

SÜPERMARKET SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Ali GÜNGÖR

ÖZET

Ülkemizde de süpermarket çeşitliliği ve sayısı giderek artmaktadır. Bu tür alışveriş merkezlerinde en önemli çözüm bekleyen sorunlardan birisi de soğuk raflarda satılacak ürünlere yönelik, soğuk raf ve dondurulmuş gıda saklayan raf sistemlerinin bulunduğu yerlerin oluşturulması ve bu raf sistemlerinin soğuk tutulabilmesi için uygun soğutma sistemlerinin geliştirilmesidir. Özellikle bu raf sistemlerinin birçoğunun açık raf sistemi olması ve sergilenen ürünlerin fazlalığı merkezi büyük süpermarket gıda soğutma ünitelerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada süpermarket gıda soğutma üniteleri için tasarlanan dağıtımli kompresörlü soğutma sistemi, çoklu (multiplex) soğutma sistemi, ikincil soğutucu akışkanlı soğutma sistemi, düşük soğutkan yüklemeli soğutma sistemi, propan/karbondiyoksitli kaskat soğutma sistemi, karbondiyoksit soğutkanlı soğutma sistemi gibi teknolojiler prensipleri, enerji kazanımları ile irdelenecektir. Ayrıca özellikle süpermarket soğutma sistemlerinden enerji geri kazanım uygulamaları üzerinde de durulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Süpermarket soğutma, soğutma, enerji verimliliği.

ABSTRACT

In our country number and type of supermarket are increasing. Most important problem of these supermarkets are, shelves systems for cold preservation foods and convenient cooling systems for these shelves. Generally these shelves systems are open type and needs special cooling systems and needs energy efficient cooling systems. In this paper in practice applied systems: distributed compressor systems, secondary loop systems, multiplex systems, low –charge multiplex systems, self contained refrigeration systems, propan/carbondioxide cascaded refrigeration systems, carbondioxide refrigerants systems etc. technological principles and energy efficiency of this systems are given. Also energy recovery applications for supermarket refrigeration systems are discussed.

Key Words: Supermarket refrigeration, refrigeration, energy efficiency.

1. GİRİŞ

Ticari binalar arasında, süpermarketler enerjiyi en yoğun kullananlardan bir tanesidir. Önemli miktardaki enerji süpermarketlerde dondurulmuş ya da soğuk tutulması gereken ürünlerin sergilendiği raf ve soğutucu sistemlerinde harcanmaktadır. Bu sistemlerdeki atık ısılar geri kazanılarak sıcak su üretimlerinde ve hacim ısıtma amaçlı kullanılabilir. Soğutma sistemi kapasiteleri de

Avrupa ülkelerinde süpermarket büyüklükleri 500 m² ile 3000 m² alanlar kaplarken, Kanada ve Amerika'da 1000 m² ile 10000 m² büyüklüklerde olabilmektedir. Soğutma sistemi kapasiteleri de

60 kW ile 400 kW mertebelerinde olabilmektedir. Yıllık enerji tüketimleri de 100000 kWh ile 1,5 Milyon kWh mertebelerinde olabilmektedir.

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 yüzde 60-70'i kullanılır. Geri kalan enerji ise sergileme rafları fanlarında, aydınlatmada, defrost sistemlerinde, kapı ve sergileme dolaplarının şeffaf yüzeylerinde yoğuşma olmaması için ısıtılmasında harcanır.

Süpermarketlerde soğutulmuş sergileme raflarının buldukları 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 buldurur 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 kullanılabilir. Ancak bu bakımda dikkatliliği gerektirir ve daha maliyetlidir. Her iki durumda da sistem kontrolleri dış hava kuru veya yaş termometreleri ile bağlantılı olarak ayarlanır.

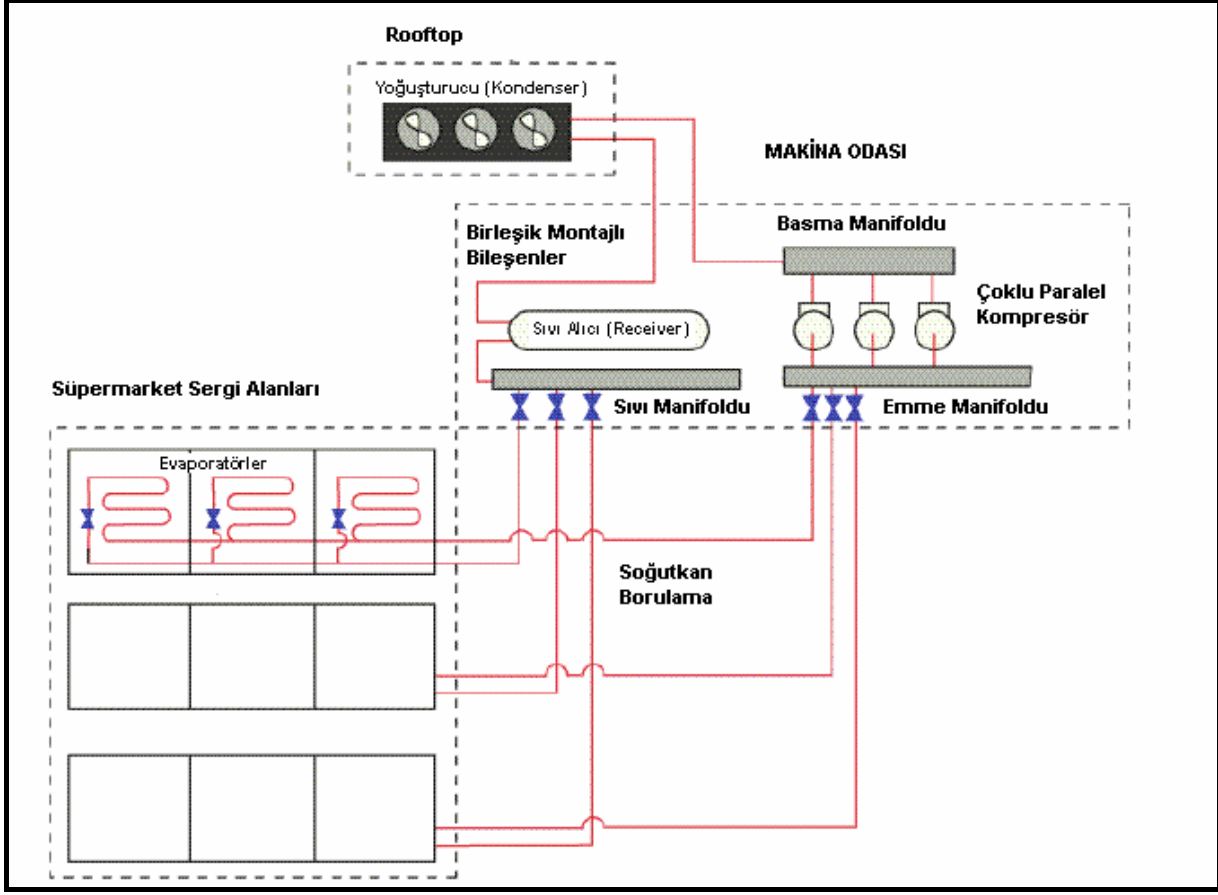
Çoklu kompresörlü (multiplex) DX sistemler için soğutkan miktarı gereksinimi çok yüksek kapasitededir, soğutkan kapasitesinin birim kW'ı için 4-5 kg mertebelerindedir. Çok fazla boru hattının ve bağlantıların kullanılması da sonuçta büyük miktarlarda soğutkan kaybı anlamına gelebilmektedir. Eski sistemlerde bu soğutkan kayıpları yıllık toplam miktarın yüzde 30'lar mertebesinde. Yeni sistemlerde ise yüzde 15 mertebelerinde soğutkan kaçağı yıllık bazda gerçekleşebilmektedir. Büyük miktarlarda soğutkan şarjı ve yüksek ısı kazançları çok rafli soğutma sistemlerinde yüksek toplam eşdeğer ısınma etkisi (TEWI: total equivalent warming impact), direkt soğutkan kayıplarıyla oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır.

Şekil 1.'de çoklu kompresörlü (multiplex) soğutma sisteminin ana elemanları gösterilmektedir. Çoklu kompresörler aynı emme sıcaklığında çalışmakta ve yan yana monte edilmiş olup emme ve basma manifoldlarına bağlantılıdır ve bunlarda tüm sisteme borularla bağlantılıdır. Çoklu paralel kompresör kullanımı kapasite kontrolü yapılabilmesini olanaklı kılar. Böylelikle soğutma yükü kapasitesini karşılayan kompresörler otomatik kontrol sistemi ile devreye alınıp, çıkarılarak verimli bir çalışma sağlanmaya çalışılır.

Süpermarketlerde ısıtma/soğutma havalandırma sistemleriyle, gerçek soğutma gereksinimi ile birlikte integrasyonu gerçekleştirilen uygulamalardandır. Bu tür yaklaşımlardan birisi de ısı pompası kullanımı ve soğutma atık ısısının gerekli seviyelere yükselterek ısıtma gereksinimlerini karşılamaktır. Diğer alternatif kullanımlardan birisi de birleşik ısı ve güç üretimi (CHP: combined heating and power) veya birleşik soğutma, ısıtma ve güç üretimi sistemlerinin (CCHP: combined cooling, heating and power) kullanımı ve soğutma, HVAC ve güç üretimi amaçlı süpermarketlerde integrasyonudur. Doğaldır ki soğutma sistemlerinin atık ısılarından yararlanarak hacim ısıtma veya su ısıtma amaçlı değerlendirilmesi de enerji verimliliği açısından süpermarket sistemlerinde uygulanan yöntemlerdendir.

2. SÜPERMARKETLERDE TOPLAM EŞDEĞER ISINMA ETKİSİ (TEWI) AZALTMAK İÇİN SİSTEM TEKNOLOJİLERİ

Süpermarketlerde kullanılan geliştirilmiş sistemler iki amacı gerçekleştirmelidir. Enerji verimliliği açısından mükemmel olması, soğutkan kaçakları yani TEWI yönünden düşük düzeylerde olmasıdır. Bu amaçla geliştirilen bazı çok karşılaşılan sistemler avantajları ve diğer özellikleriyle ele alınmıştır.

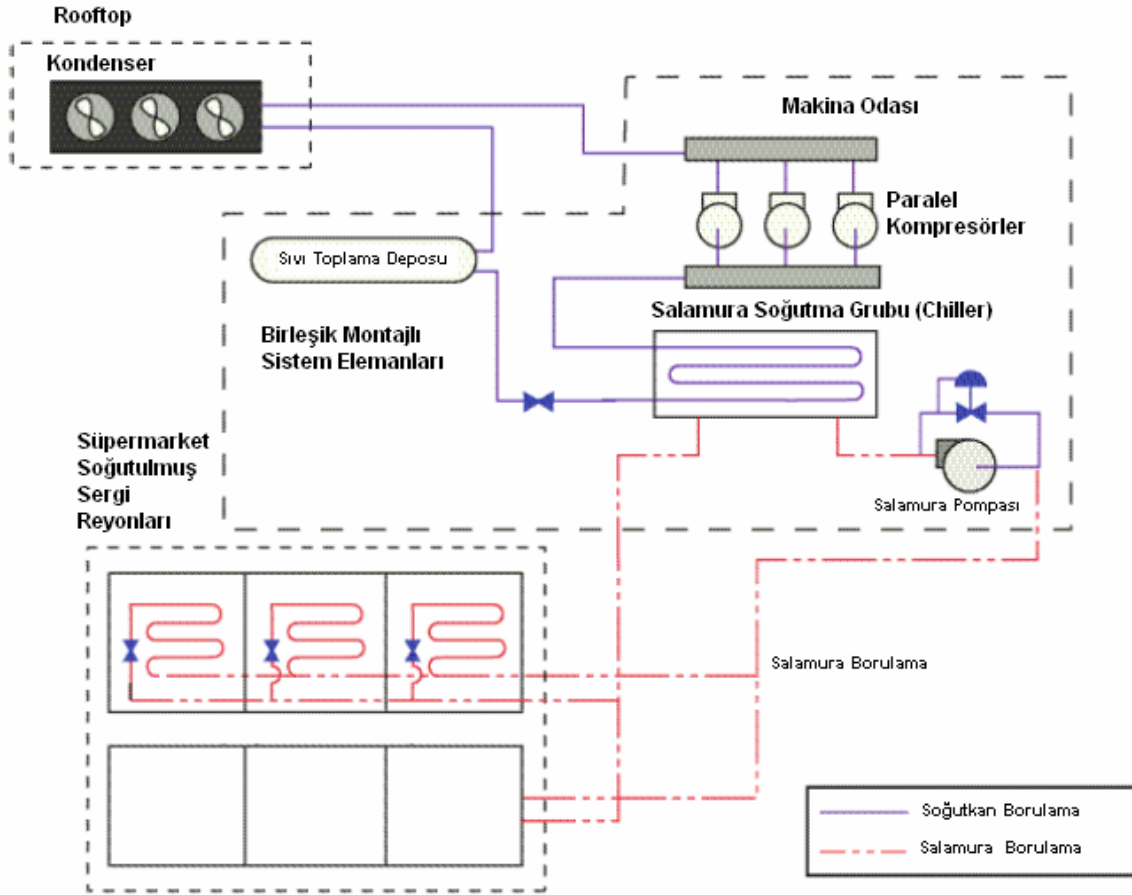


Şekil 1. Çoklu Kompresörlü Soğutma Sistemi Bileşenleri [1].

2.1 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 akışkanın soğutmasında kullanılması ve bu soğutulan akışkanın markette sergileme ünitelerine ve soğuk depo odalarına pompalandığı kapalı dolaşımli devrelere sahip olmasıdır. Şekil 2.'de ikincil kapalı devreli bir sistemin bileşenleri gösterilmiştir.

Bu 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 hattı ile, normalde makine odasının çatısında bulunan kondensere gönderilir. Evaporatif bir kondenser kullanılacak olursa daha düşük ortalama kondenser sıcaklığı ile çalışabilir ve hava soğutmalı kondensere nazaran daha az enerji kullanılır, böylelikle genellikle ılıman iklim bölgelerinde toplam enerji gereksinimi en az düzeylere indirilebilir. Bu sistemde, konvansiyonel direkt genişlemeli sistemlere göre ana devre soğutkan miktarında yüzde 10–15 mertebelerinde azalma gerçekleşebilmektedir. Şekil 2.'de 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 oluşurabilecektir.

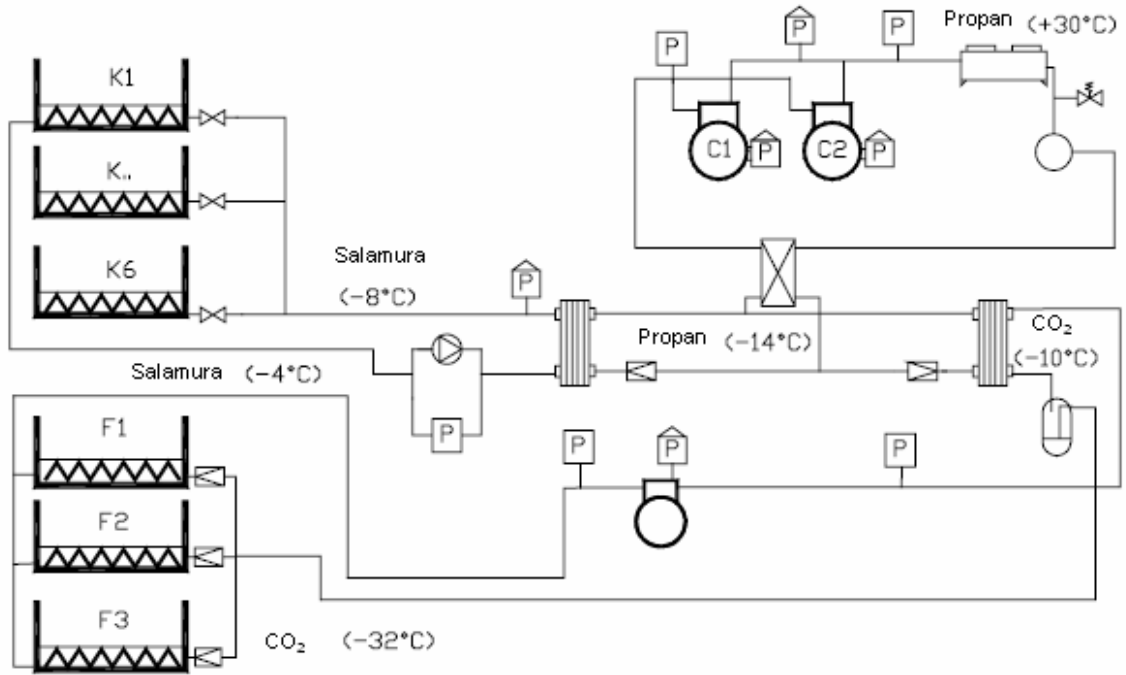


Şekil 2. İkincil Kapalı Devreli Tip Sistemin Bileşenleri [1].

İkincil kapalı devreli sistemler, birincil sistemlerin verimliliğini artırmak 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 diğeri bir yaklaşım ise kademeli (cascade) tip sistemdir. Şekil 3. şematik olarak kademeli bir sistemi göstermektedir. Bu uygulamada yüksek sıcaklık kademesinde soğutkan olarak propan kullanılmıştır ve düşük sıcaklık kademesi (bu kademede soğutkan olarak CO₂ kullanılmıştır) kondenslerinden ısı çeker ve aynı zamanda propilen glikol gibi bir salamuranın soğutulmasında kullanılır. Bu salamura (soğutulmuş: chilled) gıda reyonlarının soğutulmasında kullanılan ikincil kapalı devredir. CO₂ kademesi ise direkt genleşmeli evaporatörler aracılığı ile dondurulmuş gıda reyonlarından ısı çekilmesini sağlar. Bu sistem doğaldır ki uygun, diğeri farklı soğutkanlar ve salamuralar ile de çalıştırılabilir.



Şekil 3. Propan/Karbondioksit Kademeli Soğutma Sistemi [1].

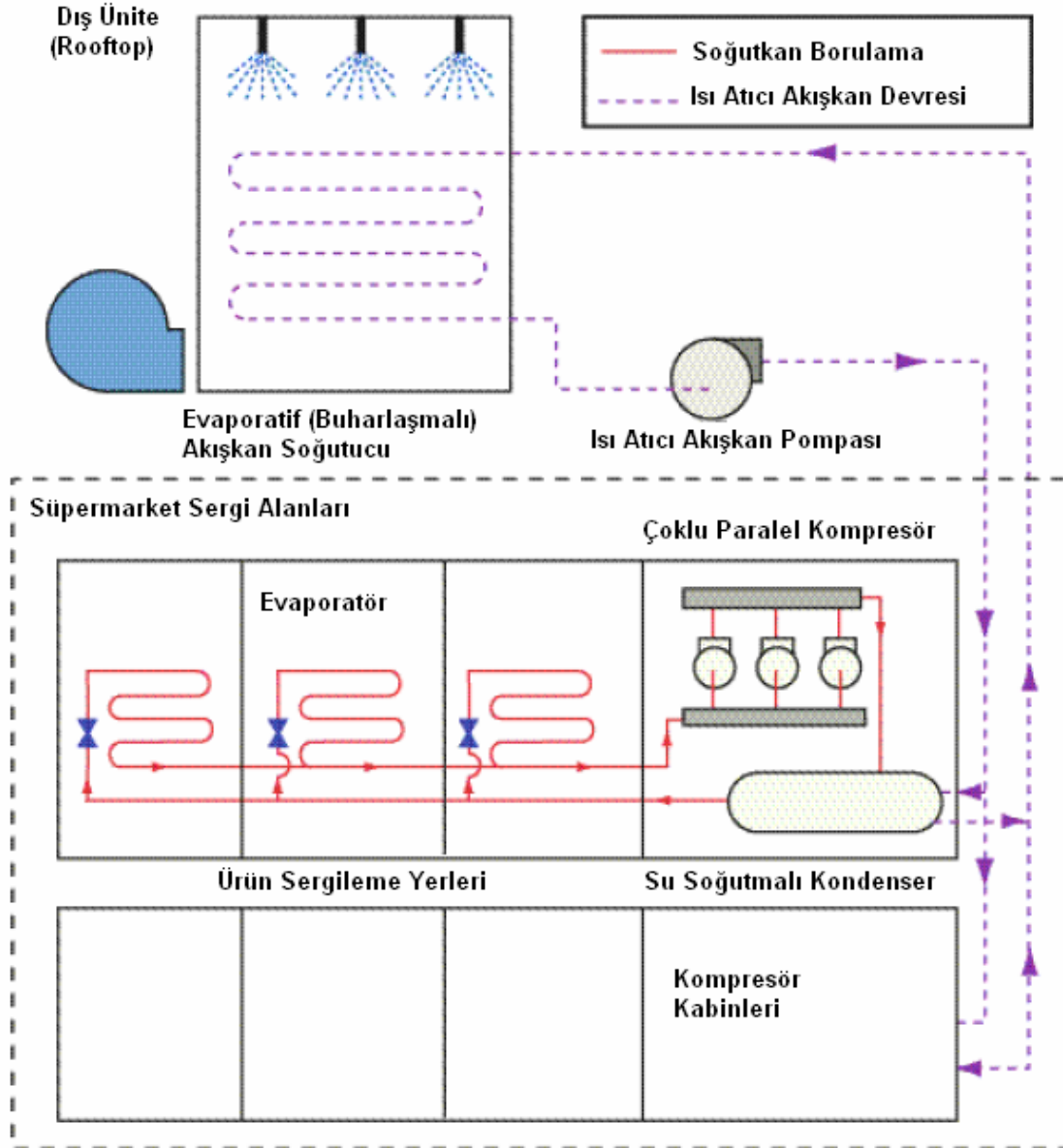
Aşağıda ikincil kapalı devrelerde kullanılan, daha önceki uygulama ve araştırmalarda önerilen akışkanlar verilmiştir.

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

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 ısı ve basınç düşümü avantajlarının olduğu belirlenmiştir. Son zamanlarda sıvı CO₂'de her sıcaklık seviyelerinde Avrupa'da artan bir kullanıma sahiptir. Bunun anlamı boruların iç basınç dayanımlarının yüksek olması ve bu uygulamalarda önem kazanmasıdır.

2.2 Dağıtılmış Kompresör Gruplu Soğutma Sistemi

Şekil 4.'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 borulamalardan kurtarılmıştır. Kompresör kabinetleri sergi yerleri döşemesi altına veya sergi yerleri çevresel yerleştirilip, hemen çevre duvarı sonrasına yerleştirilebilmektedir.



Şekil 4. Dağıtılmış Kompresör Gruplu Soğutma Sistemi Bileşenleri [1].

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 4.'te 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 30–35 mertebelerinde soğutkan kullanılacaktır. Eğer ayrı rooftop tipi kondenserli dağıtılmış kompresör grubu uygulanmışsa, soğutkan miktarı çoklu kompresörlü sistemin yüzde 50–60 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.

Dağıtılmış kompresör gruplu soğutma sistemlerinde genellikle scroll tip kompresörler, düşük gürültü düzeyleri ve titreşim seviyeleri nedeniyle tercih edilir. Bu özellikler kompresör kabinetlerinin sergi reyonlarının hemen yakınında olması durumunda önem taşır. Süpermarketlerin gereksinim duyduğu sıcaklık aralıklarındaki pazarda mevcut scroll kompresörlerin verimlilikleri, konvansiyonel sistemlerde kullanılan pistonlu kompresörlere göre daha azdır. Ancak sistem uygulamalarında bu olumsuzluğu giderecek verim artışları scroll kompresörlü sistemlerde sağlanabilmektedir. Örneğin, scroll kompresörler hiçbir valfa sahip olmayıp, bu nedenle pistonlu kompresörlere göre daha düşük kondenser sıcaklıklarında çalıştırılabilmektedir. Düşük kondenser sıcaklığı basma ve emme basınçları oranının 2 mertebelerine ve kondenser sıcaklığı mertebesinin de 10-15°C değerlerine gelebilmesini sağlayabilmektedir.

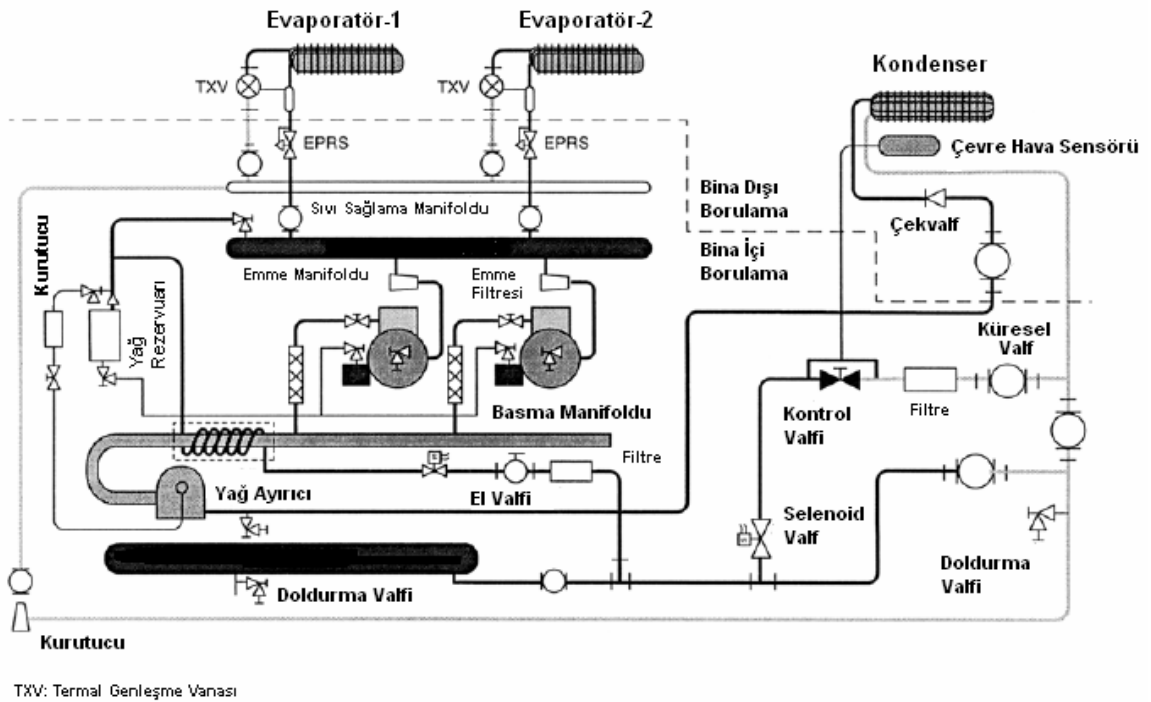
Dağıtılmış kompresör kabinetlerine olan yakınlık enerji gereksiniminde ayrılmaya neden olur. Kısa emme hatları durumunda evaporatör ile kompresör emme manifoldu arasında basınç düşümlerinin konvansiyonel sistemlere göre daha az olmasına neden olur. Bu da evaporatör sıcaklığı ile doymuş emme sıcaklığının birbirine çok yakın olmasını sağlar. Konvansiyonel çoklu kompresörlü sistemlerde bu sıcaklık, evaporatör sıcaklığının 1-2,5°C altındadır. Dağıtılmış sistemlerde ise bu değer evaporatör sıcaklığının 0,5-1°C altındadır. Kısa emme hattı ayrıca dönüş gazının daha az ısı kazanmasını sağlaması deneysel ve uygulamalara göre gözlenmiştir. Daha soğuk emme hattı, yüksek yoğunluklu ve sonuçta daha yüksek kompresör kütleli debisi oluşmasına neden olacaktır, bu da soğutma yükünün karşılanması amaçlı kompresörün daha az çalışması anlamına gelecektir. Dağıtılmış kompresörlü sistemlerde beklenen dönüş gazının sıcaklık yükselmesi normalde 3-9°C mertebesinde olup, sergi reyonları ile kompresör kabinetleri arasındaki mesafeye ve evaporatör sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Dönüş gazı sıcaklığında yükselme düşük sıcaklıklı sistemlerde, orta sıcaklıklı sistemlere göre daha fazla olmaktadır. Çoklu kompresörlü sistemlerde tipik olarak dönüş gazı sıcaklığı yükselmesi 20 ve 35°C mertebesinde. Bunun nedeni de emme hattının bu uygulamalarda çok uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Sıvı soğutkan sıcaklığı da eğer aşırı soğutma uygulanmış ise bu hattın uzun olması durumunda ters olarak etkilenmektedir. Isı kazancı ile aşırı soğutulmuş sıvı hattındaki sıvı soğutkan sıcaklığı sergi reyonlarına (yani evaporatörlere) gelmeden önce sıcaklığı yükselmektedir. Bu da birim soğutkan ile gerçekleştirilecek soğutma kapasitesini etkileyebilmektedir.

2.3 Düşük Şarjlı Çoklu Kompresör Gruplu Soğutma Sistemi

Soğutma sistemi imalatçıları çoklu kompresörlü soğutma sistemlerinden daha az soğutkan şarjı ile çalışan çok sayıda sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemler soğutkan miktarında azalma sağlamakla

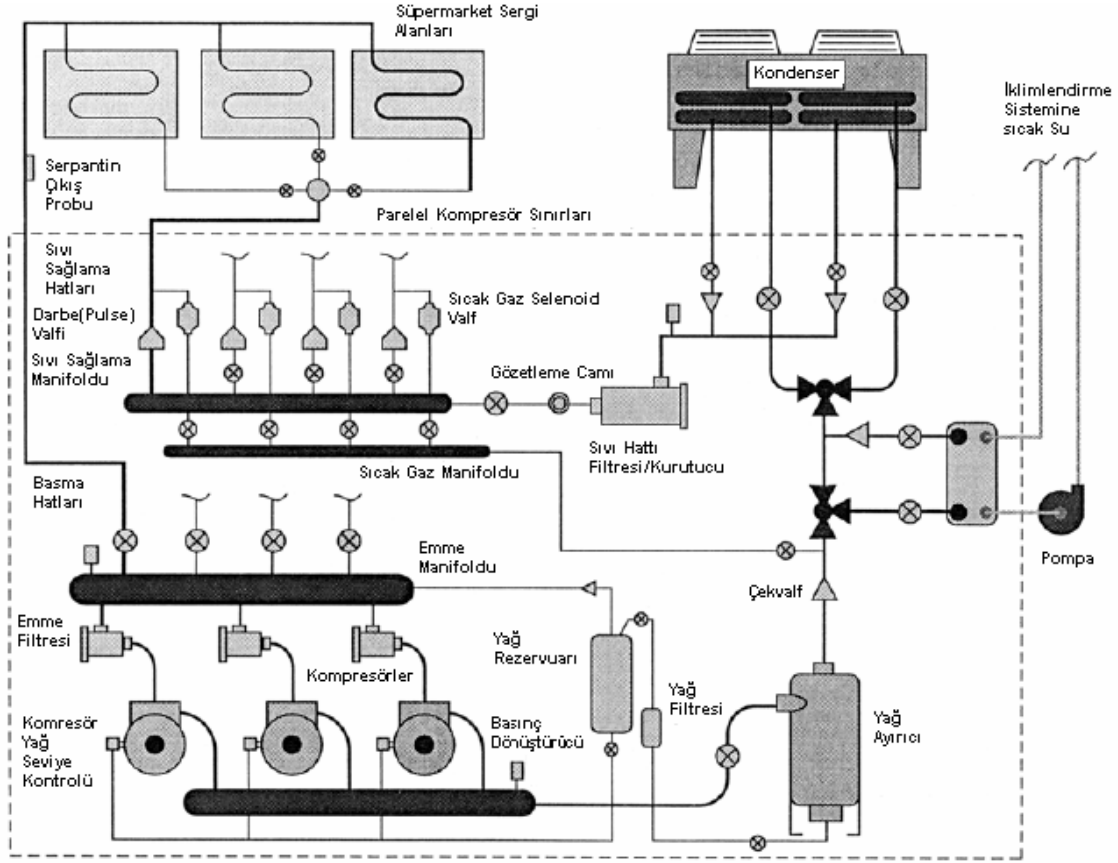
birlikte kompresörle sergi alanları arasındaki uzun mesafeleri de koruyabilmektedir. Şekil 5. ve Şekil 6.'da bu tür uygulanan iki sistem gösterilmektedir.

Şekil 5.'teki ilk sistemde soğutkan şarjının sınırlaması, normal çalışma esnasında sıvı depolama tankı içindeki soğutkanın sisteme sağlanmasının minimizasyonu ile sağlanır (sıvı toplama tankının ana görevi sistemin çalışması esnasında soğutkanın depolanmasını, biriktirilmesini sağlamaktır). Bu sistemin toplam soğutkan şarjının, konvansiyonel çoklu kompresörlü sistemlere göre 2/3'ü mertebelerinde olması beklenir. Bu şarj kontrol yaklaşımı ayrıca, kompresör normalinden daha düşük sıcaklıkta çalışacağı için enerji tasarrufu da sağlayabilecektir. Kontrol valfi ve çevre sıcaklık sensörü kondenser çıkış sıvısı ile çevre arasında sabit bir sıcaklık farkının korunmasını sağlamak üzere ayarlanır. Sıvı soğutkan valf içinden akarken, deşarj manifoldu ile ısı değişimi ile buharlaşmaktadır. Doymuş deşarj sıcaklığı, düşük sıcaklıklı sistemler için 5°C gibi düşük değerlerde ve orta sıcaklıklı sistemlerde ise 15°C mertebelerinde olabilir. Normalde pistonlu kompresörlerde en az (minimum) kondenser sıcaklığı 21°C ve scroll kompresörlerde ise en az 15°C mertebelerindedir.



Şekil 5. Düşük Şarjlı Çoklu Kompresörlü Soğutma Sistemi Bileşenleri: Uygulama Tip 1.[1].

İkinci şarj kontrol yaklaşımı (Şekil 8.), sistem evaporatörünün doğru çalışması için minimum gerek duyulan soğutkan için şarj miktarını azaltmayı sağlamaya çalışır. Sergi reyonlarına ve depolama odalarına buhar ve sıvı soğutkan karışımı gönderilmektedir. Evaporatörün çalışması gecikme ve denge valflerinin birleşimiyle kompresörlere soğutkan akışının kontrol edilmesiyle sağlanır. Soğutkan karışımının her bir sergi birimine akışı kompresör grubunda kontrol edilir. Bu yaklaşımdaki soğutkan şarjı konvansiyonel çoklu kompresör sisteminin yüzde 30'ları kadardır. Enerji verimliliği açısından ise konvansiyonel sistemlerle aynı düzeyler korunur. Şekil 6.'da gösterildiği gibi ısı değiştirici kullanımı ile sıcak su hazırlama kapalı devresi ile ısı geri kazanımı ve bu sıcak suyun örneğin iklimlendirme sisteminde kullanılması sağlanabilmektedir.



Şekil 6. Düşük Şarjlı Çoklu Kompresörlü Soğutma Sistemi Bileşenleri: Uygulama Tip 2.[1].

2.4. Geliştirilmiş Bağımsız Sistemler

Geliştirilmiş bağımsız sistemlerde her bir sergi reyonu veya depolama soğutucularının her biri kendi kondenser ünitelerine sahiptir. Bu tür uygulamalar süpermarketlerde sınırlı sayıda uygulanmaktadır. Örneğin merkezi sistemle gerçekleştirilecek borulama sisteminin uygulanmadığı durumlarda bu tür sistemler kurulabilmektedir. Yine soğutulmuş içecek reyonlarının kasalara yakın yerlere yerleştirilmesi zorunluluğu durumunda noktasal reyon gereksinimleri bu tür sistemlerle sağlanmaktadır. Bu bağımsız sistemler ayrıca ilave reyonlar veya geçici reyonlar durumunda da kullanılabilir. Bu tür sergi reyonlarında küçük pistonlu kompresörler ve hava soğutmalı kondenserler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde doğal olarak ısı alışveriş yapılan hacme atılmaktadır. Bu nedenle sınırlı sayıda bu tür ünite belirli gürültü ve ısı kazancı düzeylerine kadar market içinde kurulabilir. Gereksimin fazla olduğu depolama durumlarında bu tür ünitelerin fazlası makina odalarında tutulabilir.

Bağımsız sistem uygulamalarında soğutkan şarjı yönünden uygunluk mevcuttur. Konvansiyonel çoklu kompresörlü sistemlerin soğutkan gereksinimini yüzde 5-10'u mertebelerine düşürebilmektedir.

Geliştirilmiş bir model olarak kondenserlerin su soğutmalı olarak gerçekleştirilmesi durumunda bu ısının alışveriş merkezi içine atılması önlenemez. Kompresör gürültüsü bu durumda halen bir problemdir, ancak scroll kompresörlerin kullanılması durumunda bunun da önlenmesi olanaklıdır. Scroll kompresörler daha çok dikey tip modellerdeyken, yatay tiplerinin de geliştirilmiş olması bu tip uygulamalarda kullanılma potansiyelini artırmaktadır. Yeni geliştirilen bu yatay tip scroll kompresörlerde emme basıncı set noktasının ayarlanabilmesi ve kapasite kontrolünün yüke bağlı olarak yapılabilmesi olanaklıdır.

3. İKLİMLENDİRME (HVAC) İNTEGRASYON YAKLAŞIMLARI

Bir süpermarket soğutma sisteminden büyük miktarlarda ısı atımı, süpermarketin hacim ısıtılması için önemli bir ısı kaynağı olarak uygulamaya çok uygun bir kaynaktır. HVAC integrasyonunda uygulanabilecek tekniklerden soğutma sistemi ile ısı pompası integrasyonu kullanımı ve birleşik ısı ve güç üretimi (CHP: combined heating and power) veya birleşik soğutma, ısıtma ve güç üretimi sistemlerinin (CCHP: combined cooling, heating and power) kullanımındadır.

Kanada'da gerçekleştirilen bir uygulamada orta sıcaklık ve düşük sıcaklık için iki çoklu kompresörlü sistem uygulanmıştır. Kondenserler seri bağlıdır. Kış ayları için, öncelikli olarak yoğuşma, diğer tarafında su olan plakalı bir ısı değiştiricide yapılmaktadır. Orta sıcaklık hattından plakalı ısı değiştirici ile kazanılan ısı iklimlendirme (HVAC) kanalındaki serpantinleri beslemede kullanılır ve böylelikle marketin ısıtılmasında kullanılmıştır. Düşük sıcaklıklı sistemden çekilen ısı ise kullanım suyu ısıtmada ve yaz aylarında nem alma sisteminin rejenerasyon ısısı olarak kullanılır. Sisteme soğutma sistemi kondenserinden geri kazanılan ısının yetmemesi durumunda kullanılmak üzere bir yardımcı ısıtıcı sıcak su kazanı da eklenmiştir. Uygulamada ilk kış sezonunda yardımcı ısıtıcının kullanımına gerek duyulmamıştır.

Soğutma sistemi kondenser çıkışındaki doyma sıcaklığı, genel çalışmada 27°C mertebelerinde kalmaktadır. İstenirse yüksek market ısıtma yükleri gereksinimini karşılamak amaçlı kondenser sıcaklığı yükseltilebilir. Örneğin en çok 35°C değerlerine kadar kondenser sıcaklığı olabilmektedir. Doğaldır ki yüksek kondenser sıcaklığı yüksek kompresör güç girdisi gerektirir. Yaz aylarında bu ısının kullanılmadığı durumlarda rooftop türü kondenser devrededir.

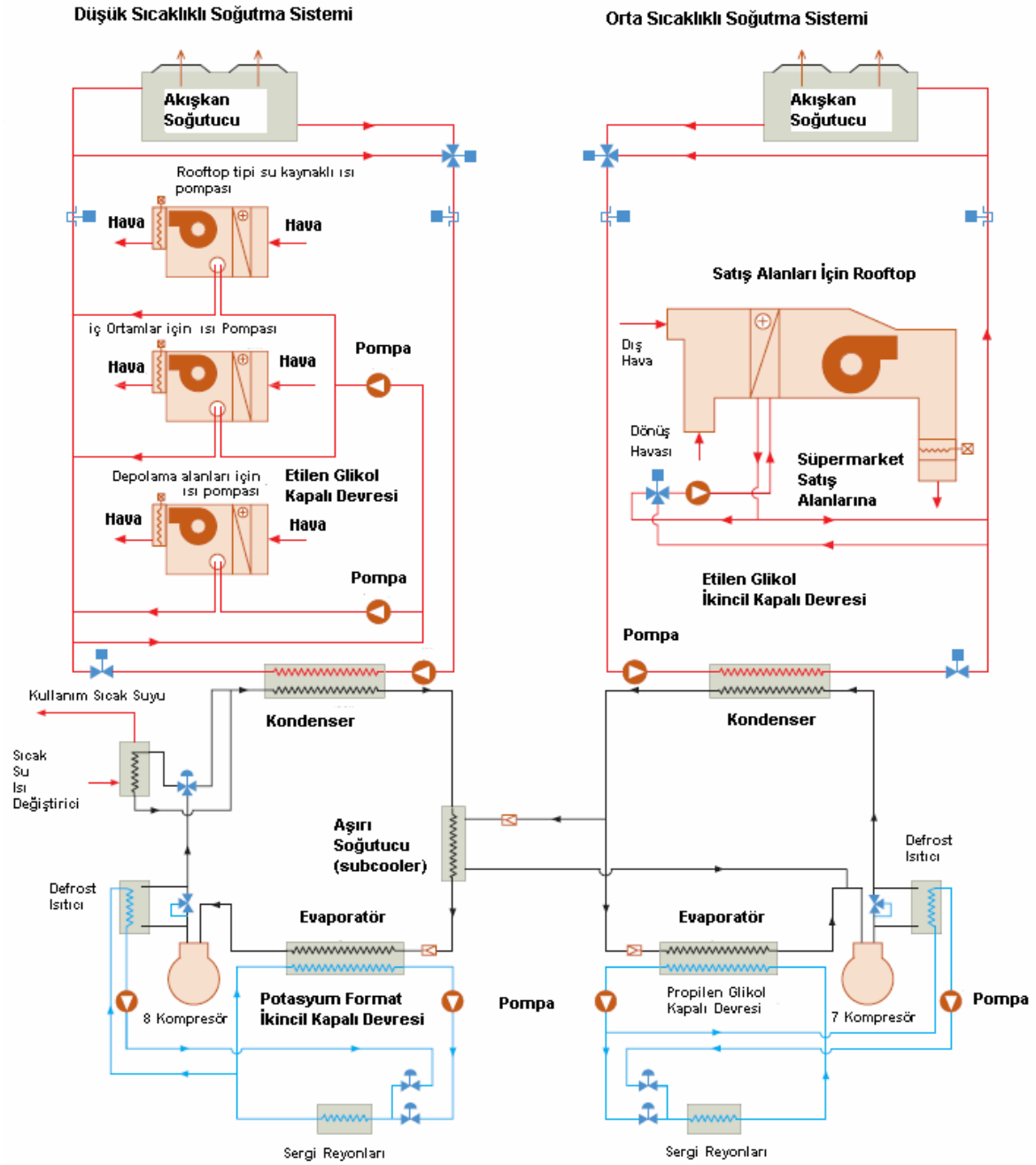
Hacim ısıtma için soğutma sistemi atık ısısından ısı pompası yardımıyla ısı çekip kullanmak uygun yöntemlerden birisidir. Bu amaçla kullanılan uygulamalardan birisi ısı pompası evedaporatörü ile soğutma sistemi kondenserinin integrasyonu, diğeri de su kaynaklı ısı pompası kullanımı ve su/glikol kapalı devresinin soğutma sistemi ısı atımında (kondenserinden) kullanmaktır. Böylelikle her iki yöntemde de kondenser sıcaklığını yükseltmeksizin ısı atımının direkt olarak hacim ısıtmasında kullanımını olanaklı kılar. Soğutma sisteminin düzenli bir kondenser sıcaklığında çalıştırılması, sistemin ortalama verimliliğini de iyileştirmektedir.

Bu tür uygulamalardan Kanada'da süpermarketlerde kullanılan bir sistem özellikleriyle aşağıda açıklanmaktadır.

10000 m² lik Loblaw süpermarketlerinden birinde uygulanan (Repentigny'de) sistem açıklanacaktır [2]. Bu süpermarkette düşük sıcaklıklı soğutma sistemi 200 kW, orta sıcaklıklı soğutma sistemi ise 400 kW nominal kapasitesindedir. Her iki sistemde de R-507a soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Soğutma sistemlerinin iklimlendirme (HVAC) sistemi ile bağlantısı iki ayrı kapalı salamura devresi ile ısı çekilerek aktarılabilmektedir. Orta sıcaklıktaki sistemin atık ısısı 250 kW mertebesinde olup bu ısı çatıda bulunan sağlanan hava (taze ve sirkülasyon havası karışımı) ısıtma ünitesindeki iklimlendirme sisteminde kullanılır. Düşük sıcaklıktaki sistemin atık ısısı ise 220 kW mertebesinde olup, bu ısı yedi sulu ısı pompası aracılığı ile çekilip, binanın ısı gereksiniminin karşılanmasında kullanılmaktadır. Her iki soğutma sisteminde kullanılmayan atık ısılar soğutma kuleleri aracılığı ile atılmaktadır, Şekil 7. Bu uygulama ısı atım sıcaklığını düşürmekte ve soğutma verimini iyileştirmektedir. Düşük sıcaklıklı soğutma sistemi kapalı devresinde potasyum format/su salamurası -29°C mertebelerinde kullanılmaktadır. Orta sıcaklıklı soğutma sistemi kapalı devresinde ise propilen glikol/su salamurası -6,5°C mertebelerinde kullanılmaktadır.

Düşük sıcaklıklı sistemim kompresör çıkışındaki kızgın buharın ısısı kullanım sıcak suyunun hazırlanmasında ve sergi yerleri buzdolaplarının (reyonlarının) defrostunda kullanılmaktadır.

Düşük sıcaklık soğutma devresinde aşırı soğutma, orta sıcaklık devresinden alınan bir hatla, plakalı bir ısı değiştirici ile 30°C sıcaklığa getirilerek gerçekleştirilmektedir. Bu yolla soğutma kapasitesi 55 kW mertebesinde artırılmıştır. Binanın ısı gereksinimleri ve dış hava sıcaklığının değişimine paralel olarak değişken kondenser basınçlı bir çalışma gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 7. Loblaw Süpermarketlerinden Birinde (Repentigny) Uygulanan Kapalı Devreli Soğutma Sisteminin İklimlendirme Sistemi Bağlantıları ve Çok Amaçlı Kullanımı Sistem Şeması [2].

Tüm sistemin çalışmasının ayarlanabilmesi için kapsamlı bir kontrol sistemi mevcuttur. Ayrıca soğutma kapalı devrelerinde değişken devirli pompalar kullanılmıştır.

Bu sistemin Loblaw Süpermarketinde kullanımı ile sağlanan yararlar: Bina ısıtılmasındaki enerji kullanımında bariz bir azalma sağlanmıştır. Soğutkan kaçakları ve yıllık şarj miktarında düşümler sağlanmıştır. Soğutma sistemi enerji gereksiniminde düşmeler sağlanmıştır. Sera gazı emisyonlarında düşmeler sağlanmıştır. İşletme ve bakım kolaylığı mevcuttur. Daha kararlı gıda saklama sıcaklıklarına ulaşma ve sonuçta raf ömrünün artırılması ve bozulmaların önlenmesi sağlanmıştır. Süpermarket müşterileri için daha konforlu bir ortam sağlanmıştır [2].

Bu sistemin konvansiyonel bir sistemle karşılaştırılmasındaki avantajlı durum yıllık bazdaki değerlendirme için Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Isı Geri Kazanımlı Kapalı Devreli Loblaw Süpermarket Soğutma Sisteminin Enerji Kullanımları, Emisyonları ve Soğutkan Kaçakları Yönünden Eşedeğer Isı Geri Kazanımsız Bir Sistemle Karşılaştırılması [2].

	Isı Geri Kazanımsız eşdeğer süpermarket soğutma sistemi	Loblaw Süpermarket Uygulaması (Repentigny)	Azalma yüzdesi (%)
Enerji Gereksinimi (kWh-eq/yıl)			
Soğutma	2 800 000	2 500 000	11
Hacim ısıtma	1 800 000	232 000	87
Toplam	8 300 000	6 400 000	23
Soğutkan (R-507a) (kg)			
Şarj	2500	725	71
Kaçak	625	36	94
Sera gazı emisyonu (GHG) (t-eq.CO ₂ /yıl)			
İklimlendirme ve Soğutma Sistemi Emisyonu	3 000	730	76
Toplam emisyon	4 600	2400	48

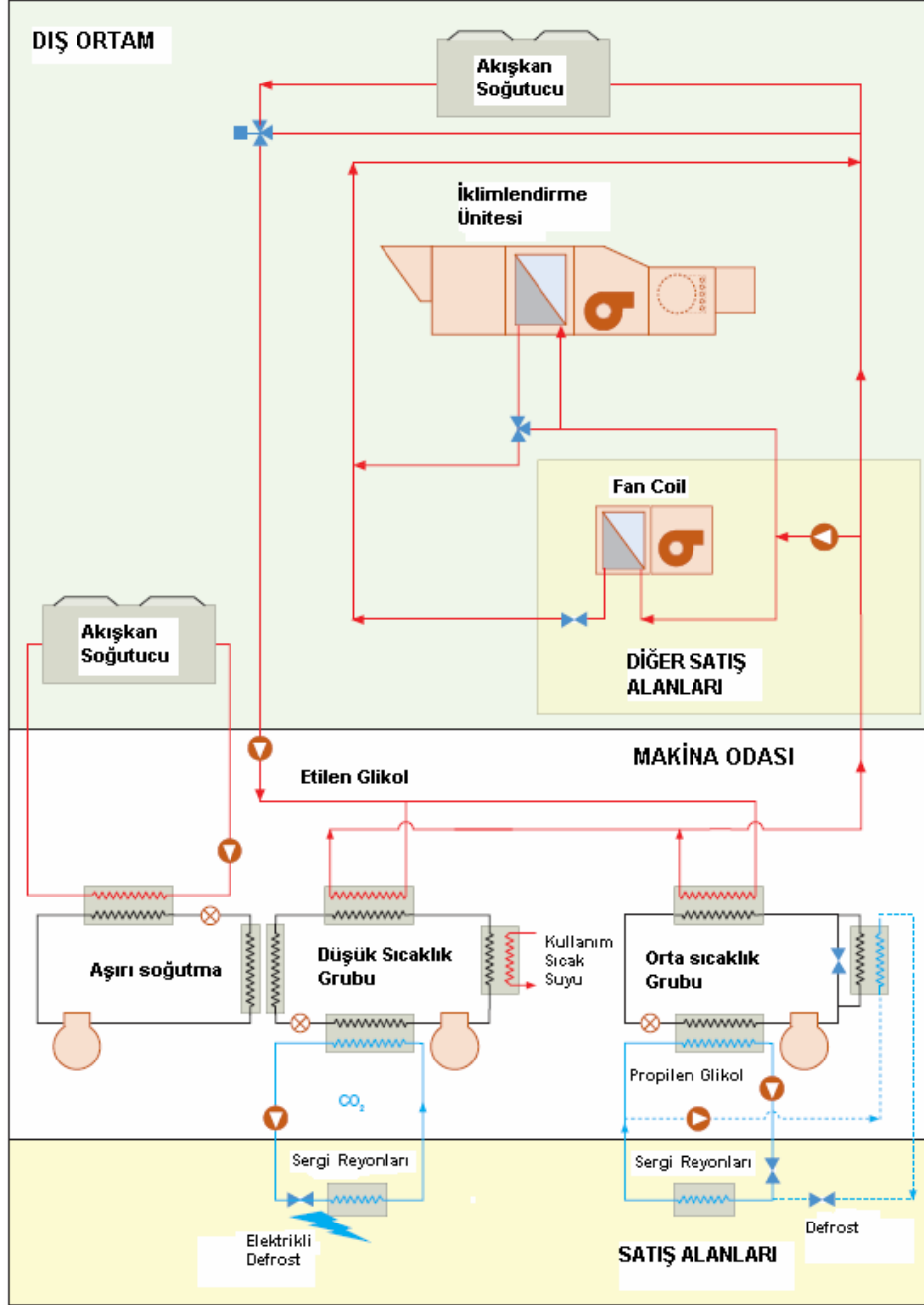
Kanada'da uygulanan diğer bir kapalı devreli, ısı geri kazanımlı, iklimlendirme entegrasyonlu sistem Loblaw süpermarketlerinden, Scarborough'da gerçekleştirilen uygulamadır. Bu uygulama ve kazanımları ile ilgili bilgiler aşağıda verilmektedir [3].

13935 m²'lik bir süpermarket olan bu uygulama, 162 kW'lık düşük sıcaklıklı soğutma ve her biri 235 kW'lık iki orta sıcaklıklı soğutma ve 77 kW'lık aşırı soğutma sisteminden oluşmaktadır, Şekil 8.

Düşük sıcaklıklı dondurulmuş gıdalar reyonlarına soğu CO₂ ile -28°C sıcaklıkta kapalı devre ile taşınmaktadır. Orta sıcaklık devresindeki soğu taşıyıcı akışkan (salamura) ise propilen glikol olup –bu sergi reyonlarına soğutulmuş akışkan -8°C'da taşınmaktadır. Bütün kompresörlerdeki soğutkan R-507a olup, toplam soğutkan şarjı yalnızca 350 kg'dır. Konvansiyonel çoklu kompresörlü direkt genleşmeli (DX) sistemlerde şarj miktarı bu değer 6 ile 8 katı kadar olabilmektedir. Bu uygulama ile gerek soğutkan şarjının azlığı ve gerekse soğu taşıyıcı akışkan olarak karbondioksitin kullanılması sistemin çevresel etkilerindeki olumsuzluğunu daha iyi bir duruma getirmektedir.

Bu sistemde birçok enerji tasarrufu tekniği uygulanmıştır. Bunlar mekanik aşırı soğutma uygulaması, kompresör basıncının değiştirilebilir olması, bina iklimlendirme sistemi için ısı geri kazanımı (300 kW lık iklimlendirme sistemi için 3x60=180 kW fan coil üniteleri için geri kazanım sağlanabilmektedir), kompresör ısısının kullanım sıcak suyu ısıtılmasında kullanımı gibi yöntemlerdir.

Soğutkan şarjında yüzde 85 azalma sağlanmıştır. Bu sistemdeki toplam enerji tüketimi, soğutma sistemi verimliliğinde iyileşme ve ısıtmada kullanılan yakıt tasarrufu nedeniyle yüzde 20 azaltılmıştır. İşletme maliyetlerinde azalma ve gıdaların raf ömrü ve kalitesinde artış sağlanmıştır.



Şekil 8. Loblaw Süpermarketlerinden Birinde (Scarborough) Uygulanan Kapalı Devreli Soğutma Sisteminin İklimlendirme Sistemi Bağlantıları ve Düşük Sıcaklık Grubunda Karbondioksitin Salamura Olarak Kullanımı Sistem Şeması [3].

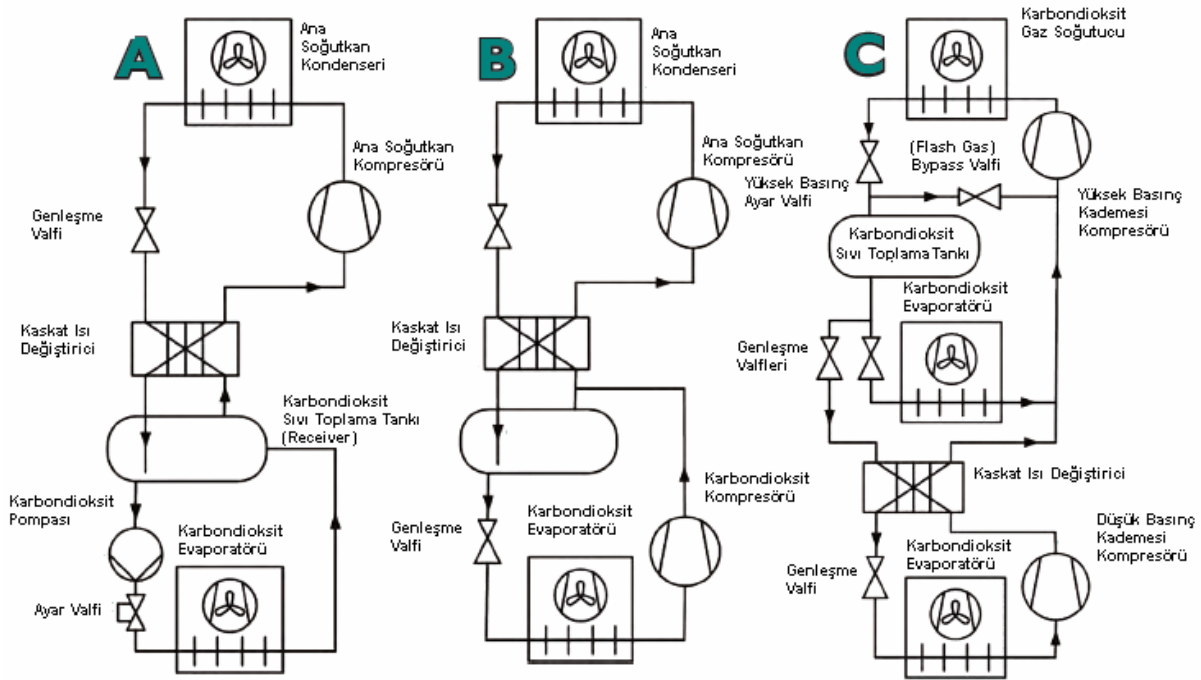
4. KARBONDİOKSİTİN SÜPERMARKET SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANIMI

Karbondioksit atmosferde bulunan doğal bir madde olması, toksin olmaması, yanmaması (kendisi bir yanma ürünü), düşük maliyetli (HFC'lerin beşte biri ile onda biri maliyetlerde), kolay bulunabilir, seragazı etkisi =1, atmosferik basınçta katı veya gaz fazında bulunan özellikleriyle [7],soğutkan olarak kullanımı son yıllarda çok geliştirilen, geliştirmeye açık soğutma sistemlerinde tercih edilen bir konumdadır.

Süpermarket uygulamalarında karbondioksitin kullanımı üç grupta görülmektedir.

- Soğutma grupları ve düşük sıcaklık uygulamaları için faz değıştiren ikincil kapalı devre akışkanı olarak kullanımı,
- Kaskat bir soğutma sisteminin düşük sıcaklık devresinde karbondioksitin kullanımı. Bu sistemin kondenserinden ise ayrı bir soğutkanlı soğutma sistemi ile ısı çekilerek kaskat sistem tamamlanır.
- Transkritik düzenleme ile kullanım. Bu çevrimde ilave bir soğutma sistemine gereksinim bulunmamaktadır. Bu sistemde çevrimde çekilen ısı, süperkritik özelliklerde çalışan gaz soğutucuda çevreye atılmaktadır.

Bu uygulamaların şematik prensipleri Şekil 9.'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Karbondioksitin Soğutma Sistemlerinde Kullanılması [4].

- A: İkincil kapalı devre akışkanı olarak kullanımı,
 B: Kaskat soğutma sisteminde düşük sıcaklık veya basınç devresinde kullanımı,
 C: Kritik üstü basınçlarda (Transkritik) kullanımı.

Süpermarketlerin çoğunda Dünya genelinde karbondioksitli olanlar kullanılmamaktadır. Ancak bu bahsedilen seçenekleri içeren uygulamaların özellikle Avrupadan başlayarak Dünyaya yaygınlaşması beklenmektedir.

Danimarka'da Beder'de Fakta Süpermarkette uygulanan karbondioksitli kaskat sistem özellikleri aşağıda belirtilmiştir (2001) [1].

Süpermarket 490 m² satış alanına sahiptir (toplam 720 m²). Kaskat sistemin düşük sıcaklık devresinde karbondioksit soğutkanı (-32/-10°C) sıcaklıklarında, orta sıcaklık devresinde ise propan (-14/25°C) kullanılmaktadır. Tasarım toplam kapasitesi 33 kW'tır. Propan devresinde bulunan ikinci evaporatörde propilen glikol salamurası -8°C'a soğutulmuş orta sıcaklıktaki sergi reyonlarının soğutulmasında kullanılmaktadır. Bu uygulama en yeni konvansiyonel soğutma sistemleriyle aynı düzeylerde enerji tüketmektedir. Soğutkan (propan) miktarları 10 kg propan ve 6 kg CO₂ değerlerindedir. Yıllık tahmin edilen soğutkan kaçağı, propan devresi için şarj miktarının yüzde 2'si, karbondioksit devresi için ise şarj miktarının yüzde 15'idir.

Karbondioksitin süpermarketlerde kullanılabilirliği üzerine gerçekleştirilmiş lisansüstü çalışmalar bulunmaktadır [5,6].

Gerçekleştirilen bu ve benzer uygulamalar sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin de azalması ile süpermarket soğutma uygulamalarında karbondioksitin yaygınlaşacağı izlenimini doğurmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Süpermarketlerde kullanılan enerjinin yarısı veya daha fazlası soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Avrupa Ülkeleri, ABD ve Kanada'da süpermarketlerde kullanılan enerjini azaltılması, daha verimli hale getirilmesi, atık ısılardan yararlanılması v.b düşüncelerle geliştirilmiş, geliştirilen çok sayıda teknoloji mevcuttur. Bu sunumda bu sistemlerden yaygın olanlar tanıtılmaya çalışılmıştır. Bu konudaki araştırmaların sürdüğünü de belirtmekte yarar vardır. Bu araştırmalarda ana amaçlardan bir diğeri de soğutkan kaçaklarının önlenmesi, daha az soğutkan kullanan sistemlerin geliştirilmesi ve soğutma sistemlerinin toplam eşdeğer ısınma etkisi (TEWI: total equivalent warming impact) değerlerinin düşürülmesidir.

Ülkemizde de soğutma firmalarımızın benzer arayışlar içinde olduğu, örneğin frekans kontrollü hibrit çoklu kompresör grubu uygulamalarının gerçekleştirildiği bilinmektedir. Enerji verimli sistemlerin ve yeni teknolojilerin ülkemiz süpermarketlerinde de kullanılması ve yaygınlaştırılması gereklidir. Süpermarket soğutma teknoloji ve uygulamaları ile ilgili bir ülke raporu da hazırlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] BAXTER, V.D., "IEA Annex 26: Advanced Supermarket Refrigeration/Heat Recovery Systems, Final Report Volume 1-Executive Summary", 2003.
- [2] <http://www.nrcan-rncan.gc.ca/com/index-eng.php> web sayfası, Natural Research Canada, Secondary Loops For Cold Distribution and for Heat Recovery in a Loblaw Supermarket,
- [3] CanmetENERGY/ <http://canmetenergy.nrcan.gc.ca>
- [4] PEARSON, A., Using CO₂ in Supermarkets, ASHRAE Journal, February 2010, p24-28.
- [5] SAWALHA, S., Carbondioxide in Supermarket Refrigeration, Royal Institute of Technology, 2008.
- [6] KARIMABAD, A.S., Experimental Investigations of NH₃/CO₂ Cascade Systems for, Supermarket Refrigeration, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology, 2006.
- [7] Natural Refrigerants Case Study, Australian Institute Refrigeration, Air Conditioning and Heating, 2007

ÖZGEÇMİŞ

Ali GÜNGÖR

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör oldu. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanıdır. Çalışma konuları iklimlendirme, soğutma teknolojileri, güneş enerjisi ısı uygulamaları, kurutma tekniği, ısı boruları, termodinamik: ısı ve madde transferi uygulamalarıdır.