farklı çevre sıcaklıklarında, farklı deşarj basıncı değerlerinde CO_2'ye ait COP değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



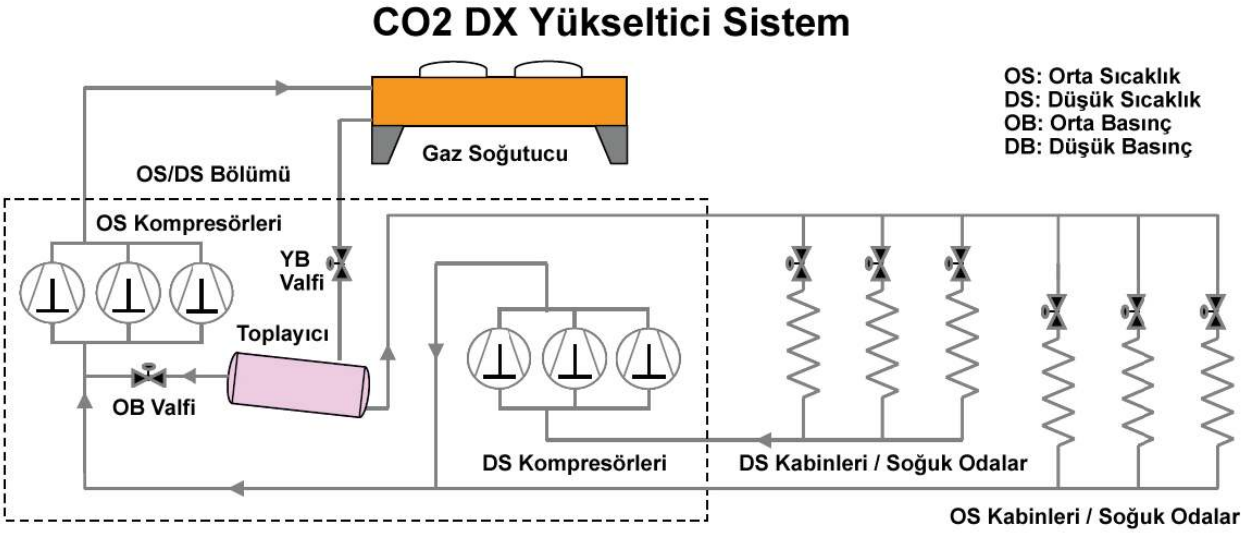
Şekil 5. İç Isı Değiştiricinin Farklı Değerlerinde, Farklı Çevre Sıcaklıklarında, Farklı Deşarj Basıncı Değerlerinde CO_2'ye ait COP değerleri [6]

CO_2 'li sistemlerin tekil kullanımı olduğu gibi farklı soğutucu gazlar ile birlikte kaskad sistemler olarak kullanımı da mevcuttur. Şekil 6'da sıcaklıkların yükselmesi ile NH_3/CO_2 kaskad sisteminin COP değerinin arttığı görülmektedir.



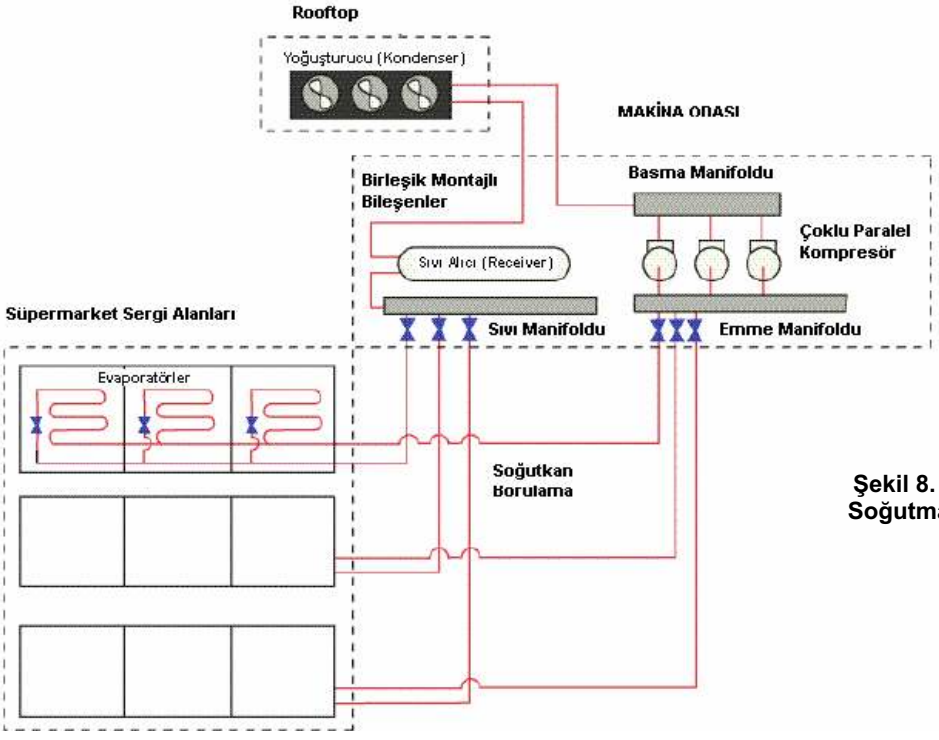
Şekil 6. Çevre Sıcaklığı 10~40°c Arasında Oduğu Durumda Farklı Soğutkanların COP Değerleri [6]

Gerçekleştirilen yeni uygulamalara CO_2 yükseltici sistemler de girmiştir. Soğutma ihtiyacının fazla olduğu bölgeler Şekil 7'deki gibi CO_2 yükseltici sistemler ile soğutulabilmektedir [7].



Şekil 7. CO_2 Yükselticili Süpermarket Sistem Şeması [7]

Süpermarketlerde kullanılan geliştirilmiş sistemler iki amacı gerçekleştirmelidir. Enerji verimliliği açısından mükemmel olması, soğutkan kaçakları nedeniyle küresel ısınma potansiyeli olarak bilinen TEWI'nin (Total equivalent warming impact) düşük düzeylerde olmasıdır. Bu amaçla geliştirilen farklı sistemler mevcuttur [8]. Bunlardan biri olan ve soğutma yükünün fazla olduğu sistemler için kullanılan çoklu kompresörlü soğutma sistemi Şekil 8'de görülmektedir.

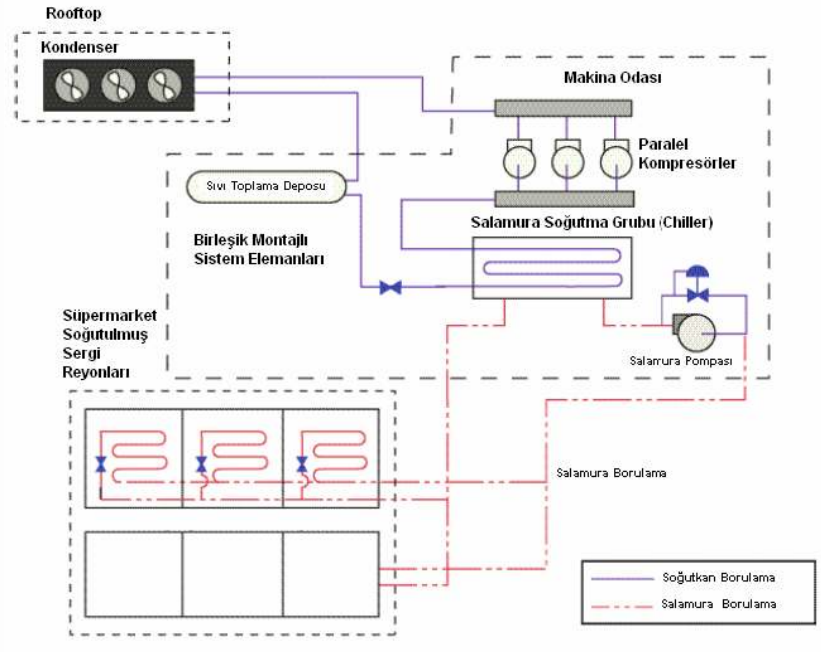


Şekil 8. Çoklu Kompresörlü Soğutma Sistemi Bileşenleri [8]

Süpermarketlerde soğutulmuş sergileme raflarının bulundukları yerler incelendiğinde, çevresel ve belirli alanlarda yoğunlaşmış biçimde yerleştirildikleri gözlenir. Günümüzde süpermarketlerde en yaygın kullanılan soğutma sistemi, çoklu kompresörlü (multiplex) direkt genleşmeli (DX) soğutma sistemleridir. Bu sergileme ve soğuk depolama odaları, direkt genleşmeli hava-soğutkan serpantinleri bulundurur ve bu serpantinler yakın ve geniş bir makina odasında veya çatıda yerleştirilen kompresör ve diğer bileşenlerle bağlantılıdır. Bu durum çok büyük miktarlarda borulama gerektirir. Buradaki kaygı, bakım ve servisin kolaylığının, soğutkan kaçağına tercih edilmesidir. Yeni süpermarket tasarımları ise soğutkan kaçağında da azlığı sağlamayı hedefler. Daha ucuz maliyetli ve bakım kolaylığı nedeniyle hava soğutmalı kondenserler (yoğuşturucular) tercih edilmektedir. Kondenser sıcaklığını düşürmek ve sistem enerji gereksinimini düşürmek için evaporatif kondenserler de kullanılabilmektedir. Ancak bu bakımda dikkatliliği gerektirir ve daha maliyetlidir. Her iki durumda da sistem kontrolleri dış hava kuru veya yaş termometreleri ile bağlantılı olarak ayarlanır [8].

3.2.2 İkincil Kapalı Devreli Tip Sistemler

İkincil kapalı devreli soğutma sistemleri birçok formda uygulanabilir. Bu sistemlerde ortak taraf bir veya daha fazla soğutma grubunun ikincil bir akışkanı soğutmasında kullanılması ve bu soğutulan akışkanın markette sergileme ünitelerine ve soğuk depo odalarına pompalandığı kapalı dolaşımlı devrelere sahip olmasıdır. Şekil 9'da ikincil kapalı devreli bir sistemin bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 9.
İkincil Kapalı Devreli Tip Sistemin Bileşenleri [8]

Şekil 9'daki sistemde kullanılan soğutma grubu (chiller) çoklu kompresörlü sistem yapısında kompresörlerle bağlantılı ve sergileme yerlerine soğutulmuş ikincil akışkanın istenilen sıcaklıkta hazırlanmasını sağlar.

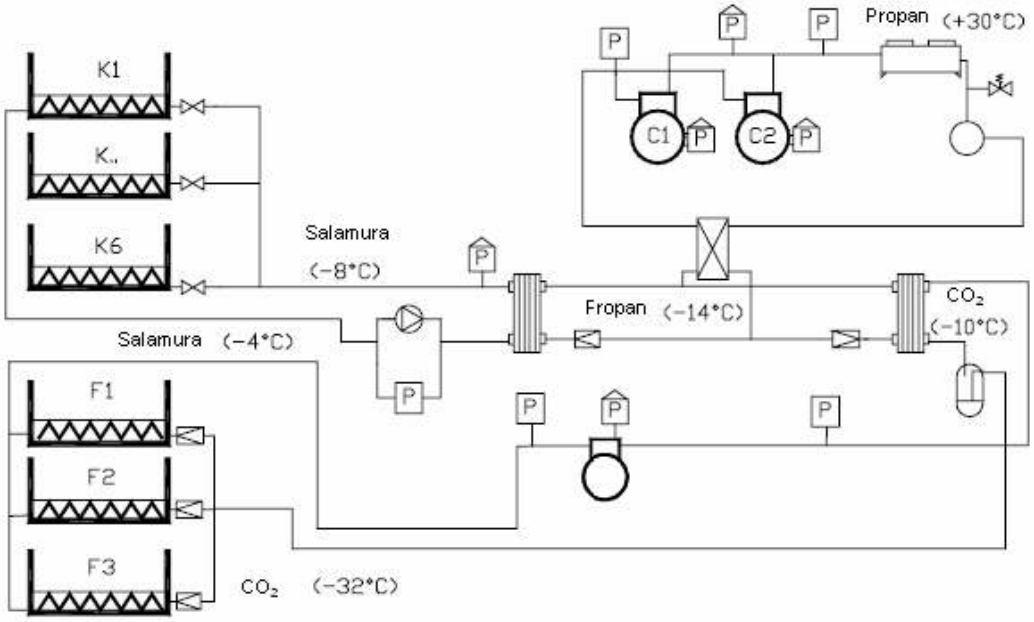
Kompresörden basılan soğutkan basma manifoldu aracılığı ile bir boru hattından, normalde makine odasının çatısında bulunan kondenserlere gönderilir. Evaporatif bir kondenser kullanılacak olursa daha düşük ortalama kondenser sıcaklığı ile çalışılabilir ve hava soğutmalı kondenserlere nazaran daha az fan enerjisi kullanılır, böylelikle genellikle ılıman iklim bölgelerinde toplam enerji gereksinimi en az düzeylere indirilebilir. Bu sistemde, konvansiyonel direkt genleşmeli sistemlere göre ana devre soğutkan miktarında yüzde 1015 mertebelerinde azalma gerçekleşebilmektedir. Şekil 9'da gösterilen sistemde diğer bir seçenek olarak, kondenser devresinde de evaporatör devresinde olduğu gibi, ısı atmak için ikinci bir akışkan daha kullanılmasıdır. Bu yaklaşımın ilave ana soğutkan gereksiniminde yüzde 5'ler mertebesinde azalma sağlanmasına karşılık, kullanılan ara ısı değiştirici etkinliğinin, ilave dolaşım pompalarının kullanımının, dikkate alınması durumunda, termodinamiksel analizde enerji kullanımında ek artışlar oluşturabilecektir [8].

İkincil kapalı devreli sistemler, birincil sistemlerin verimliliğini artırma özelliğindedir. Bu artış, kompresörün soğutma grubu evaporatörlerine çok yakın olması, birincil akışkanın kondenser çıkışında ikincil akışkanla (brine: salamura) aşırı soğutulmasının sağlanması ve bu ısınan ikincil akışkanın da sergileme yerleri ısı değiştiricilerinde defrost amaçlı kullanılabilmesiyle gerçekleştirilir.

Büyük süpermarketlerde ikincil kapalı devreli sistemler genelde en azından iki ayrı ikincil kapalı devre ve soğutma gruplarına (chiller) gereksinim duyulur: Bu kapalı devrelerden birisi düşük sıcaklıklı (donmuş gıdalar) ürün sergileme raflarına veya depolama odalarına, diğeri de orta sıcaklıklı (soğutulmuş gıdalar) ürün sergileme raflarına veya odalara soğutulmuş salamura sağlar. Sistemde iki kapalı devre kullanımı sonuç olarak sergi yerlerinin yalnızca iki sıcaklıkta tutulmasını sağlayabilir. Çoklu kapalı devre kullanımı durumunda ise sergi hava sıcaklıkları gereksinimlerine çok yakın sistemlerin çalıştırılabilmesi ve tüm sistemin ortalama efektif evaporatör sıcaklığını yükseltmek ve enerji verimliliğini yükseltmek olanaklıdır. Yalnız her bir devrenin ayrı bağımsız soğutma grubuna ve kontrol sistemlerine gereksinim duyması sistem maliyetlerini artırabilmektedir.

İkincil kapalı devre sistemlerde diğer bir yaklaşım ise kademeli (cascade) tip sistemdir. Şekil 10 şematik olarak kademeli bir sistemi göstermektedir. Bu uygulamada yüksek sıcaklık kademesinde soğutkan olarak propan kullanılmıştır ve düşük sıcaklık kademesi (bu kademede soğutkan olarak CO_2 kullanılmıştır) kondenserden ısı çeker ve aynı zamanda propilen glikol gibi bir salamuranın soğutulmasında kullanılır. Bu salamura (soğutulmuş: chilled) gıda reyonlarının soğutulmasında kullanılan ikincil kapalı devredir. CO_2 kademesi ise direkt genleşmeli evaporatörler aracılığı ile dondurulmuş gıda reyonlarından ısı çekilmesini sağlar. Bu sistem uygun diğer farklı soğutkanlar ve salamuralar ile de çalıştırılabilir.

Tüm ikincil kapalı devreler için önerilen ideal bir salamura yoktur. Süpermarket sistemlerinde en yaygın kullanılan salamuralar ortalama sıcaklık kapalı devresi için propilen glikol/su çözeltisi ve düşük sıcaklık kapalı devreleri için potasyum format/ su çözeltisidir. Bazı analitik çalışmalarda HFE-7100 çözeltisinin -20°C sıcaklıkları ve altı mertebelerde ısıl ve basınç düşümü avantajlarının olduğu belirlenmiştir. Son zamanlarda sıvı CO_2'de her sıcaklık seviyelerinde Avrupa'da artan bir kullanıma sahiptir. Bunun anlamı boruların iç basınç dayanımların yüksek olması ve bu uygulamalarda önem kazanmasıdır [8].



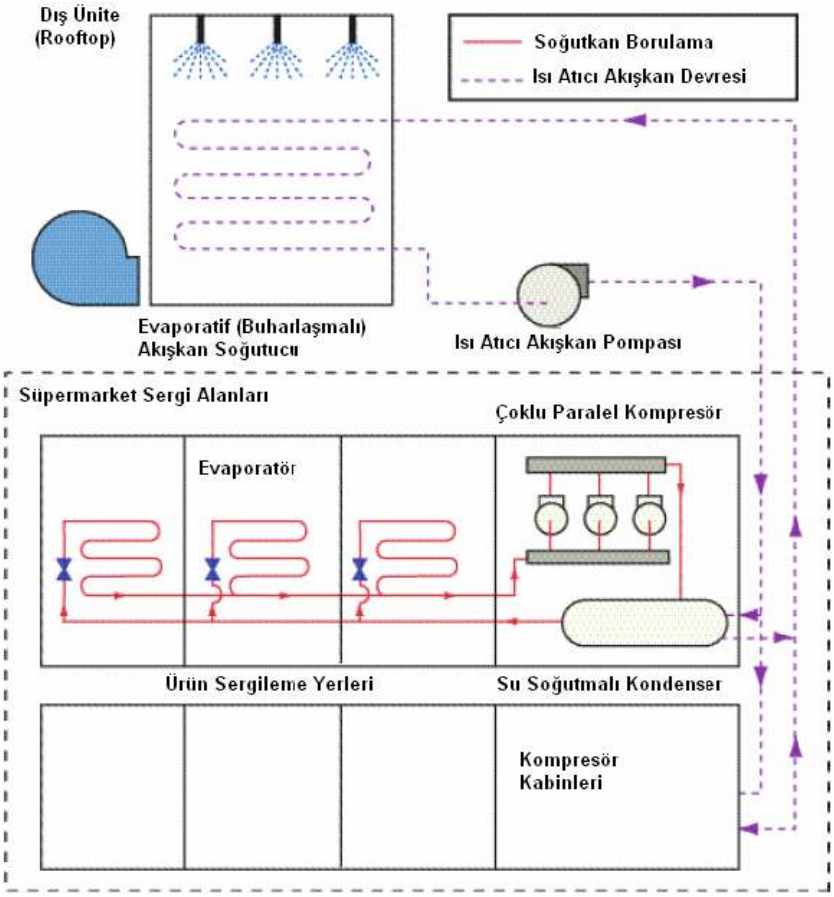
Şekil 10. Propan/Karbondioksit Kademeli Soğutma Sistemi [8]

Aşağıda ikincil kapalı devrelerde kullanılan, daha önceki uygulama ve araştırmalarda önerilen akışkanlar verilmiştir [8].

- Etilen Glikol/Su
- Propilen Glikol/Su
- Potasyum Format/Su
- Pekasol 50
- Freezium
- Hycool
- Trikloretilen
- İnhibitörlü alkali ethanat çözeltisi
- Tyfoxit
- Hidrofloroether
- HFE-L-13938
- HFE-7100
- Siklohekzen
- D-Limonene
- Polidimetilsiloksan (Silikon yağı)
- Syltherm
- Dowtherm
- Sentetik İzoparafinik Petrol Hidrokarbonları
- Terminol

3.2.3. Dağıtılmış Kompresör Gruplu Soğutma Sistemi

Şekil 11'de dağıtılmış kompresör gruplarının gösterildiği bir soğutma sistemi gösterilmektedir. Bu sistem ile çoklu kompresörlü soğutma sistemi arasındaki fark, bu sistemde küçük kompresör gruplarının ayrı ayrı dağıtılmış olduğu ve yan yana kompresör kabinetleri halinde yakın bölgelere yerleştirildiği ve her birinin ayrı sergi reyonlarına ve soğuk odalara hizmet vermesinin sağlanmış olmasıdır. Böylelikle sistem, makina odası ile sergi reyonları arasında çok uzun borulamalardan kurtarılmıştır. Kompresör kabinetleri sergi yerleri döşemesi altına veya sergi yerleri çevresel yerleştirilip, hemen çevre duvarı sonrasına yerleştirilebilmektedir.



Şekil 11. Dağıtılmış Kompresör Gruplu Soğutma Sistemi Bileşenleri [8]

Bu düzenlemeyle, her bir sergi reyonu çıkışındaki doymuş emme sıcaklığı (DES), o reyonun evaporatör sıcaklığı mertebesinde tutulabilmektedir. Konvansiyonel çoklu kompresörlü sistemlerde bağlantılı olan tüm sergi reyonlarında aynı DES değeri sağlanabilir. Dağıtılmış kompresör grupları ile sergi reyonları, her biri ayrı olmak üzere, üç veya dört farklı evaporatör sıcaklığında çalışabilmekte ve soğutulabilmektedir. Her bir reyon için istenen daha uygun sıcaklıkların sağlanmış olması, tüm sistemin daha enerji verimli bir sistem olarak çalışmasını sağlayabilmektedir.

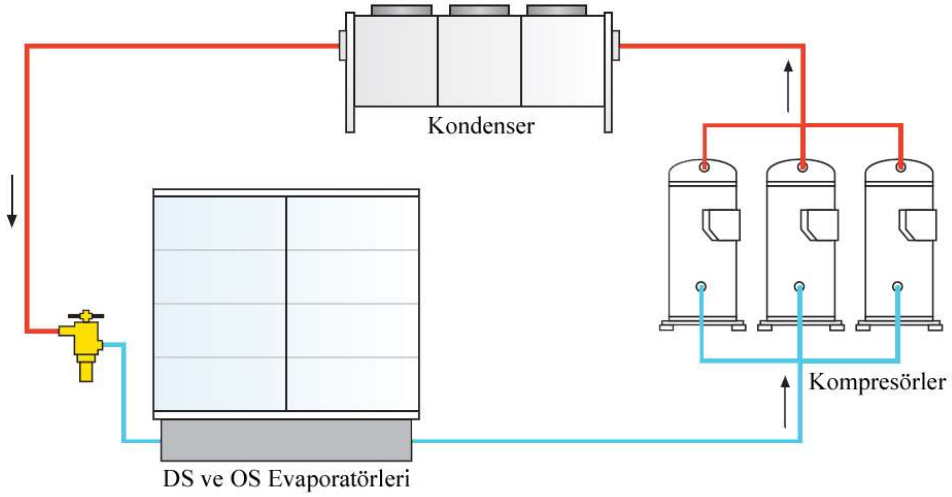
Emme ve basma hatlarının azalması nedeniyle soğutkan şarj miktarı, çoklu kompresörlü sisteme göre daha azalmıştır. Şekil 11'de gösterildiği gibi ısı atımı için bir dış kondenser yerine kapalı devre evaporatörlü bir soğutma kulesi aracılığı ile üretilen soğutma suyunun su soğutmalı kondenserde kullanımı da sağlanırsa bu devredeki soğutkan borulaması da olmayacak ve soğutkan miktarında daha da azalma sağlanabilecektir. Isı atımında bu kapalı devreli su soğutmalı kondenser kullanımı ile dağıtılmış kompresör gruplu sistemde çoklu kompresörlü sistemin yüzde 3035 mertebelerinde soğutkan kullanılacaktır. Eğer ayrı rooftop tipi kondenserli dağıtılmış kompresör grubu uygulanmışsa, soğutkan miktarı çoklu kompresörlü sistemin yüzde 5060 mertebeleri olmaktadır. Doğaldır ki ikincil ısı atımı devresinin kullanımı daha yüksek kondenser sıcaklığı ve bu da direkt rooftop tipi kondensere göre daha fazla enerji kullanımı anlamına gelecektir.

Dağıtılmış kompresör gruplu sistemin her bir kompresör grubu, çoklu kompresörlü soğutma sistemine benzer yapıdadır. Tüm gerekli elektriksel ve borulama bağlantıları bu kabinetlere sağlanmıştır. Bunlar emme ve basma soğutkan hatları, ısı atımı için soğutma suyu giriş ve çıkış bağlantıları ve elektriksel bağlantılardır. Çoklu kompresörler değişik kapasitelerde gereksinime ve hizmet vereceği sergi reyonlarına uygun seçilir ve paralel olarak bağlanıp yüke göre çalıştırılır. Kabinetler emme ve basma manifoldları kompresörlere paralel olarak bağlantıyı sağlar. Emme manifoldu istenirse bölünerek farklı çoklu emme sıcaklıklarının tek bir kabinet grubundan sağlanması gerçekleştirilebilir.

4. İZMİR'DE BİR SÜPERMARKET SOĞUTMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

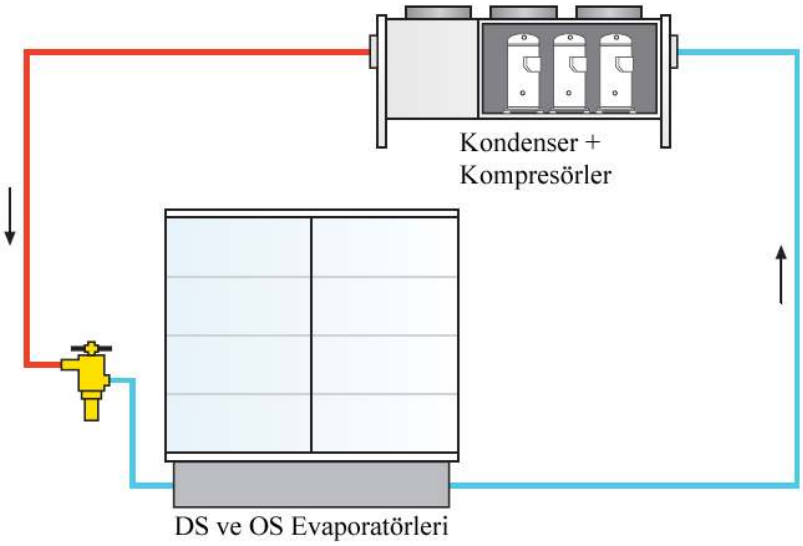
Süpermarketlerde kullanılan soğutma sistemleri genellikle soğutma dolap ve reyonlarına ulaşan ortak boru hatlarına sahiptir ve soğutma yükünün fazla olduğu sistemlerdir. Süpermarket soğutma sistemlerinde orta ve düşük sıcaklık istenen her bir ürün soğutma reyonuna ayrı olarak evaporatör ve konsenser yerleştirilmesi zordur. Böyle durumlarda soğutma sistemi; merkezi doğrudan genişlemeli (DX) (Şekil 12) ya da dağıtılmış doğrudan genişlemeli (Şekil 13) olarak devreye alınır [9].

Çoklu kompresörlü DX sistemler için soğutkan miktarı gereksinimi cok yüksek kapasitelerdedir, soğutkan kapasitesinin birim kW'ı için 45 kg mertebelerindedir [8].



Şekil 12. Merkezi Doğrudan Genişlemeli (DX) Sistem [9]

Merkezi doğrudan genişlemeli sistemlerde düşük sıcaklık (DS) ve orta sıcaklık (OS) evaporatöleri aynı hat üzerinde bulunmaktadır. Evaporatörlerde gereken soğutma ihtiyacı ayarlanır ve ürün soğutma bölgesine aktarılır. Fakat bazı durumlarda yalnızca düşük sıcaklık istenen bölgelere soğutma işlemi uygulanması gerekirken, orta sıcaklık bölgelerinde de fazladan soğutma işlemi yapılmış olur. Böyle durumlarda düşük sıcaklık ve orta sıcaklık bölgelerinin birbirinden ayrılması gerekir. Şekil 13'te dağıtılmış kompresör gruplarının gösterildiği bir soğutma sistemi gösterilmektedir. Bu sistem ile çoklu kompresörlü soğutma sistemi arasındaki fark, bu sistemde küçük kompresör gruplarının ayrı ayrı dağıtılmış olduğu ve yan yana kompresör kabinetleri halinde yakın bölgelere yerleştirildiği ve her birinin ayrı sergi reyonlarına ve soğuk odalara hizmet vermesinin sağlanmış olmasıdır. Böylelikle sistem, makina odası ile sergi reyonları arasında çok uzun borulama işlemlerine gerek kalmaz.



Şekil 13. Dağıtılmış Doğrudan Genişlemeli Sistem [9]

Dağıtılmış doğrudan genişlemeli sistem, merkezi doğrudan genişlemeli DX sisteme benzer özellik taşımaktadır fakat dağıtılmış doğrudan genişlemeli sistemde kompresörler kondenserin ya hemen bitişiğinde ya da kondenser kabininin içinde yer alırlar. Merkezi bir kompresör ünitesi kullanılması yerine daha küçük kompresörlerler kullanılır ve her biri kondenser ünitesine yerleştirilir. Kondenser üniteleri genellikle çatıya montajlı olur ve soğutkan için uzun borulama hatlarına gerek kalmaz. Kondenser üniteleri genellikle efektif kullanılabilecek halde, ucuz ve kolay montajlanabilecek şekilde kontrol edilebilecek özellikle fabrikadan hazır halde alınır. Bu durum soğutkan kaçaklarının aza indirilmesinde ve daha kısa mesafede daha düşük çaplı boru kullanılmasında etkilidir. Fakat bu sistem her zaman pratik olmayabilir çünkü binanın yapısı ve yerine göre kullanımı mümkün olmayabilir.

İzmir'de incelenene süpermarket soğutma sisteminde kompresör grubu; 3+3+2 kompresör olmak üzere 10 adet kompresör içermektedir. 3 farklı grup halinde çalışan kompresör gruplarının bağlı olduğu;

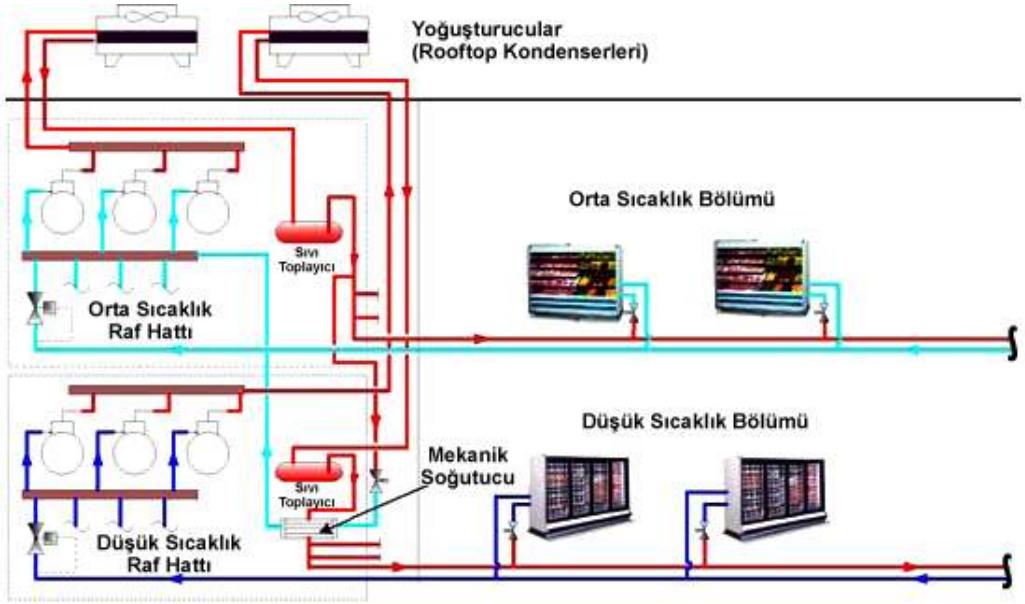
	Evaporatör sıcaklığı	Grup Adı
1.grupta	-18°C	Düşük sıcaklık hattı
2.grupta	+4°C	Orta sıcaklık hattı
3.grupta	+15~30 °C	İklimlendirme hattı

belirtilen evaporatör sıcaklıkları istenmektedir.

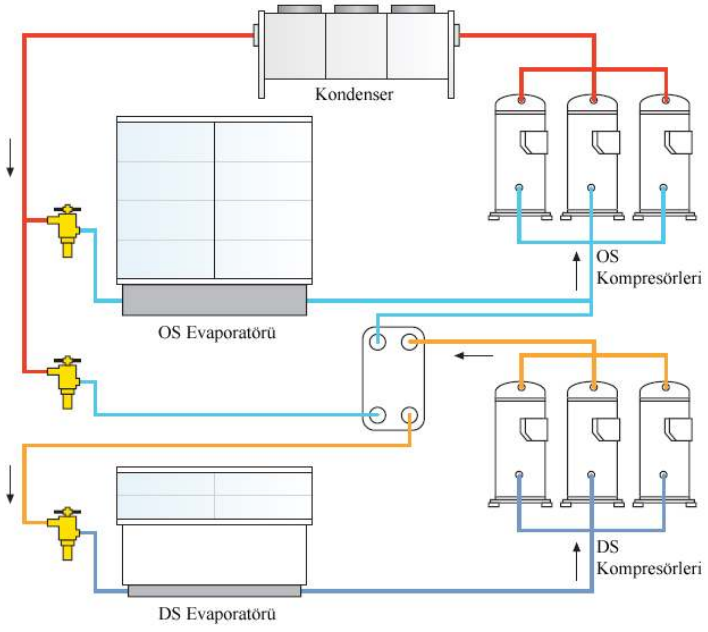
3.grubun ofislerdeki iklimlendirme şartlarını sağlayabilmek için kullanılmasından dolayı bu çalışmada yalnızca 1. ve 2. grup incelenmiştir. Şekil 14'te belirtilen 1.ve 2. grup için soğutma sistemi şeması gösterilmiştir.

Orta sıcaklık raf hatları; pastaların, süt ürünlerinin ve buna benzer diğer ürünlerin bulunduğu yaklaşık +4°C sıcaklık istenen soğutma hatlarıdır. İncelenen süpermarket soğutma sisteminde orta sıcaklık hattına bağlı soğuk ürün saklama reyonlarında gereken güç 180 kW olarak hesaplanmıştır.

Düşük sıcaklık raf hatları; donmuş ürünlerin, et ürünlerinin ve buna benzer diğer ürünlerin bulunduğu yaklaşık -18°C sıcaklık istenen soğutma hatlarıdır. Ayrıca bu hat balık reyonunda kullanılan buzların üretimi için ve karlama makinası hattına bağlıdır. Düşük sıcaklık hattındaki sergi reyonu ihtiyacı, orta sıcaklık hattına oranla daha az olduğu için düşük sıcaklık hattına bağlı soğuk ürün saklama reyonlarında gereken güç 150 kW olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14. Paralel Kompresör Bağlantılı, Orta ve Düşük Sıcaklık Hatlı Soğutma Sistemi Şeması

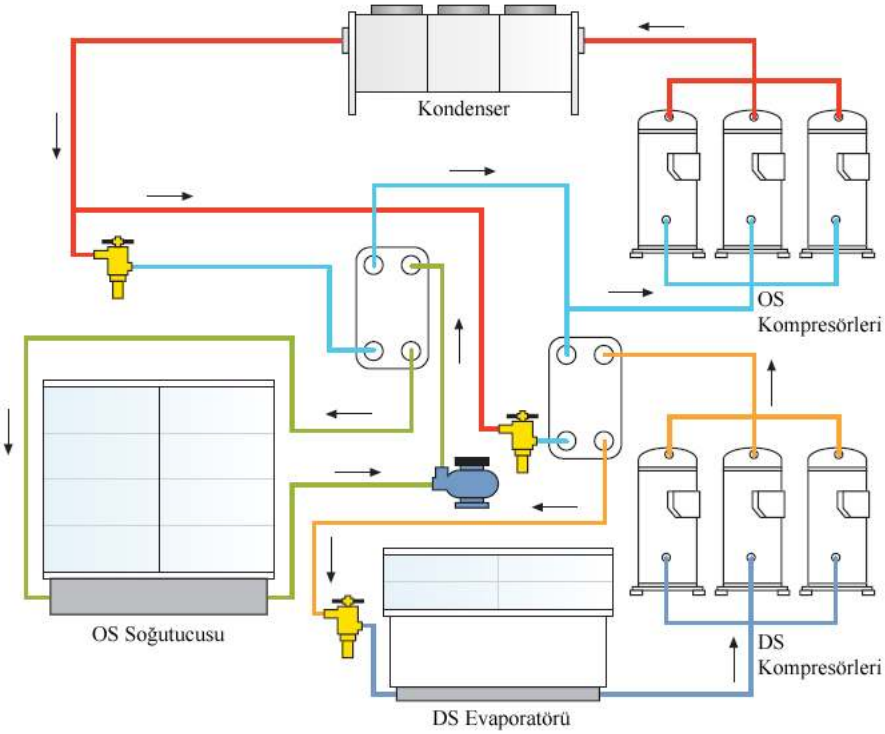


Şekil 15. Kaskad Soğutma Sistemleri

İzmir'de incelenen süpermarket soğutma sistemi kaskad tip soğutma sistemine sahiptir. Kaskad sistem teknolojisi ile HFC gibi soğutucu akışkan kullanan sistemlerin düşük ve orta sıcaklık hatta olarak ayrılması mümkün hale gelmektedir fakat bizim incelediğimiz süpermarket soğutma sisteminde soğutucu akışkan olarak önceki yıllarda amonyak kullanılmış olmasına rağmen şu an R404A soğutucu akışkanı kullanılmaktadır.

Kaskad (kademeli) soğutma sistemlerinde düşük sıcaklık hattındaki yoğuşma sıcaklığı oldukça düşük olacağı için aşırı yüksek basınçlara gerek kalmadan bu hattaki soğutucu akışkan olarak R744 (CO_2) kullanılabilir. Bu hat üzerindeki ortalama basınç değeri daha düşük olacak ve yaklaşık 30-35 bar olacaktır [9].

İncelenen kaskad süpermarket soğutma sisteminin enerji verimliliğinin yüksek olması ile birlikte bu sistemin daha verimli hale getirilmesi için ikincil sistemler adı verilen soğutma sistemlerinin kullanılması daha uygun olacaktır (Şekil 16).



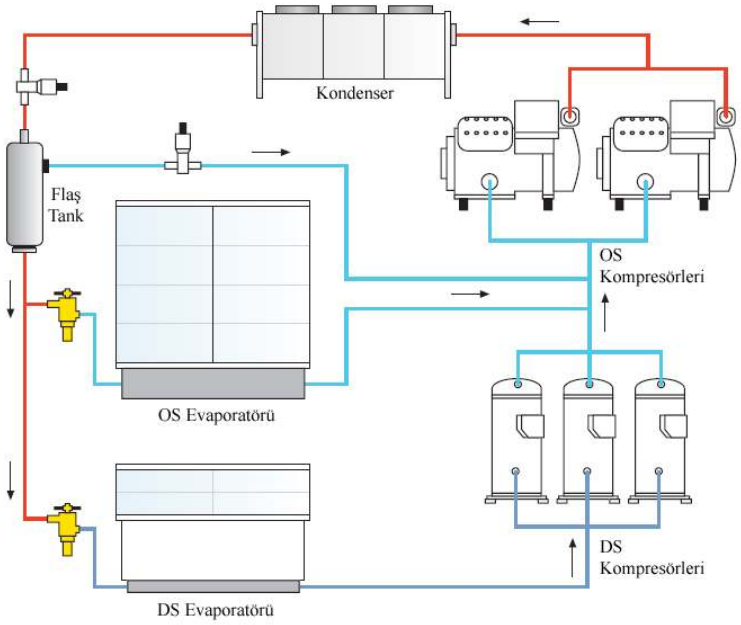
Şekil 16. İkincil Soğutma Sistemleri [9]

İkincil soğutma sistemlerinde soğutulmuş sergi reyonlarındaki ısı genellikle glikol ya da bilinen diğer soğutkanlar gibi ikincil bir akışkan tarafından orta sıcaklık evaporatörlerine / ısı değiştiricilerine taşınır. Isı değiştiriciler kondenserlere yakın şekilde montaj edilir. Bu durum orta sıcaklık hattı soğutma yükünü ve soğutma kaçaklarını önemli ölçüde azaltır.

İkincil soğutma sistemlerinde süpermarket içersinde soğutucu akışkanın dolaşımını sağlayabilmek için bir pompaya ve düşen sıcaklığı dengelemek için ekstra bir ısı değiştiricisine ihtiyaç vardır. Isı transferinin gerçekleşebilmesi için ısı değiştiricide sıcaklık farkının olması gerekmektedir, dolayısıyla orta sıcaklık hattındaki buharlaşma sıcaklığının ikincil soğutkan sıcaklığından daha düşük olması gerekmektedir [9]. İkincil sistemler daha önceden bahsedilen DX sistemlere göre daha az işletme maliyetine ihtiyaç duyar.

İncelenen süpermarket soğutma sisteminde gereken en az güç 330 kW olarak hesaplanmıştı. Bu sistemde kullanılan kompresörler, soğutma sisteminde kullanılan enerjinin %70'ini tüketmektedir. Kompresörler paralel olarak dış kabin uygulaması ile süpermarket dışına yerleştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı süpermarketlerde her grup içerisinden 1 kompresör frekans kontrolü ile çalışmaktadır ve böylelikle artan ve azalan soğutma yükleri karşılanmaktadır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte CO_2 'li soğutma sistemlerinin kullanımı da zaman içinde yaygınlaşacaktır. CO_2'li sistemlerin işletme maliyetinin oldukça düşük olması ve çevreye olan kaçak zararlarının en az seviyede bulunması CO_2'li sistemlerin kullanımını daha cazip hale getirmektedir. Dolayısı ile İzmir'de incelenen soğutma sisteminde de CO_2 'li soğutma sisteminin kullanımı gerçekleşmelidir.



Şekil 17. CO_2 Hızlandırıcı Transkiritik Sistem [9]

CO_2'li sistemlerin ilk yatırım maliyeti, sistemdeki yüksek basınç çalışma şartları dolayısı ile yüksektir. İşletme maliyeti ve çevrenin korunması konusunda CO_2 ve CO_2'li kaskad sistemler diğer soğutucu akışkanlı sistemlere göre zaman içinde daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanacaktır.

Şekil 11'de hem orta sıcaklık hem düşük sıcaklık hatlarında R744 (CO_2) kullanılmıştır. Düşük sıcaklık kompresörleri, orta sıcaklık evaporatörlerindeki buhar basıncını artırıcı, hızlandırıcı bir etki yapmaktadır. Dış ortam sıcaklığının 23°C'nin üzerinde olduğu bir durumda kompresörlerdeki basınç R744'ün kritik basınç değeri olan 74 bar'ı geçecektir. Bu nedenle kondenser sistemdeki gazın yoğuşup sıvı haline geçmemesi için gaz soğutucu görev yapmaktadır. Soğutulmuş sıvı doğrudan kısılma valfine gönderilir ve bir kısmı yoğuşur kalan kısmı gaz olarak kalır. Sıvı ve gaz, basıncın 35-40 bar civarlarında olduğunu basınç valfi tarafından kontrol edilen flaş tankında ayrışır. Sıvı kısım daha sonra orta ve düşük sıcaklık kabinlerine ortalama basınç değerlerinde gönderilir. Flaş tankındaki gaz ise ek genişleme elemanı ile orta sıcaklık kompresörlerinin vakum etkisi ile gönderilir. Ayrı olarak flaş gaz kompresörü kullanılırsa daha sıcak bölgelerdeki sistem verimliliği artabilir [9].

5. SONUÇ

Kompresörün Enerji Tüketimi Açısından Değerlendirme;

Farklı süpermarket soğutma sistemleri incelenmiş olup, enerji kazançlarının nasıl artırılabileceği ile ilgili çalışma yapılmıştır. Kompresörler sistemdeki enerji tüketiminde büyük bir orana sahip olup (%60~%70) kompresör ve sistem seçiminin önemi vurgulanmıştır.

Kompresör seçiminin önemli olması kadar sistemin soğutma yüküne karşılık vermesi de önemlidir. Sistemin ilk çalışması esnasında tam yük ile çalışan bir sistem 1~2 saat içerisinde kararlı hale gelir ve sonrasında sistemin soğutma ihtiyacı azalacaktır. Azalan soğutma yüküne karşılık bazı kompresörlerin devre dışı bırakılması veya gerektiğinde etkisinin azaltılarak kullanılması gereklidir. Bu durumu sağlayabilmek için *frekans kontrollü* kompresör sistemleri kullanılmalıdır.

Frekans kontrollü sistemlerin kullanılmasında ise mümkünse düşük sıcaklık kompresörlerinin tümünün frekans kontrolü yapılarak kullanılması gerekmektedir. Hızlı bir şekilde çalışmaya başlayan ve bir anda durması gereken kompresörler yerine grup olarak birlikte hızlanan ve birlikte yavaşlayabilen kompresör grubunun kullanılması daha uygundur.

Şekil 18. Kompresörün Frekans Kontrolü İle Kullanımı [10]

Kullanılan Soğutma Sistemlerinin Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirme;

Soğutma sisteminde kullanılan soğutucu akışkanın önemi de hem yatırım maliyeti hem de çevrenin korunması açısından büyük öneme sahiptir. Seçilecek akışkan tek olarak kullanılabileceği gibi kaskad sistemler olarak farklı akışkanların aynı sistemde kullanılması da mümkündür. CO_2 'nin ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ile kaskad sistemlerin kullanımı da ilerleyen teknolojik gelişmeler neticesinde yaygınlaşacaktır.

Doğrudan genişlemeli DX sistemlerin orta ve düşük sıcaklık evaporatörlerinin ortak hatta sahip olması nedeniyle orta ve düşük hatlar arası ısı transferi fazla olmaktadır dolayısıyla DX olmayan diğer sistemlerin enerji tüketimi daha az miktardadır [9].

R744 ve R404A soğutkanlarından oluşan kaskad sistemlerde orta sıcaklık evaporatörlerinin basıncının daha düşük olmasından dolayı enerji tüketiminde az miktarda bir artış olacaktır fakat sistemin işletme basıncı koşulları olumlu bir etkiye sahiptir.

Düşük sıcaklık hattında az enerji gereksinimine ihtiyaç duyulduğu durumlarda, R744 soğutkanı ve R407A soğutkanı enerji tüketimi açısından yakın sonuçlar vermektedir.

Orta sıcaklık hatlarında aynı sistem koşullarında R134a kullanıldığında, R410A'ya oranla daha fazla enerji tüketimi olmaktadır.

Genel olarak enerji verimliliği sonuçları değerlendirilmeye alınacak olursa; R404A kullanan sistemlerin R407A DX soğutma sistemlerine geçmesi verimli sonuçlar verecektir. R404A kullanan soğutma sistemleri ile R744/R407A kaskad sistemlerinin verimlilikleri kıyaslandığında ise R744/R407A kaskad sistemleri iyi bir alternatif olacaktır.

Çevresel Etkiler ve Soğutkan Kaçakları Açısından Değerlendirme;

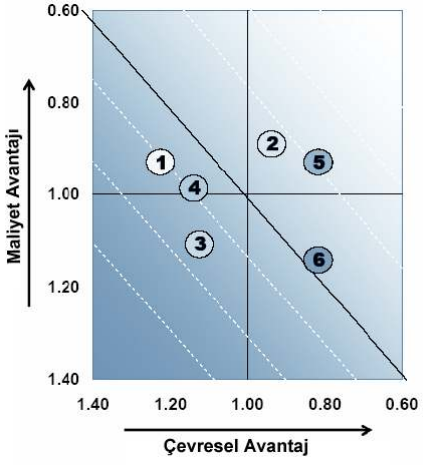
Soğutma sistemleri ve soğutkanlar değerlendirilmeye alınırken Montreal Protokolüne uygun olması gereken GWP küresel ısınma potansiyeli (Global Warming Potential) ve ODP ozon tabakasına zarar verme (Ozone Depletion Potential) değerleri dikkate alınır (Tablo 1). Kullanılan soğutkanın çevereye vereceği zararları diğer soğutkanlar ile kıyaslamak mümkündür. Genellikle R744 'ye göre kıyaslama yapılır. Soğutkan seçiminde enerji verimliliğine dikkat edilmesi kadar çevreye karşı zararları da dikkate alınmalıdır.

Soğutkan	GWP	ODPa
R-12	10,900	1
R-502	4,657	0.334
R-507A	3,985	0
R-404A	3,922	0
R-407A	2,107	0
R-22	1,810	0.055
R-407C	1,774	0
R-134a	1,430	0
R-32	675	0
R-290 (propan)	3.3	0
R-600a (izobütan)	3	0
R-1270 (propilen)	1.8	0
R-744 (CO_2)	1	0
R-717 (ammonyak)	0	0

Tablo1. Soğutkanların GWP ve ODP Değerleri [11]

Hem maliyet hem de çevreye olan etkiler açısından kullanılan soğutucu akışkanlar kullanıldığında Şekil 19'daki bilgilere ulaşılabilir.

Şekil 19'dan görüldüğü şekilde R744 olarak adlandırılan CO_2 soğutucu akışkanının kaskad soğutma sistemlerde kullanması durumunda hem verimi yüksektir hem çevreye karşı zararı azdır olmaktadır.



1) R404A R404A
2) R134a R404A
3) R404A Salamura R404A
4) R404A R744 Kaskad
5) R134a R744 Kaskad
6) R717 salamura R744 Kaskad

Şekil 19. Soğutucu Akışkanların Küresel Isınmaya Olan Etkileri ve Maliyet Avantajı Yönünden Karşılaştırılması [12]

R404A kullanan DX soğutma sistemlerinin R134a'ya ya da R407A'ya geçmesi TEWI'nin azalmasını sağlayacaktır ve R407A en iyi sonucu verecektir [9].

R404A kullanılan dağıtılmış sistem ile R407A merkezi DX sistem kullanıldığında TEWI değerinde yaklaşık aynı azalma sağlanacaktır [9].

R407A kullanılan dağıtılmış sistem ile R744 hızlandırıcı sistem kıyaslandığında TEWI değeri yakın çıkmıştır.

R407A ile kullanılan tüm ikincil sistemlerde, Güney Avrupa'da yapılan ölçümlerde R744 hızlandırıcı sistemlere oranla daha iyi TEWI değerleri elde edilmiştir [9].

Genel olarak çevresel etkiler ve sonuçları değerlendirilmeye alınacak olursa; R744 hızlandırıcı sistemler TEWI değerlerinin azaltılması konusunda mükemmel sistemlerdir.

R744 ve R410A kullanılan ikincil sistemlerde ise az miktarda da olsa TEWI değerleri olacaktır.

Genel olarak bakıldığında ise R744 kullanılan tekil ya da kaskad sistemlerin çevreye olan olumlu etkileri büyük oranda olacaktır.❄

KAYNAKLAR

[1]ÇENGEL, A. ve MICHAEL A.B., "Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla", Güven Bilimsel, Beşinci Baskı, 2011.
[2]HUNDY, G.H., TROTT, A.R. and WELCH, T.C., "Refrigeration and Air-Conditioning", Elsevier, Fourth Edition, 2008.
[3]Kim, M.H., Pettersen, J., Bullard, C., 2004, Fundamental Process and System Design Issues in CO2 Vapor Compression Systems, Prog. İn Energy and Combustion Sci., vol. 30:p. 119-174.
[4].Baxter, V., 2003, Advanced Supermarket Refrigeration/Heat Recovery Systems Final Report Vol. 1-Executive Summary, IEA Annex 26, ORNL,72 p.
[5].Sienel, T., Finckh, O., 2007, CO2-DX Systems for Medium- and Low-Temperature Refrigeration in Supermarket Applications, Proc. 22nd Int. Con. Refrig., IIR: B2-358.
[6].Sawalha, S., 2008a, Theoretical Evaluation of Trans-critical CO2 Systems in Supermarket Refrigeration. Part I:Modeling, Simulation and Optimization of Two System Solutions, Int. J. Refrig., vol.31: p. 516-524.
[7].Zhang, W.J., Zhang, C.L., Ding, G.L., 2009, On Three Forms of Momentum Equation in Transient Modeling of Residential Refrigeration Systems, Int. J. Refrig., vol.32: p. 938-944.
[8].GÜNGÖR, A., "Süpermarket Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Teknolojilerin Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması", X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 13/16 Nisan 2011/İzmir
[9]Emerson Climate Technologies, "Refrigerant Choices for Commercial Refrigeration, Finding The Right Balance", Germany, 2010.
[10]http://www.danfoss.com/BusinessAreas/RefrigerationAndAirConditioning/Articles/VariableSpeedCompressorCapacityControl.htm (23.01.2013)
[11]US Environmental Protection Agency, "Transitioning to Low GWP Alternatives in Commercial Refrigeration", United States, October 2010.
[12]Kruse, H., Jakobs, R. and Riva, M. "European Supermarket Refrigeration Systems Eco-Efficiency Considerations", Purdue University International Refrigeration and Air Conditioning Conference, 2006.

Bu makale 17-20 Nisan 2013 tarihleri arasında gerçekleştirilen 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği (TESKON) kapsamında düzenlenen Soğutma Teknolojileri Sempozyumu'nda yayınlanmıştır.

ÖZGÜN

Açılışınız, davetiniz, kokteyliniz iş yaşamınıza güzellikler katacak benzeri organizasyonlarınızda gönderilerinizi özenli ve zamanında nasıl ulaştıracağınızı düşünüyorsanız,

Katalog, fatura, fiyat listesi, broşür gibi firmanıza özel gönderilerinizi hazırlayıp göndermeye zaman bulamıyorsanız,

Bütün gönderilerinizin özenle hazırlanması (poşetleme, etiketleme, zarflama vb.) zaman alıyorsa,

Tam zamanında,

Olması gerektiği yerde!

ÖZGÜN DAĞITIM

Mehmet Döver

Kurye Kargo Dağıtım Taşımacılık İnşaat Temizlik ve Özel Eğitim Hiz. San. ve Tic. Ltd. Şti.

Gazi Osman Paşa Bulvarı No.61 K.2 D.201 Niyazi Ersoy İş Hanı Çankaya - İZMİR

Tel: 0 232 489 36 28 - 489 93 35
Faks: 0232 489 36 30