Farklı Buharlaşma Sıcaklıklarına Göre R-22 ve Alternatifi Olan Soğutucu Akışkanların Karşılaştırılması

Ayhan ONAT[1], Hüseyin BULGURCU[2], Özlem MOLLAHÜSEYİNOĞU[3]
[1]BAÜ., Gönen Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme ve Soğutma Programı, Balıkesir
[2]BAÜ., Balıkesir Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme ve Soğutma Programı, Balıkesir
[3]BAÜ., Gönen Meslek Yüksekokulu, Doğalgaz Isıtma ve Sıhhi Tesisat Programı, Balıkesir

ÖZET: Bu çalışmada farklı buharlaşma sıcaklıklarına göre R-22 ve alternatifleri olan soğutucu akışkanların analizi yapılmıştır. Bu akışkanlar 10 kW soğutma kapasitesindeki tek kademeli bir çevrim üzerinde denenmek suretiyle sıkıştırma oranı, kütlesel debi, hacimsel kapasite, STK, ITK, ve boru çapları değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmalar Solkane 4.0 ve KleaCalc yazılımları ile yapılmış olup farklı buharlaşma sıcaklıklarında farklı karakteristikler elde edilmiştir. R-22 ile R-407C arasında performanslar yönünden büyük paralellikler mevcuttur. İklimlendirme cihazlarında R-22 soğutucu akışkanını R-407C'ye dönüştürebilmek için mineral yağın en az %95'ini almak ve filtreyi değiştirmek gerekmektedir. R-410A diğer akışkanlara göre %60 daha yüksek sistem basınçlarında çalışmaktadır. R-410A soğutucu akışkanın boru çapları R-22'ye göre yaklaşık %20 daha küçük seçilmelidir.
Anahtar Kelimeler : Alternatif akışkanlar, buharlaşma, iklimlendirme, R-22, soğutucu akışkanlar.

Comparing R-22 and its Alternative Refrigerants According to Different Evaporating Temperatures

ABSTRACT: In this study, R-22 and its alternative refrigerants were compared according to different evaporating temperatures. Compression ratio, mass flow, volumetric capacity, COP_{ref}, COP_{heat}, and pipe sizing of these refrigerants were calculated using theoretically one-stage refrigeration cycle with 10 kW cooling capacity. These studies were completed by Solkane 4.0 and KleaCalc programs. Different results were obtained from different evaporating temperatures. In terms of performance, there were major similarities between R-22 and R-407C. In air-conditioners, to change R-22 refrigerant to R-407C, 95% of mineral oil must be removed and the dryer must be changed. According to other refrigerants, R-410A has 60% higher system pressures. R-410A pipe sizing must be chosen approximately 20% smaller than R-22.
Anahtar Kelimeler : Alternative refrigerants, evaporating, air-conditioning, R-22, refrigerants.

GİRİŞ

Avrupa Topluluğu şartnamelerine göre HCFC türü soğutucu akışkanların 2004 yılından itibaren yeni cihazlarda kullanımı ve 2010 yılında ise tamir ve servis amaçlı kullanımı yasaklanmıştır. HCFC'lerin yerine özellikle iklimlendirme uygulamalarında alternatif akışkanlar olarak azeotrop R-407C, R-421A ve zeotrop özelliklere daha yakın olan R-410A soğutucu akışkanları öne çıkmıştır. 1992 yılında Kopenhag Toplantısında R-22'nin de içinde bulunduğu HCFC grubu akışkanların kullanımının yasaklanması takvime bağlanmıştır (www.rmsgas.com, 2005). 1989 verileriyle bu soğutucu akışkanların ozon delme potansiyeli (ODP) oranının ağırlıkça %3.1 olduğu belirlenmiştir. Bu oran 2004 yılından başlanarak kademeli olarak 2020 yılında %0.5'e düşürülecek, 2030 yılında ise tamamen kaldırılacaktır. Ayrıca 2010 yılından itibaren HCFC üretimi gerektiren hiçbir ekipman üretilmeyecektir (Bulgurcu, 2000). 1995 Viyana Toplantısında HCFC'lerin %3.1 oranı %2.8'e düşürülmüştür. 1997'deki protokol metninde Avrupa Birliği HCFC'lerdeki bu oranları %2.8'den %2'ye düşürmüş ve tamamen uygulamadan kaldırma tarihini 2015 yılına kadar çekmiştir (www.iciklea.com, 2005). Ancak ABD, Japonya ve Kanada gibi ülkeler bu sürecin hızlandırılmasına karşı çıkmaktadırlar. Gerekçe olarak mevcut dönüşüm tarihinin sabitleşmesinin CFC soğutucu akışkanların dönüşümüne katkı yapacağını öne sürmektedirler (Gushee ve David, 1994). Amerika Birleşik Devletlerinin HCFC'lerin üretimden kaldırılmasını uzun sürece yaymasındaki tavrının nedenleri arasında en büyük HCFC üreticisi olmasının yanında, özellikle HCFC grubundan R-22 konusunda kendi içlerindeki tartışmaların devam etmesi de son derece etkili olmuştur. Çünkü R-502 alternatifi olarak geliştirilen R-402A, R402B, R-408A gibi bazı geçiş dönemi akışkanlarında belli oranlarda R-22 kullanılmaktadır. Termodinamik özelliklerinin çok iyi olması endüstriyel ve ticari uygulamalarda R-22'yi kolay vazgeçilemez hâle getirmiştir (İsa ve İslamoğlu, 2003). Ancak Avrupa Topluluğu farklı bir düzenleme ile (2037/2000) HCFC'lerin yasaklanmasını üretim ve tüketim kontrolleri olarak iki ayrı periyotta değerlendirmiştir. Buna göre HCFC'ler 1997 yılı üretimi esas alınarak 1 Ekim 2000 tarihinden 1 Ocak 2025 tarihine kadar kademeli olarak sıfırlanacaktır. HCFC tüketimi ise 1 Ocak 2000'den 1 Ocak 2010 yılına kadar kademeli olarak azaltılarak yasaklanacaktır. (www.iciklea.com, 2005).

İklimlendirme sistemleri için R-22'nin alternatifi olarak kullanılabilecek soğutucu akışkanları şu şekilde sıralamak mümkündür: R-407C, R-410A, ve R-421A. Evaporatör kızgınlığı, kondenser yoğunlaşma sıcaklığı, aşırı soğutma, kompresör izentropik verimi ve soğutma yükü değerleri sabit tutularak evaporatördeki farklı buharlaşma sıcaklıklarına göre diğer özellikler elde

edilmiştir. Bu özelliklere göre R-22 ile alternatifleri olan R-407C, R-410A ve R-421A soğutucu akışkanları karşılaştırılarak aralarındaki benzerlik ve farklılıklar ortaya konmuştur.

MATERYAL ve YÖNTEM

Atmosfer basıncında kaynama sıcaklığı -40.8 ^{o}C olan R-22 akışkanın molekül ağırlığı 86.5 kg/kmol'dür. R-22 basınç oranının daha küçük olması avantaj ise de amonyak gibi orta basınçlı soğutucu akışkandır. Bu nedenle iki kademeli soğutma uygulaması ile -75 ^{o}C'ye kadar sıcaklıklar elde edilmektedir. R-22 akışkanı pistonlu, vidalı ve rotorlu kompresörler ile kullanılırken, en çok hermetik tip kompresörlerle kullanılmaktadırlar. Düşük sıcaklıklarda, yüksek süpürme hacimli santrifüj kompresörlerde de kullanılmaktadır. R-22 soğutucu akışkanı R-12 ve R-502 yerine geçiş akışkanıdır. Aynı süpürme hacmi için soğutma etkisi R-12'den %60 fazla olduğu unutulmamalıdır. R-22 oldukça iyi bilinen ve yaygın olarak denenmiş bir soğutucu akışkandır. Dünyanın her yerinde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Donmuş gıda teşhir kabinleri, dik tip dondurucular, yatık tip dondurucular, klimalar, soğuk odalar, bilimsel amaçlı donmuş muhafaza odaları, taşıma amaçlı soğutma, ticari soğutma (özellikle süper marketler), endüstriyel soğutma ve ayrıca ısı pompalarında geniş uygulama alanı bulmaktadır. R-22 yanıcı ve zehirleyici değildir (EC standart sınır değeri [TLV-TWA] 1000 ppm). ODP değeri R-12'den %94.5 daha azdır. Kalan %5.5 ODP değeri ile ozon tabakasına zararlı olarak belirlenmiştir. (Anonim, 1999). R-22 termal ve kimyasal olarak kararlı olup, metaller ile uyumluluğu R-12 ile mukayese edilebilir düzeydedir. Standart uyum gösterdiği yapı malzemeleri; bakır, pirinç, monel metal, nikel, dökme demir, çelik ve alüminyum olmaktadır. Magnezyum, kurşun, çinko ve alüminyum alaşımlarında ağırlıkça ortalama %2'den fazla magnezyum kullanılmamalıdır (www.trane.com. 2005). Plastik ve elastomerlere karşı R-12'den daha agresiftir ve kurşunu farklı derecelerde etkilemektedir. Kloropren kauçuk (CR), klorosülfonatlı polietilen kauçuk (CSM) ve politetrafloretilen (PTFE) kullanılabilir, ancak akriliknitril butadiyen kauçuk (NBR veya HNBR) ve florinli kauçuk tipleri (FPM tipleri) ile kullanılmamalıdır. R-22 ile madeni yağlar yüksek sıcaklıklarda iyi karışım yaparlar, ancak düşük sıcaklıklarda karışımda tabakalaşma oluşur. Büyük tabakalaşma düşük sıcaklık uygulamalarında yağın kompresöre geri dönüşünü zorlaştırmaktadır. Bu durumda yüksek verimli bir yağ ayıracı veya yarı sentetik yağ kullanımı tavsiye edilmektedir (www.dupont com, 2005).

R-407C akışkanı R-125, R-32 ve R-134a'nın (%25/23/52) zeotropik bir üçlü karışımı olup yaklaşık 7 ^{o}C sıcaklık kaymasına sahiptir. R-22'nin bazı uygulamalarında uzun vadeli bir alternatifidir. İklimlendirme uygulamaları için birim süpürme hacmi başına soğutma etkisi ile soğutma tesir katsayısı yaklaşık olarak R-22'ye eşittir. R-407C için kullanılacak ısı değiştiricilerin seçimi kritik önem arz etmektedir. R-22 ile çalışan bir tesiste kondenser ve evaporatör tarafında boru-yüzey tipi ısı değiştirici kullanılıyorsa R-407C'ye dönüşümünden sonra soğutma kapasitesinde yaklaşık %10, soğutma tesir katsayısı değerinde ise ortalama %18 azalma ortaya çıkmaktadır. Bu olay zeotrop karışımların yüzeysel ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Hava soğutmalı tesisler ile lamelli ısı değiştiricilerde bu etki son derece dikkat çekicidir ve performans verileri mukayese edilebilir seviyede oluşmaktadır. Bazı durumlarda R-407C'nin çalışma şartları R-22'nin çalışma şartlarından daha iyi olmasına rağmen R-407C için sıcaklık kayması kaçak durumunda problem oluşturabilmektedir. R-407C karışımda var olan düşük kaynama sıcaklıklı soğutucu akışkanlar (R-32 ve R-125) buhar kaçaklarına neden olurken, sistemde dolaşan karışımın konsantrasyonu yüksek kaynama sıcaklıklı olan R-134a akışkanına doğru kaymaktadır. Gaz fazında silindir içerisinde ayrışma olduğu için R-407C mutlaka sıvı halinde sisteme doldurulmalıdır. Mevcut R-22 tesisleri R-407C'ye dönüştürülebilir. Bu tip bir değişiklik için R-407C uyumludur ancak tesis parametreleri, özellikle ısı değiştiriciler kesinlikle gözden geçirilmelidir (www.dupont.com, 2005).

R-407C için poliester (POE) yağ kullanılması tavsiye edilmektedir. Sistemdeki kalan madeni yağ en fazla ortalama %5 olmalıdır. Ortalama %5'ten daha fazla yağ kalması halinde erken kompresör arızaları ve sistemde kapasite kayıpları ortaya çıkmaktadır. Çünkü madeni yağ R-404A/R-507 ile karışım yapmaz ve evaporatör iç yüzeylerinde kalarak sistemde kapasite kayıplarına neden olur. R-407C sadece şu anda R-22 kullanılan sistemlerde kullanılmalıdır. Kesinlikle R-22 veya diğer soğutucu akışkanlarla karıştırılmamalıdır. Mevcut R-22 vanası R-407C ile kullanıldığında yaklaşık olarak aynı kapasitede olduğundan termostatik genleşme vanasının değiştirilmesine gerek yoktur. Ancak kızgınlık ayarının yeniden yapılması gerekli olabilir. Filtre-kurutucular dönüşüm esnasında değiştirilmelidir. Şayet gevşek dolgulu (silikajelli) filtre kullanılıyorsa moleküler filtre veya katı özlü filtreler tavsiye edilmektedir. Basınç değerlerinde kayma olduğundan basınç regülatörlerini yeniden ayarlamak gerekmektedir. Bazı tecrübeler göstermiştir ki sıvı depolu sistemlerde R-407C ayrışarak soğutma kapasitesini azaltmakta ve R-407C normal yoğunlaşma basınçlarında R-22'den daha yüksek basınç değerlerini göstermektedir. Güvenlik ve otomatik kontrol cihazlarının ayarlarını değiştirmek gerekebilir. Sistemde ortam sıcaklığını kontrol etmek için alçak basınç anahtarı kullanılıyorsa, devreye girme ve devreyi kesme değerleri değiştirilmesi gerekli olabilir. R-407C'de basınç ayarı yapılırken soğutucu akışkanın evaporatör ve kondenserdeki ortalama sıcaklık kayması 8 ^{o}C olduğundan düzeltme gerekebilir (Anonim, 2004). Soğutucu akışkanda sıcaklık kayması olduğundan Termostatik genleşme valfinin (TGV) kızgınlık ayarının basınç ve doymuş buhar tabloları kullanılarak ölçülmesi

ve ayarlanması önemlidir. Örnek: Termostatik genleşme vanasının kuyruk duyargasında ölçülen basınç 5.5 bar'dır. Basınç-sıcaklık tablosu R-407C için 5.5 bar için doymuş buhar sıcaklığını 10.5 ^{o}C olarak gösterilmektedir. Şayet soğutucu akışkanın ölçülen gerçek sıcaklığı 15.5 ^{o}C ise kızgınlık 5 ^{o}C'dir. R-407C kullanılan sistemlerde basınç kayıpları R-22'den daha fazladır. Pilot kontrollü solenoid vanaların ve basınç regülatörlerinin uygun çalışması kontrol edilmeli ve madeni yağlar kesinlikle kullanılmamalıdır. Sadece POE yağ kullanılmalıdır (Anonim, 2004).

R-32 ve R-125 soğutucu akışkanlarının %50 oranında karıştırılarak elde edilen R-410A, uluslararası olarak R-22'nin uzun vadeli alternatifi olarak tercih edilmektedir. Bu soğutucu akışkan çok düşük sıcaklık kayması ile yakın-azeotrop özellikler gösterir. Orta basınçlı soğutma tesislerinde, klimalarda ve ısı pompalarında R-22 yerine veya yeni tesislerde kullanılabilir. Temel farkı R-22'den daha yüksek çalışma basınçlarına sahip olmasıdır. R-410A 42°C yoğunlaşma sıcaklığında 25 bar basınçlara ulaşmakta iken R-22 bu basınçlarda sadece 62 ^{o}C'de ulaşmaktadır. R-410A'nın en büyük avantajı birim süpürme hacmi başına soğutma etkisinin R-22'den %50 daha fazla olmasıdır. Bu yolla daha küçük elemanlar kullanılarak kompakt cihazlar yapılabilir. Kompresörler gibi soğutma elemanları bu basınç artışına göre tasarlanmalıdır (Anonim 2005). Yüksek çalışma basınçları ortaya çıktığından R-410A mevcut R-22'li tesislerde dönüşüm için uygun değildir. Dönüşüm için tesis tasarımında revizyon yapılarak R-407C'ye dönüşüm yapılmalıdır.

R-421A bir HFC karışımlı dönüşüm akışkanı olup sıfır ODP değerine sahiptir ve hem sentetik hem de mineral yağlarla uyumludur. R-421A ikili bir karışım olup kendine ait yağ ile birlikte bulunur, silindirden sıvı fazında transfer yapılması tavsiye edilir. R-421A soğutma ve iklimlendirme işlemleri için verimli bir akışkandır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda yüksek bir performans gösterir. Buna ilaveten düşük basma sıcaklıklarına sahip olması bir avantajdır. Sistem maksimum yüke yakın değerlerde çalışırken bile düşük kompresör basma sıcaklıklarına sahip olması bir şanstır. R-421A'daki şarj ekipmanları sıvı olarak yapılır. Sıvı şarjı doğrudan kompresöre yapılmamalıdır. Sıvı depoları R-22'li sistemlere benzer ölçülerdedir. Sıvı deposu olmayan sistemlerde evaporatörde uygun sıcaklık ve kızgınlık sağlamak için yeterince ilave gaz eklenmesi tavsiye edilir. Optimum performans için daha büyük genleşme vanası iğnesi gerekebilir. Kılcal borulu sistemlerde kılcal boruyu değiştirmeye gerek yoktur.

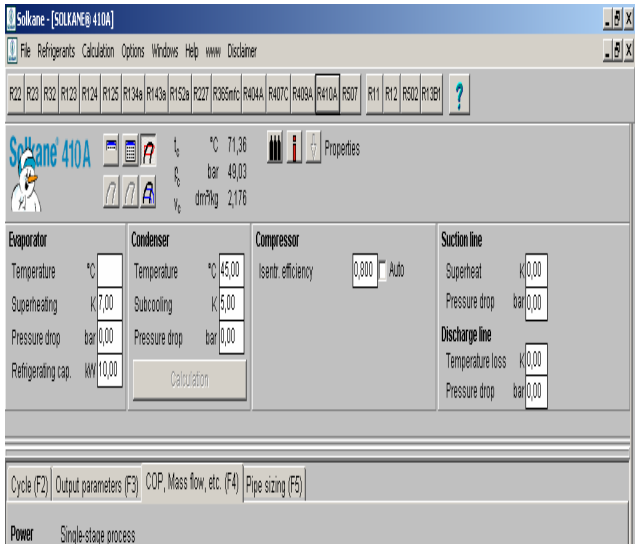
Soğutma çevriminde kullanılacak R-22 ve alternatifleri olan akışkanların karşılaştırılması için ICI Klea firması tarafından geliştirilen KLEACALC 5.0 ve SOLKANE 4.0 yazılımları kullanılmıştır (Anonim, 2002). Tablo 1'de iklimlendirme uygulamaları için kullanılan R-22 ve alternatifleri olan soğutucu akışkanların ve fiziksel ve termodinamiksel özellikleri Tablo 2'de ise karşılaştırma için örnek soğutma çevrimi değerleri verilmektedir. Şekil 1'de sabit çevrim değerlerinin programda gösterimi, Şekil 2'de Mekanik soğutma çevrimin şematik gösterimi ve Şekil 3'de ise soğutma çevriminin şematik olarak basınç-entalpi diyagramında gösterilmesi verilmektedir.

Tablo 1. İklimlendirme uygulamaları için R-22 ve alternatiflerinin fiziksel ve termodinamiksel özellikleri (Onat ve ark., 2004), (www.dupont.com, 2005)

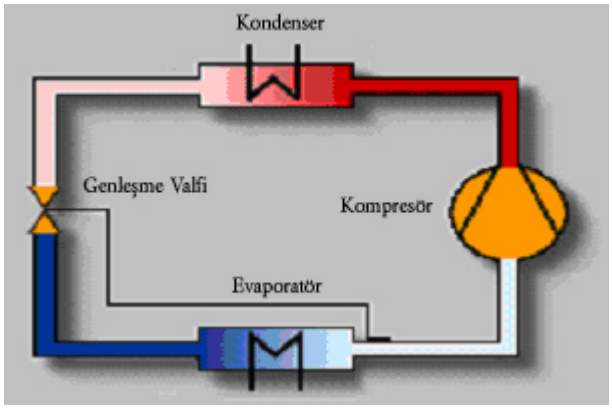
Fiziksel ve termodinamiksel özellikler	R-22 ve alternatifi olan soğutucu akışkanlar			
Numarası	R-22	R-407C	R-410A	R-421A
Numarası/karışım oranı	R22 %100	R32 %23 R125 %25 R134a%52	R32 %50 R125 %50	R125%58 R134a%42
Kimyasal Formülü	$CHClF_2$	CH_2F_2 CHF_2CF_3 CF_3CH_2F	CH_2F_2 CHF_2CF_3	CHF_2CF_3 CF_3CH_2F
Molekül ağırlığı	86.47	86.2	72.58	112.44
Buharlaşma sıcaklığı 1atm. (^{o}C)	-40.8	-43.56	-51.53	-38.86
Buharlaşma gizli ısısı 1atm (kJ/kg)	233.5	245.1	276.2	138.5
Sıvı yoğunluğu 25°C (kg/m^3)	1195	1134	1062	1197
Isı iletim katsayısı. 25°C sıvı (W/mK)	0.0849	0.0819	0.0886	0.0876
Kritik sıcaklık (^{o}C)	96.24	86.74	72.13	80.85
Kritik basınç (kPa)	4981	4619	4926.1	3810
ODP, CFC- 12=1	0.05	0	0	0
Küresel ısınma etkisi (GWP), CO_2=1	1500	1526	1725	-

Tablo 2. Karşılaştırma için soğutma çevrimi değerleri

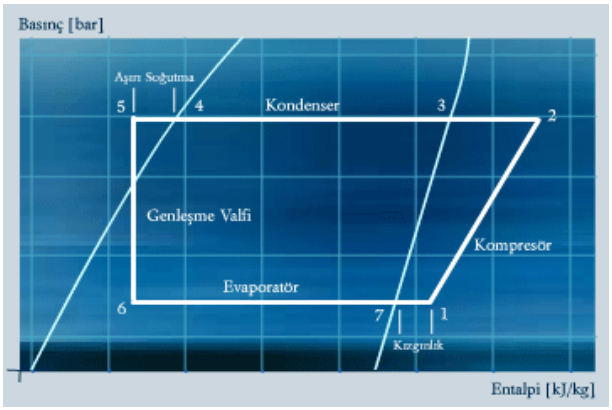
Buharlaşma sıcaklığı	-10/+20 ^{o}C
Evaparatör kızgınlık değeri	7 ^{o}C
Yoğunlaşma sıcaklığı	45 ^{o}C
Kondenser aşırı soğutma değeri	5 ^{o}C
Kompresör izentropik verimi	% 80
Soğutma Yükü	10 kW



Şekil 1. Sabit çevrim değerlerinin programda gösterimi.



Şekil 2. Mekanik soğutma çevrimin şematik gösterimi.



Şekil 3. Mekanik soğutma çevriminin şematik olarak basınç-entalpi diyagramında gösterilmesi.

Karşılaştırma için bu programında aşağıda verilen formüller kullanılmıştır.

Soğutma tesir katsayısı (STK) için,

$$STK = \frac{Q_e}{Q_k} \quad (1)$$

Isıtma tesir katsayısı (ITK) için,

$$ITK = \frac{Q_c}{Q_k} \quad (2)$$

Kondenser kapasitesi için,

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_5) \quad (3)$$

Kompresör kapasitesi için;

$$Q_k = \dot{m}(h_1 - h_6) \quad (4)$$

Akışkanın kütlesel debisi için,

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{(h_1 - h_6)} \quad (5)$$

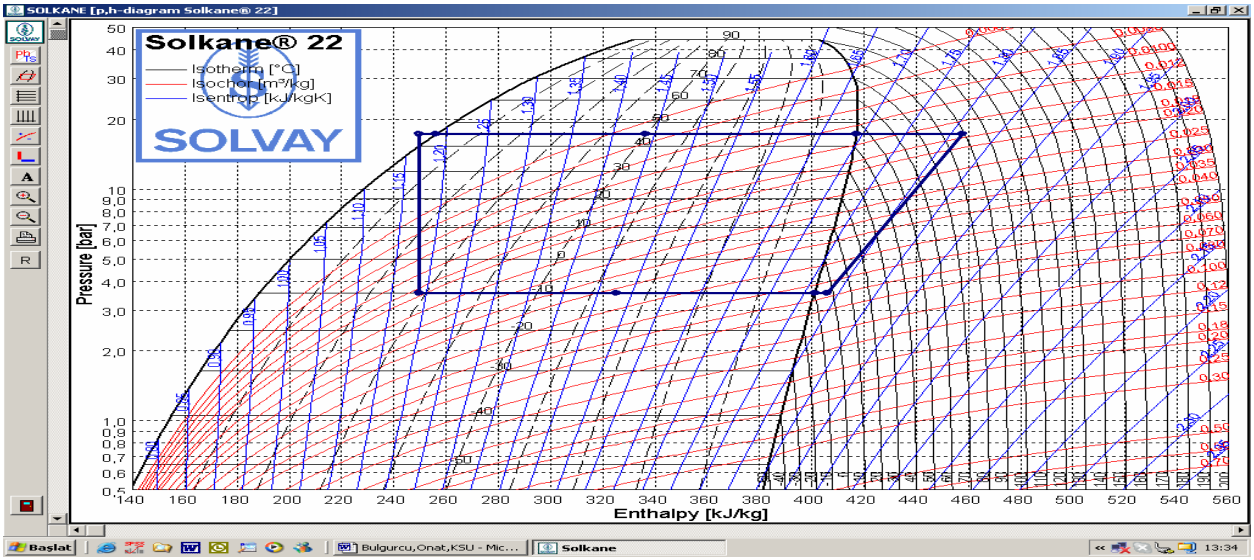
Sıkıştırma oranı için,

$$SI = \frac{p_c}{p_e} \quad (6)$$

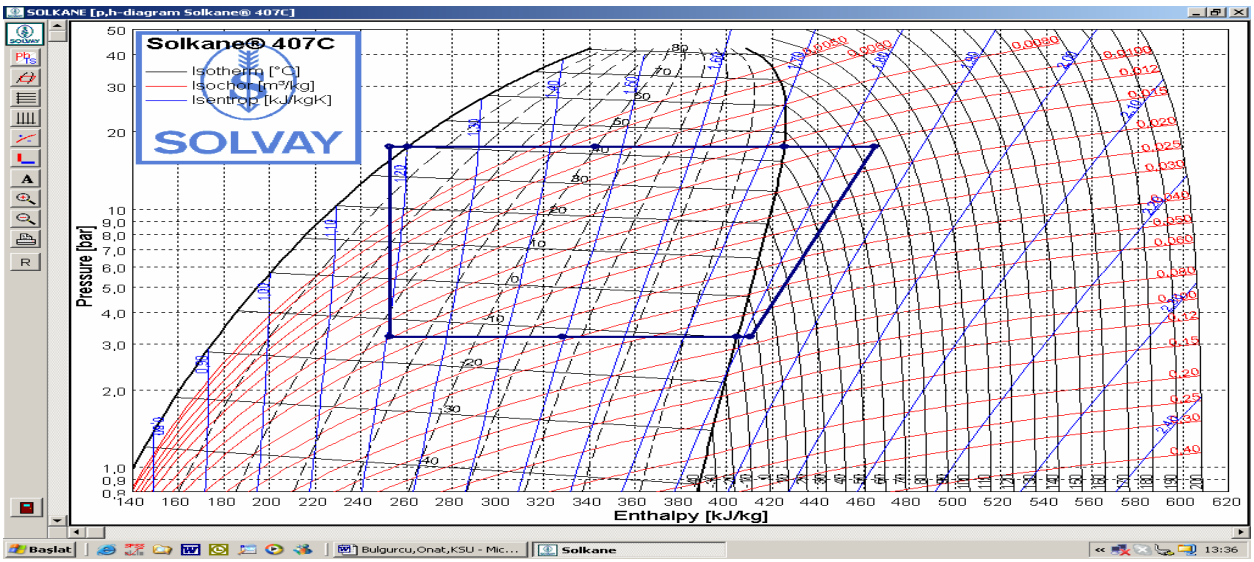
formülleri kullanılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

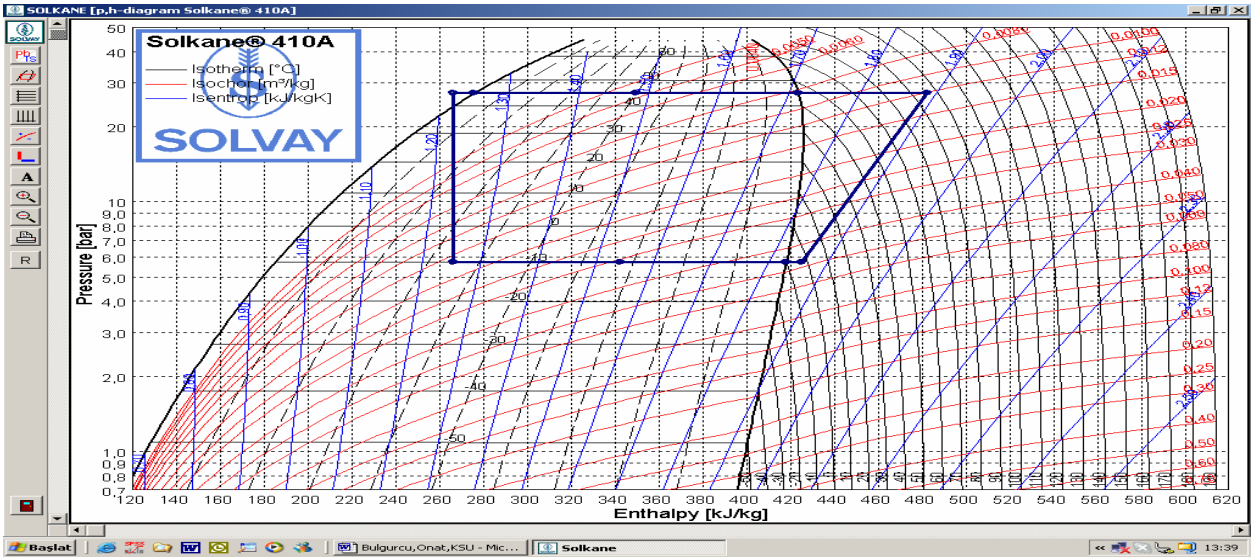
Farklı evaporatör buharlaşma sıcaklıklarına göre, evaparatördeki kızgınlık, kondenserdeki yoğunlaşma sıcaklığı, kondenserdeki aşırı soğutma, kompresör izentropik verimi ve soğutma yükü değerleri sabit tutularak elde edilen çevrim sonuçlarına göre Tablo 3'den Tablo 6'ya kadar olan değerler ve Şekil 4'den Şekil 14'e kadar olan grafikler elde edilmiştir. Şekil 4'den Şekil 6'ya kadar sırasıyla R-22, R-407C, R-410A için -10 ^{o}C buharlaşma ve örnekte verilen sabit değerler için p-h diyagramında gösterimi verilmektedir. Şekil 7'den Şekil 14'e kadar R-22, R-407C, R-410A ve 421A için buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak sırasıyla sıkıştırma oranı, kütlesel debi, hacimsel kapasite, soğutma tesir katsayısı ve ısıtma tesir katsayısı değişim oranları verilmiştir. Sıkıştırma oranı, eşitlik 6'da verildiği gibi kondenser mutlak basıncının evaporatör mutlak basıncına oranıdır. Bu değerin yüksek olması soğutma sisteminin veriminin düşük olduğunu gösterir. Sıkıştırma oranı arttıkça sıkıştırma esnasında (kompresörde) harcanan enerji artar. Şekil 7'de R-421A'nın en yüksek sıkıştırma oranına sahip olduğu görülecektir. Onu sırasıyla R-410A, R-407C ve R-22 takip etmektedir. Ayrıca evaporatör sıcaklığı arttıkça sıkıştırma oranın düştüğü bütün akışkanlarda görülmektedir. Şekil 8'de en yüksek kütlesel debiye sahip akışkanın R-421A olduğu diğerlerinin hemen hemen benzer özellik gösterdiği görülmektedir. Evaporatör sıcaklığı artıkça kütlesel debinin çok az miktarlarda olsa bile azaldığı görülmektedir. Şekil 9'da ise hacimsel kapasite açısından en yüksek R-410A olduğu görülmektedir. Diğer akışkanlar ise birbirine çok yakın değerlerde çıkmaktadır. Bütün akışkanlarda evaporatör sıcaklığı arttıkça hacimsel verimin arttığı tersi olarak evaporatör sıcaklığı düştüğü zaman ise hacimsel verimin azaldığı görülmektedir. Eşitlik 1'de de görüleceği gibi elde edilen soğutma miktarının, harcanan enerjiye bölünmesiyle STK değeri bulunur. Bu değerin fazla çıkması sistemin verimli çalıştığını gösterir. Şekil 10'da STK değerinin R-421A'da en düşük değerde, diğer akışkanların ise aynı değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca evaporatör buharlaşma sıcaklığının artması ile STK değerlerinin bariz bir şekilde arttığı görülmektedir. ITK ise kondenserde elde edilen enerji miktarının, harcanan enerjiye bölünmesi ile elde edilen değerdir. Bu açıdan bakıldığında Şekil 11'de de görüleceği gibi yine R-421A en düşük, diğer değerler ise oldukça birbirine yakın çıkmıştır. Şekil 12'dan Şekil 14'e kadar R-22, R-407C ve R-410A için buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak sırasıyla emiş hattı, basma hattı ve sıvı hattı boru çapları verilmiştir. Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'e göre soğutma sistemlerinde kullanılan borular için R-410A'nın yaklaşık %20 oranlarında daha küçük boru çaplarına sahip olduğu görülmektedir. Diğer akışkanların yaklaşık aynı değerlerde boru çaplarına sahip olduğu belirlenmiştir. Tablo 3'de R-22, Tablo 4'de R-407C, Tablo 5'de R-410A ve Tablo 6'da ise R-421A için farklı buharlaşma sıcaklıklarına göre çevrim sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. R-22 için -10 °C buharlaşma ve örnekte verilen değerler için çevriminin p-h diyagramında gösterilmesi.



Şekil 5. R-407C için -10 °C buharlaşma ve örnekte verilen değerler için çevriminin p-h diyagramında gösterilmesi.



Şekil 6. R-410A için -10 °C buharlaşma ve örnekte verilen değerler için çevriminin p-h diyagramında gösterilmesi.

Tablo 3. Farklı buharlaşma sıcaklıklarına göre R-22 soğutucu akışkanının çevrim sonuçları

T_e [°C]	Q_c [kW]	Q_k [kW]	SI [--]	ΔP [bar]	$\dot{m}$ [g/s]	$\dot{V}_e$ [m³/h]	$\dot{Q}$ [kJ/m³]	STK [--]	ITK [--]	D_e [mm]	D_b [mm]	D_s [mm]
Q_e = 10 kW, T_c =45 °C, kızgınlık 7 °C, aşırı soğutma 5 °C, kompresör izentropik verimi %80												
-10	13.33	3.33	4.87	13.74	63.98	15.57	2313	3.00	4.00	23.21	13.97	9.40
-5	12.91	2.91	4.10	13.07	63.14	13.02	2754	3.44	4.43	21.75	13.84	9.36
0	12.52	2.52	3.47	12.31	62.34	10.96	3283	3.97	4.96	20.44	13.71	9.31
5	12.16	2.16	2.96	11.45	61.60	9.29	3877	4.63	5.63	19.25	13.59	9.27
10	11.82	1.82	2.54	10.48	60.89	7.91	4553	5.49	6.49	18.17	13.48	9.23
15	11.51	1.51	2.19	9.40	60.24	6.77	5320	6.64	7.62	17.19	13.37	9.19
20	11.21	1.21	1.90	8.19	59.64	5.82	6188	8.25	9.26	16.30	13.26	9.16

Tablo 4. Farklı buharlaşma sıcaklıklarına göre R-407C soğutucu akışkanının çevrim sonuçları

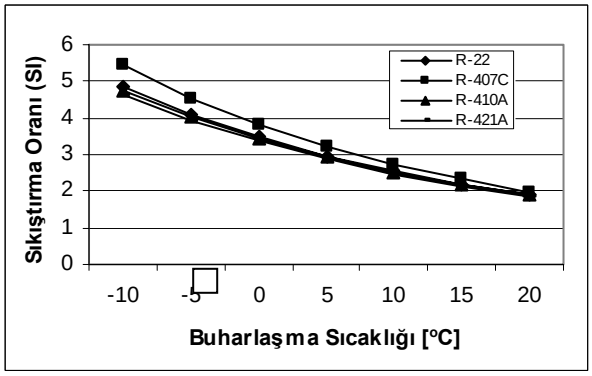
T_e [°C]	Q_c [kW]	Q_k [kW]	SI [--]	ΔP [bar]	$\dot{m}$ [g/s]	$\dot{V}_e$ [m³/h]	$\dot{Q}$ [kJ/m³]	STK [--]	ITK [--]	D_e [mm]	D_b [mm]	D_s [mm]
Q_e = 10 kW, T_c =45 °C, kızgınlık 7 °C, aşırı soğutma 5 °C, kompresör izentropik verimi %80												
-10	13.44	3.44	5.47	14.31	63.45	17.10	2105	2.91	3.90	23.73	13.45	9.18
-5	13.00	3.00	4.54	13.65	62.38	14.06	2561	3.34	4.33	22.09	13.32	9.12
0	12.59	2.59	3.80	12.90	61.38	11.64	3094	3.86	4.86	20.63	13.19	9.07
5	12.21	2.21	3.20	12.04	60.44	9.69	3714	4.52	5.52	19.31	13.07	9.02
10	11.86	1.86	2.72	11.06	59.56	8.13	4431	5.37	6.37	18.12	12.95	8.97
15	11.54	1.54	2.32	9.96	58.74	6.85	5257	6.51	7.49	17.08	12.84	8.92
20	11.23	1.23	1.99	8.71	57.97	5.80	6208	8.11	9.13	16.08	12.74	8.88

Tablo 5. Farklı buharlaşma sıcaklıklarına göre R-410A soğutucu akışkanının çevrim sonuçları

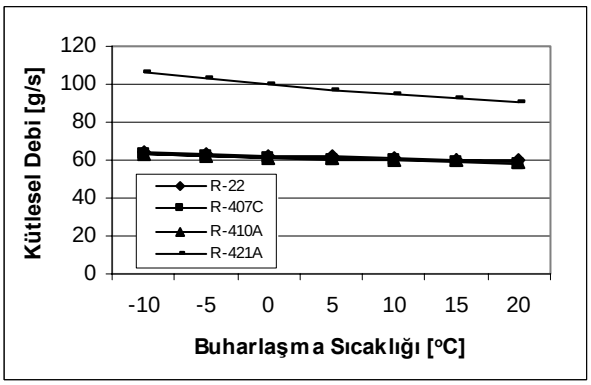
T_e [°C]	Q_c [kW]	Q_k [kW]	SI [--]	ΔP [bar]	$\dot{m}$ [g/s]	$\dot{V}_e$ [m³/h]	$\dot{Q}$ [kJ/m³]	STK [--]	ITK [--]	D_e [mm]	D_b [mm]	D_s [mm]
Q_e = 10 kW, T_c =45 °C, kızgınlık 7 °C, aşırı soğutma 5 °C, kompresör izentropik verimi %80												
-10	13.60	3.60	4.75	21.45	62.95	10.81	3332	2.78	3.77	19.59	11.79	8.66
-5	13.14	3.14	4.01	20.40	62.17	9.04	3982	3.19	4.18	18.38	11.68	8.62
0	12.71	2.71	3.41	19.20	61.46	7.61	4732	3.69	4.69	17.28	11.57	8.58
5	12.32	2.32	2.92	17.86	60.82	6.44	5593	4.31	5.31	16.29	11.47	8.55
10	11.95	1.95	2.51	16.35	60.25	5.47	6579	5.12	6.12	15.39	11.38	8.52
15	11.61	1.61	2.17	14.67	59.75	4.67	7704	6.21	7.21	14.57	11.28	8.49
20	11.29	1.29	1.89	12.79	59.32	4.01	8985	7.73	8.75	13.82	11.20	8.47

Tablo 6. Farklı buharlaşma sıcaklıklarına göre R-421A soğutucu akışkanının çevrim sonuçları

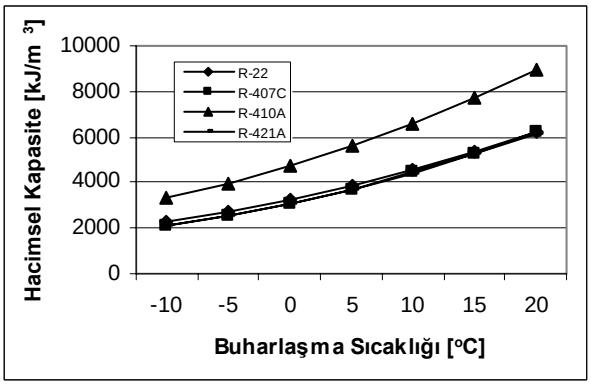
T_e [°C]	Q_c [kW]	Q_k [kW]	SI [--]	ΔP [bar]	$\dot{m}$ [g/s]	$\dot{V}_e$ [m³/h]	$\dot{Q}$ [kJ/m³]	STK [--]	ITK [--]	D_e [mm]	D_b [mm]	D_s [mm]
Q_e = 10 kW, T_c =45 °C, kızgınlık 7 °C, aşırı soğutma 5 °C, kompresör izentropik verimi %80												
-10	14.14	4.143	4.65	16.72	105.8	16.84	2137	2.41	3.41	-	-	-
-5	13.58	3.581	3.94	15.90	102.7	13.93	2584	2.79	3.79	-	-	-
0	13.07	3.070	3.36	14.96	99.88	11.55	3114	3.26	4.25	-	-	-
5	12.60	2.605	2.88	13.91	97.29	9.68	3719	3.84	4.83	-	-	-
10	12.17	2.179	2.48	12.73	94.95	8.13	4428	4.59	5.58	-	-	-
15	11.79	1.789	2.15	11.42	92.85	6.87	5240	5.59	6.58	-	-	-
20	11.43	1.430	1.87	9.95	90.98	5.83	6175	6.99	7.99	-	-	-



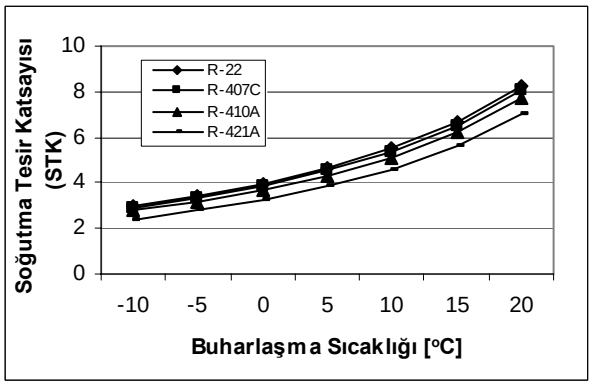
Şekil 7. Buharlaşma sıcaklığı sıkıştırma oranı değişimi.



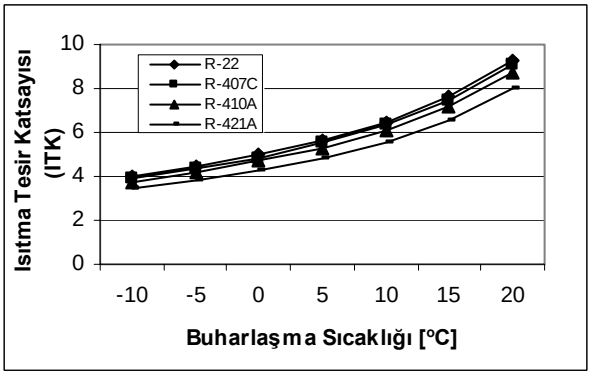
Şekil 8. Buharlaşma sıcaklığı kütlesel debi değişimi.



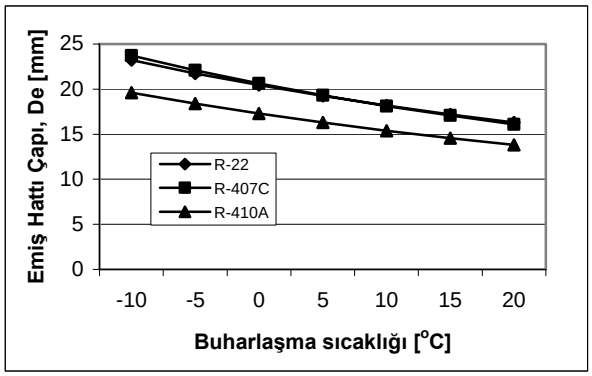
Şekil 9. Buharlaşma sıcaklığı ile hacimsel kapasite değişimi.



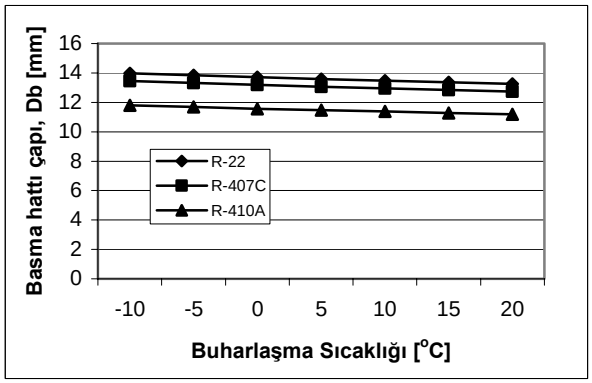
Şekil 10. Buharlaşma sıcaklığı ile soğutma tesir katsayısı değişimi.



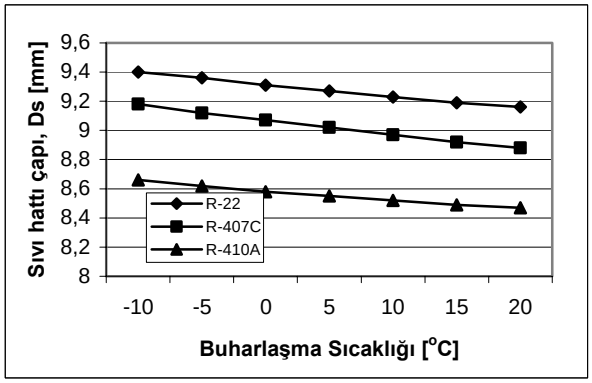
Şekil 11. Buharlaşma sıcaklığı ile ITK değişimi.



Şekil 12. Buharlaşma sıcaklığı ile emiş hattı boru çapı değişimi.



Şekil 13. Buharlaşma sıcaklığı ile basma hattı boru çapı değişimi.



Şekil 14. Buharlaşma sıcaklığı ile sıvı hattı boru çapı değişimi.

SONUÇLAR

Avrupa Topluluğu şartnamelerine göre HCFC türü soğutucu akışkanların geçen yıldan (2004) itibaren yeni cihazlarda kullanımı ve 2010 yılında ise servis amaçlı kullanımı yasaklanmıştır. Solkane 4.0 ve KleaCalc yazılımı ile yapılmış olup farklı buharlaşma sıcaklıklarında farklı karakteristikler elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı, bütün akışkanlar için geçerli olmak üzere evaporatör sıcaklığı arttığı zaman ters orantılı olarak azalmaktadır. Sıkıştırma oranın azalması kompresörde sıkıştırma amaçlı harcanan enerjinin azalmasına neden olmaktadır. Buharlaşma sıcaklığının artması sonucunda evaporatörden çekilen ısı miktarı azalmasına rağmen kompresörde sıkıştırma amaçlı harcanan enerji miktarı yüzde olarak daha fazla azaldığı için soğutma ve ısıtma tesir katsayıları artmaktadır. En yüksek sıkıştırma oranı katsayısı R-407C akışkanında oluşmasına rağmen soğutma tesir katsayısı değeri açısından R-22 akışkanından sonra ikinci sırada yer almıştır. Evaporatör buharlaşma sıcaklığı arttıkça akışkanların kütlesel debi değerleri azalmaktadır. Bu azalma R-22, R-407C ve R-410A akışkanlarında az olmasına rağmen en yüksek kütlesel debiye sahip olan akışkan R-421A bulunmuştur. Buharlaşma sıcaklığı arttıkça birim zamanda dolaştırılması gereken akışkan miktarının azatlığı bu oranın bütün akışkanlarda yaklaşık aynı değer bulunmuştur. Soğutma tesir katsayısı ve Isıtma tesir katsayısı değerleri buharlaşma sıcaklık değerlerine bağlı olarak artmış ve en verimli değerler R-22 ve R-407C akışkanlarında elde edilmiştir. Evaporatör sıcaklığının artırılması emiş hattı ve sıvı hattı boru çaplarının daha küçük seçilmesini gerektirmektedir. Basma hattı boru çapları evaporatör buharlaşma sıcaklığı değişiminden çok fazla etkilenmemektedir. En küçük boru çapları R-410A akışkanında elde edilmiştir. Diğer akışkanlarda boru çapları için yaklaşık aynı değerler elde edilmiştir. İklimlendirme uygulamaları için alternatif akışkanlar olarak azeotrop R-407C, R-421A ve zeotrop özelliklere daha yakın olan R-410A akışkanları öne çıkmıştır. R-22 ile R-407C, ve R-421A arasında performanslar yönünden büyük paralellikler mevcuttur ve R-407C'de mineral yağın yaklaşık %95'ini almak ve filtreyi değiştirmek suretiyle dönüşüm mümkün iken R-417A ve R-421A akışkanlarında sentetik yağ dönüşüm zorunluluğu yoktur. R-410A akışkanının öne çıkan özellikleri %60 daha yüksek sistem basınçlarına sahip olması ve %20 oranda daha düşük boru çapları gerektirmesidir. Ancak hiçbir surette R-22 ile dönüşüm yapılmamalı, özel tasarlanmış yeni sistemlerde kullanılmalıdır.

Sembol Listesi

D_b	:	Basma hattı boru çapı, [mm]
D_e	:	Emiş hattı boru çapı, [mm]
D_s	:	Sıvı hattı boru çapı, [mm]
ITK	:	Isıtma tesir katsayısı, [---]
STK	:	Soğutma tesir katsayısı, [---]
SI	:	Sıkıştırma oranı, [---]
P_c	:	Yoğunlaşma basıncı, [bar]
P_e	:	Buharlaşma basıncı, [bar]
T_c	:	Yoğunlaşma sıcaklığı, [^{o}C]
T_e	:	Buharlaşma sıcaklığı, [^{o}C]
Q_e	:	Evaporatör kapasitesi, [kW]
Q_c	:	Kondenser kapasitesi, [kW]
Q_k	:	Kompresör kapasitesi, [kW]
$\dot{m}$	:	Kütlesel debi, [g/s]
ΔP	:	Basınç düşümü, [bar]
$\dot{V}_e$	:	Emiş hattı için hacimsel debi, [m^3/h]
$\dot{Q}$	:	Hacimsel kapasite, [kJ/m^3]

KAYNAKLAR

Anonim. 2004. Copeland Application Engineering

Anonim. 2004. İnternet-DuPont Refrigerants Products

Anonim. 2002. KLEA Calc Version 5.0

Anonim. 1999. Refcycle Software Professional Inc.

Anonim. 2005. www.dupont.com.

Anonim. 2005. www.iciklea.com.

Anonim. 2005. www.rmsgas.com.

Anonim. 2005.www.trane.com.

Bulgurcu. H. 2000. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri. Seminer Notu

Gushee. David. E. 1994. Montreal Protocol Negotiations: Should the HCFC Phaseout Schedule Be Accelerated in 1995. (NCSE report) October 12

İsa. K., İslamoğlu Y. 2003. R-22 Alternatifi Soğutucu Akışkanların Değerlendirilmesi. Termodinamik Dergisi.

Onat. A. İmal. M. İnan. A.T. 2004. Soğutucu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Alternatif Soğutucu Akışkanlar. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi 7(1).