



SOĞUTUCU AKIŞKAN KARIŞIMLARININ BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİNDE TERMODİNAMİK ANALİZİ

Erol ARCAKLIOĞLU, Ali ERİŞEN

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Yahşıhan/Kırıkkale

Geliş Tarihi : 21.11.2002

ÖZET

Bu çalışmada, emme/sıvı hattı ısı değiştiricili buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi için, farklı soğutucu akışkanlar ve karışımları kullanılarak soğutma tesir katsayısı ve hacimsel soğutma kapasitesi değerleri hesaplanmıştır. Şu anda mevcut sistemlerde yaygın olarak kullanılan CFC grubundan R12, R22 ve R502, HFC grubundan R134a, R152a, R125, R143a ve R32, HC grubundan R290 ve R600a soğutucu akışkanları ve bunların ikili, üçlü ve dörtlü olarak farklı oranlarda karışımları çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. 1987'de gerçekleştirilen Montreal Protokolü gereği global kirlenmeyi azaltmak amacıyla uluslararası düzeyde R12, R22 ve R502 yerine HFC ve HC grubu soğutucu akışkan karışımlarının kullanılması düşünülmektedir. Bu amaçla çalışmanın kapsamında yeni karışımların CFC akışkanlarıyla performans açısından karşılaştırılması da yer almıştır. Performans değerlerini karşılaştırma amacıyla, sabit sıcaklığa dayalı yöntem kullanılmıştır. Performans değerlerini hesaplamada kullanılan soğutucu akışkanlara ait termodinamik özellikler, REFPROP 6.01 yazılımından alınmıştır. Bu amaçla, bu yazılımın alt programları kullanılarak FORTRAN dilinde yeni yazılımlar hazırlanmış ve ilgili hesaplamalar, bu yazılım aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Soğutma sistemi, Soğutucu akışkan karışımı, Soğutma tesir katsayısı

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF REFRIGERANT MIXTURES IN VAPOR COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM

ABSTRACT

In this study, performance analysis of vapor-compression refrigeration system with suction/liquid line heat exchanger has been realized with the calculations of the coefficient of performance, and volumetric refrigeration capacity values using different refrigerant mixtures. Refrigerants R12, R22, and R502 of CFCs, R134a, R152a, R125, R143a, and R32 of HFCs, R600a, and R290 of HCs, and their binary, ternary, and mixtures of different mass ratios have been used as working fluids. In order to decrease global pollution due to CFCs in accordance with Montreal Protocol in 1987, it is considered to use the refrigerant mixtures of HFCs, and HCs instead of CFCs (R12, R22, and R502). For this reason, the performance comparison of the new mixtures with CFC refrigerants has been done in the frame of this study. To compare the performance values, constant temperature method has been used. Thermodynamic properties of refrigerants that were used in the performance calculations have been taken from REFPROP 6.01. For this aim, new software has written in FORTRAN programing language using sub-programs of REFPROP, and all related calculations of performance have been achieved by this software.

Key Words : Refrigeration system, Refrigerant mixture, COP

1. GİRİŞ

Soğutma makinasının amacı, bir ortamdan ısı çekerek çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta ortamı tutmaktır. Soğutma makinalarında soğutucu akışkan seçimi uygulamaya göre değişir. Freonlar (R12, R22, R502 gibi) piyasada kullanılan soğutucu akışkanların en büyük bölümünü oluşturur.

Ozon krizi soğutma endüstrisinde soğutucu akışkanların dikkatle gözden geçirilmesine neden olmuş ve yeni arayışlar gerektirmiştir. Çünkü araştırmalara göre ozon tabakasının incelmesinin en önemli sebebi atmosferdeki klor ve brom miktarlarının artmasıdır; bu zararlı maddeleri ihtiva eden CFC'ler atmosferde sera etkisine ve yeryüzünün ısınmasına katkıda bulunmaktadır. Bunun sonucu 1987'de yapılan Montreol Protokolü ve Kyoto Protokolü gereği CFC'lerin üretimi tamamiyle durdurulma aşamasına gelmiştir.

Soğutucu akışkan olarak soğutucu akışkan karışımları üzerine son yıllarda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu durum CFC'lerin üretiminin sınırlandırılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Çünkü mevcut saf soğutucu akışkanların doğrudan yerini tutacak başka saf soğutucu akışkanlar bulunamamıştır. Karışımlarla ilgili çalışmalara CFC'lerin ikili karışımları ile başlanmıştır. Bunların saf akışkan olarak özellikleri bilindiğinden, karışımlarda nasıl davranacakları incelenmiştir. Daha sonra, karışımlarda kullanılacak soğutucu akışkanlar çevresel olarak zararlı olmayan ve diğer temel özellikleri sağlayan akışkanlardan seçilmeye başlanmıştır. Bunlar R32, R125, R134a, R143a, R152a gibi HFC'lerle R290, R600a gibi hidrokarbon (HC) akışkanlardır. Bunlardan R290 (Propan) ve R600a (İzobütan) yanıcılık özellikleri nedeniyle karışımlarda düşük yüzdelerde tutulmaktadır.

Karışma katılabilecek akışkan sayısının fazlalığı ve karışım oranlarının değişebilirliği dikkate alınırsa bütün alternatifler için soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesinin güçlüğü ortaya çıkar (Barolo et al., 1995). Bundan dolayı soğutucu akışkan karışımlarının termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde hal denklemlerini kullanma zorunluluğu doğmuştur.

Helmholtz enerjisi ile basınç arasında temel bir ilişki vardır. Basınç ve Helmholtz enerjisi biliniyorsa herhangi bir hal denklemleri entalpi ve entropi gibi diğer termodinamik özellikler hesaplanabilir (Reid et al., 1988). R12'nin yerine kullanılmak üzere propan/izobütan karışımı önerildiği bir çalışmada

(Richardson and Butterworth, 1995) özellikle % 50'ye yakın karışımlarda R12'den daha iyi performans değerleri elde edilmiştir.

Bir başka makale (Mulroy et al., 1994). R23/R142b ve R23/R22/R142b karışımlarına ait performans değerlerinin deneysel incelenmesine yöneliktir. Bir başka çalışma (Didion and Bivens, 1990) CFC'lere alternatif olmak üzere uygun özelliklere sahip soğutucu akışkanların teminine yöneliktir. R22'nin yerine kullanılmak üzere R32/R134a ve R32/R125/R134a karışımları üzerine yapılan çalışmada (Stegou-Sagia and Damanakis, 2000) üçlü karışımın entalpi ve entropi değerlerini hesaplamak için Peng-Rebinson hal denkleminde bağıntılar türetilmiştir. R11/R22 ve R12/R22 karışımlarının ısı pompasında kullanıldığı bir çalışma (Çomaklı ve ark., 1999) 1. ve 2. yasa analizine yöneliktir. Saf ve ikili hidrokarbon karışımların kullanıldığı bir çalışmada (Chang et al., 2000), ısı pompasının performansı deneysel olarak belirlenmiştir. Kısa ve uzun vadede R12 ve R502'nin yerine geçmek üzere R22 ve bazı hidrokarbon karışımları üzerine çalışılmıştır (Camporese et al., 1997).

İkili soğutucu akışkan karışımlarının kullanıldığı klima sistemleri için bir simülasyon programının geliştirildiği çalışmada (Haselden and Chen, 1994) entalpi ve entropi değerleri için RK hal denklemleri kullanılmıştır. Başka bir çalışmada (Aprea and Mastrullo, 1996), R502'ye alternatif soğutucu akışkanların ve karışımlarının soğutma sistemlerindeki davranış ve performansları deneysel olarak belirlenmiştir. Helmholtz enerji modeline dayalı olarak soğutucu akışkan karışımlarının termodinamik özelliklerinin bulunduğu bir çalışmada (Lemmon and Jacobsen, 1999) R32/R125, R32/R134a, R125/R134a, R32/R125/R134a, R134a/R152a karışımları kullanılmıştır. Saf ve karışım halindeki soğutucu akışkanların kullanıldığı bir evaporatörlü soğutma sisteminin simülasyonunun yapıldığı bir çalışmada (Jung and Rademacher, 1991) kararlı haldeki sistemin performans değerini bulmak için Newton-Raphson ve Ardışık Yerleştirmeler Metodu kullanılmış ve CSD hal denkleminde faydalanılmıştır. İki farklı sıcaklıkta çalışan iki buharlaştırıcı soğutma sisteminde soğutucu akışkan karışımlarının optimum seçimini hedefleyen teorik bir çalışmada (Churi and Achenie, 1997) termodinamik değerler için REFPROP programı kullanılmıştır. En uygun karışım olarak R14-R41 karışımı belirlenmiştir.

Bu çalışmada ise R32, R125, R134a, R143a, R152a, R290 ve R600a saf soğutucu akışkanlarıyla bunların ikili, üçlü ve dörtlü karışımları, ayrıca kaynaklarda bulunan R12, R22 ve R502 eşdeğeri karışımlara ait termodinamik ve performans değerleri sayısal

hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir. Hesaplanan değerler şunlardır: Termodinamiğin 1. Yasasına dayalı Soğutma Tesir Katsayıları (STK), kompresör yer değiştirme hacminin bir ölçüsü olan Hacimsel Soğutma Kapasiteleri (HSK). Kaynama noktası sıcaklıkları (KNS) da önemli bir parametre olduğu için tablolarda gösterilmiştir.

Bu hesaplamalar sabit sıcaklık esasına dayalı olarak emme/sıvı hattı ısı değiştiricili soğutma sistemi için gerçekleştirilmiştir. Termodinamik değerler REFPROP 6.01 programıyla hesaplanabilmektedir. Doyma bölgesi, kızgın buhar bölgesi ve aşırı soğutulmuş sıvı bölgesi için ve bilinen özelliklere göre hesaplanacak termodinamik değerler REFPROP'ta alt programlarla hesaplanabilmektedir. Noktasal olarak değer alınabilen programda bir soğutma sisteminin, basit olarak performans değerleri bulunamamakta ve doğrudan simülasyonu yapılamamaktadır. Bu amaçla ilgili alt programların kullanıldığı özel amaçlı programların yazılması gereklidir.

2. SOĞUTUCU AKIŞKAN KARIŞIMLARI

Soğutucu akışkan karışımları çözeltilerdir. Yani mekanik olarak ayrılamayacak bileşenlere sahiptir. Zeotropik karışımlar için en önemli konu faz değişimi esnasında sıcaklığın değişmesidir. Çünkü buharlaşan sıvının bileşimi ve böylece kaynama noktası sürekli olarak değişmektedir. Sistemin ısı değiştiricisinde uygun donanım değişikliği yapılsa bu özellik sistemin veriminin artmasına neden olur. Diğer önemli bir konu ise faz değişimi esnasında sıvı ve buhar yüzdelерinin farklı olmasıdır (Didion and Bivens, 1990).

Soğutucu akışkan karışımları zeotropik ve azeotropik olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Zeotropik karışımda sabit basınçta faz değişimi esnasında sıcaklık değişmektedir. Dolayısıyla yoğuşma sıcaklığı hem basıncın hem de karışım oranının fonksiyonu olmaktadır. Karışımdaki bu sıcaklık aralığı saf bileşenlerin sahip olduğu farklı buharlaşma sıcaklıkları nedeniyle (Hogberg and Berntsson, 1994). Karışımın sadece belli bir oranında gerçekleşen ve o noktada aynı buhar ve sıvı bileşimine sahip olan azeotropik karışımlarda ise bu sıcaklık aralığı oluşmaz, yani karışım, saf soğutucu akışkan gibi davranır (Rohlin, 1996).

Mevcut soğutucu akışkanlarla alternatiflerini performanslarıyla bağlantılı olarak karşılaştırmak için bir referans belirleme zorunluluğu vardır. Bu amaçla farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan

birincisi buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarının eşit alınmasıyla yapılan karşılaştırmadır (McLinden and Radermacher, 1987). Bu karşılaştırma kendi içinde farklı bölümlere ayrılmaktadır (Hogberg et al., 1993). Sıcaklıkların eşit alınması önemli bir kıstastır. Çünkü her bir saf akışkan belli sıcaklıklara kadar soğutma yapabilmekte ve istenen sıcaklıklar için uygun soğutucu akışkan seçilmektedir. İkinci karşılaştırma yöntemi ise soğutma yükünü sabit olarak yapılmaktadır (Jung et al., 1999).

Alternatif karışımlar belirlenirken dikkat edilecek husus, ilgili karışımın özelliklerinin, yerine geçeceği akışkanın özelliklerine yakın olmasıdır. Bu durum özellikle mevcut sistemlerde çok önemlidir. Bugün karışımlarda esas olarak beş farklı saf bileşen kullanılmaktadır. Bunlar HFC akışkanları olan R32, R125, R134a, R143a ve R152a'dır. Sıfır ozon tüketim potansiyeline sahip 4 tanesi (fakat global zarara etkisi var) de dahil hepsi yapay bileşendir. Bazıları az bir miktar da propan ve izobütan ihtiva eder (Rohlin, 1996).

Soğutucu akışkanlar için KNS'nin yüksekliği akışkanı daha az uçucu kılan bir özelliktir. HSK, akışkanın birim hacminin soğutma kapasitesini gösterirken aynı zamanda kompresör yer değiştirme hacmini de ifade eder. Herhangi bir akışkan için uçuculuğun yüksek olması daha büyük HSK beraberinde getirir. Herhangi bir soğutma sisteminde çevrimdeki akışkanın yerine başka bir akışkanı, başkaca bir sistem değişikliği yapmaksızın (yani soğutma sisteminin kompresörünün aynı kalması gerekliliği) kullanabilmek ancak her iki akışkan için de HSK'ların birbirine çok yakın olması ile mümkün olabilir. Ayrıca ilgili akışkanların sıcaklığa bağlı kaynama basıncı eğrilerinin yakın olması istenir. Alternatif karışımlardan bazıları doğrudan mevcut sistemlerde kullanılabilecekken bazıları da yeniden tasarlanacak sistemlerde kullanılabilecek durumdadır. Bunu da daha önce açıklandığı gibi HSK değeri tayin etmektedir. Bu durum, bir saf akışkanın yerine kendisinin uçuculuğundan daha fazla ve daha az olanları karıştırmakla gerçekleştirilebilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada esas alınan saf akışkanlar uygulamada yaygın olarak kullanılan R12, R22 ve R502 (azeotrop bir karışımdır, saf akışkan grubuna dahil edilmiştir) ile çevresel açıdan problem doğurmayan R32, R125, R134a, R143a, R152a, R290 ve R600a akışkanlarıdır. CFC grubu dışındaki diğer saf akışkanların ikili, üçlü ve dörtlü olarak farklı oranlarda karışımı, değişik araştırma merkezlerinde

R12, R22 ve R502 için alternatif karışım olarak teklif edilmektedir. Bu alternatif karışımlar da çalışma konusu yapılmıştır. Parantez içindeki değerler kütle yüzdeleri göstermek üzere ve azalan KNS sırası dikkate alınarak alternatif karışımlar hesaplanan değerlerle birlikte tablolarda gösterilmiştir. Yukarıda belirtilen saf akışkanlar ve alternatif karışımlara ilaveten, alternatif karışımlar esas alınarak bunların farklı oranlarda karışımları da çalışma konusu yapılmıştır. İkili karışımlar için birinci bileşenin oranı 10'ar artırılarak yeni karışım oranları belirlenmiştir Üçlü karışımlar içinde her bir üçlü karışımdan en düşük orana sahip akışkanın oranı 3 farklı değerde sabit tutulup diğer ikisinin oranı 10'ar artırılarak veya azaltılarak yeni karışımlar belirlenmiştir.

Bu çalışmada ‘buharlaştırıcı ve yoğuşurucu çıkış sıcaklıklarının eşit, dolayısıyla sabit alınması’ esasına dayalı hesaplamalar ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Buharlaştırıcı ve yoğuşurucu, hava soğutmalı ısı değiştiricisidir ve hava sıcaklıklarının değişmediği kabul edilmiştir. Buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı olarak -10 ve 0 °C, yoğuşurucu çıkış sıcaklığı olarak da 35 °C alınmıştır. Hesaplamalarda basınç düşümü ve boru bağlantılarındaki ısı kaybı ihmal edilmiştir. Kompresörde izentropik sıkıştırma, genleşme valfinde ise izentalpik genleşme dikkate alınmıştır. Isı değiştiricinin, buharlaştırmacıdan doymuş buhar olarak çıkan soğutucu akışkanı aşırı kızdırma ile 32 °C'ye çıkardığı düşünülmüştür. Hacimsel soğutma kapasitesi, kompresör girişinde soğutucu akışkan karışımının özgül hacminin soğutma yüküne oranıdır. Soğutma tesir katsayısı, soğutma yükünün kompresör işine oranıdır.

4. SONUÇ

Çalışılan bütün karışımlara ait değerler tablo olarak verilmiştir. Fakat şekil fazlalığı dolayısıyla eşdeğer karışımlarla birlikte ikili ve üçlü karışımlardan seçme yapılarak sadece STK değerleri grafik halinde gösterilmiştir. Eşdeğer karışımlara ait şekillerdeki numaralandırma ilgili tabloda verilmiştir.

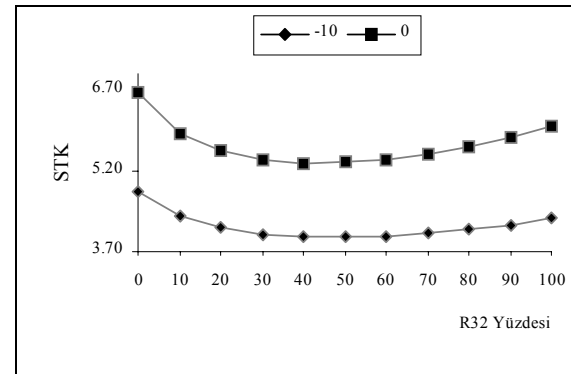
Bütün akışkanlar ve karışımları dikkate alınırsa STK değerleri 3.7 - 6.7 arasında değişmekte ve beklendiği gibi buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça STK değerleri de artmaktadır. R32/R134a karışımında R32 oranı arttıkça KNS düşmekte ve beklendiği şekilde HSK artmaktadır. En yüksek STK değeri 10/90 oranındaki karışımda elde edilmektedir (Tablo 1, Şekil 1).

R290/R134a karışımı azeotrop bir karışım olduğu için 10/90 oranındaki karışımda, bileşenlerinden daha düşük KNS değeri elde edilmektedir. Azeotrop

noktaya kadar HSK değerleri artmakta daha sonra ise azalmaktadır. En yüksek STK değeri 40/60 oranında elde edilmektedir (Tablo 2). R600a/R134a karışımı da azeotrop bir karışımdır ve azeotrop noktaya kadar KNS değeri, bileşenlerin KNS değerinin altına düşmektedir. En yüksek STK değerine 20/80 oranındaki karışımda ulaşılmaktadır. KNS ile HSK değişimi uyumlu gözükmektedir. (Tablo 3, Şekil 2). R152a/R134a karışımında ise beklendiği gibi R152a'nın oranı arttıkça KNS değeri artmakta HSK ise beklendiği gibi az da olsa azalmaktadır. STK ise hemen hemen aynı kalmaktadır (Tablo 4).

Tablo 1. R32/R134a Karışımına Ait Değerler

R32/R134a Karışımı	KNS (°C)	T_b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
0/100	-26.07	-10	4.813	1505.2
		0	6.636	2219.2
10/90	-33.75	-10	4.363	1667.2
		0	5.904	2451.2
20/80	-38.53	-10	4.136	1840.7
		0	5.561	2698.4
30/70	-41.83	-10	4.019	2028.2
		0	5.4	2963.4
40/60	-44.26	-10	3.968	2229.6
		0	5.343	3245.6
50/50	-46.15	-10	3.961	2445
		0	5.353	3544.5
60/40	-47.67	-10	3.986	2674.1
		0	5.415	3859.3
70/30	-48.92	-10	4.037	2916.7
		0	5.516	4189.3
80/20	-49.97	-10	4.11	3172.6
		0	5.653	4534
90/10	-50.87	-10	4.203	3442
		0	5.822	4893.5
100/0	-51.65	-10	4.313	3722.5
		0	6.021	5264.7



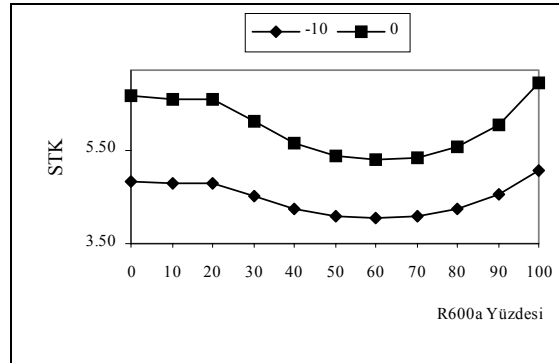
Şekil 1. R32/R134a karışımının STK değerlerinin kütle oranıyla değişimi

Tablo 2. R290/R134a Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
0/100	-26.07	-10	4.813	1505.2
		0	6.636	2219.2
10/90	-51.39	-10	3.759	1660.4
		0	4.99	2441.9
20/80	-49.76	-10	3.833	1918.3
		0	5.19	2806.2
30/70	-48.86	-10	4.209	2265.8
		0	5.848	3270.5
40/60	-48.6	-10	4.696	2614.1
		0	6.468	3612.4
50/50	-48.6	-10	4.643	2567.3
		0	6.354	3534.7
60/40	-48.54	-10	4.53	2451.5
		0	6.17	3387.2
70/30	-48.16	-10	4.483	2352.4
		0	6.088	3258
80/20	-47.21	-10	4.507	2274.5
		0	6.122	3155.2
90/10	-45.34	-10	4.604	2214.5
		0	6.277	3075.1
100/0	-42.09	-10	4.778	2168.1
		0	6.566	3013

Tablo 3. R600a/R134a Karışımına Ait Değerler

Karışım oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
0/100	-26.07	-10	4.813	1505.2
		0	6.636	2219.2
10/90	-29.1	-10	4.767	1584.4
		0	6.571	2317
20/80	-29.45	-10	4.794	1594
		0	6.576	2304.8
30/70	-29.29	-10	4.522	1434.7
		0	6.112	2078
40/60	-28.93	-10	4.237	1253.7
		0	5.636	1823.6
50/50	-28.3	-10	4.081	1120.3
		0	5.367	1632.7
60/40	-27.24	-10	4.036	1024.8
		0	5.278	1494.9
70/30	-25.5	-10	4.088	954.87
		0	5.343	1393.5
80/20	-22.73	-10	4.242	902.28
		0	5.576	1317
90/10	-18.39	-10	4.533	861.72
		0	6.041	1258
100/0	-11.61	-10	5.053	829.76
		0	6.927	1211.4



Şekil 2. R600a/R134a karışımının STK değerlerinin kütle oranıyla değişimi

R125/R143a karışımında ise bileşenlerin KNS değerleri yakın olduğu için 40/60 oranına kadar azeotropiklik söz konusudur. STK değerleri de hemen hemen aynı kalmakla birlikte en yüksek değerine 10/90 oranındaki karışımda ulaşmaktadır (Tablo 5). R32/R125 karışımında 60/40 oranından sonra azeotropiklik gözlenmekte ve bu orandan sonra KNS değeri azalmaktadır. R32 oranının artması ile HSK artmakta STK ise azalmaktadır (Tablo 6). R125/R143a/R134a üçlü karışımında ise sabit R134a oranı için % 35'lik R125 oranına kadar KNS yükselmekte daha sonra ise düşmektedir. STK ve HSK ise, R125 ve R134a oranı düştükçe artmaktadır (Tablo 7). R125/R143a/R290 karışımında R125 ve R290'nin düşük oranlarında KNS ve STK yükselmektedir (Tablo 8).

Tablo 4. R152a/R134a Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
0/100	-26.07	-10	4.813	1505.2
		0	6.636	2219.2
10/90	-25.64	-10	4.532	2704.8
		0	6.237	3792.8
20/80	-25.27	-10	4.53	2707
		0	6.234	3798.1
30/70	-24.97	-10	4.528	2711.1
		0	6.229	3806
40/60	-24.72	-10	4.524	2717.4
		0	6.222	3817.1
50/50	-24.52	-10	4.518	2726.5
		0	6.213	3831.9
60/40	-24.36	-10	4.51	2739
		0	6.2	3851.4
70/30	-24.23	-10	4.501	2755.7
		0	6.186	3876.6
80/20	-24.14	-10	4.489	2777.9
		0	6.169	3909.3
90/10	-24.07	-10	4.477	2807.3
		0	6.151	3951.9
100/0	-24.02	-10	4.817	1385.3
		0	6.658	2033.4

R32/R125/R143a karışımında R32 oranı azaldıkça ve R125 oranı arttıkça KNS değeri genelde artmaktadır. STK değerleri ise hemen hemen aynı kalmakta ve en yüksek STK değerine 10/70/20 oranındaki karışımda ulaşmaktadır. Sabit R125 oranı için R32 oranı arttıkça ve sabit R32 oranı için R125 oranı arttıkça HSK değerleri artmaktadır. (Tablo 9).

Tablo 5. R125/R143a Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
0/100	-47.22	-10	4.53	2701.8
		0	6.235	3786.9
10/90	-47.15	-10	4.532	2704.8
		0	6.237	3792.8
20/80	-47.1	-10	4.53	2707
		0	6.234	3798.1
30/70	-47.07	-10	4.528	2711.1
		0	6.229	3806
40/60	-47.07	-10	4.524	2717.4
		0	6.222	3817.1
50/50	-47.11	-10	4.518	2726.5
		0	6.213	3831.9
60/40	-47.19	-10	4.51	2739
		0	6.2	3851.4
70/30	-47.32	-10	4.501	2755.7
		0	6.186	3876.6
80/20	-47.52	-10	4.489	2777.9
		0	6.169	3909.3
90/10	-47.79	-10	4.477	2807.3
		0	6.151	3951.9
100/0	-48.14	-10	4.462	2844
		0	6.131	4004.8

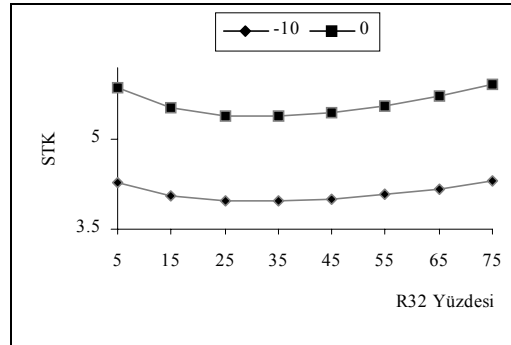
Tablo 6. R32/R125 Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
0/100	-48.14	-10	4.462	2844
		0	6.131	4004.8
10/90	-49.63	-10	4.408	3052.9
		0	6.049	4300.9
20/80	-50.51	-10	4.391	3219.6
		0	6.034	4537.6
30/70	-51.05	-10	4.386	3351.8
		0	6.041	4725.4
40/60	-51.39	-10	4.383	3454.8
		0	6.051	4872.3
50/50	-51.6	-10	4.378	3534.2
		0	6.057	4986.1
60/40	-51.71	-10	4.369	3595.1
		0	6.057	5074.1
70/30	-51.76	-10	4.358	3641.6
		0	6.053	5142.1
80/20	-51.76	-10	4.345	3677.2
		0	6.045	5194.9
90/10	-51.73	-10	4.33	3704.5
		0	6.035	5236
100/0	-51.65	-10	4.313	3722.5
		0	6.021	5264.7

R32/R125/R134a karışımında Sabit R32 oranında R125 oranı arttıkça ve sabit R125 oranında R32 oranı arttıkça KNS değerleri düşmekte ve beklendiği şekilde HSK artmaktadır. Sabit R32 oranı için R125 oranı azaldıkça STK değerleri artmakta, 5/5/90 oranında en yüksek STK değerlerine ulaşılmaktadır. (Tablo 10, Şekil 3).

Tablo 7. R125/R143a/R134a Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
15/81/4	-46.63	-10	4.491	2626.2
		0	6.171	3696.8
25/71/4	-46.58	-10	4.488	2627.9
		0	6.166	3701.7
35/61/4	-46.56	-10	4.484	2631.6
		0	6.159	3709.2
45/51/4	-46.57	-10	4.478	2637.5
		0	6.149	3719.8
55/41/4	-46.62	-10	4.47	2646.1
		0	6.135	3734.4
65/31/4	-46.73	-10	4.459	2658.2
		0	6.118	3753.8
75/21/4	-46.9	-10	4.446	2674.7
		0	6.098	3779.3
15/75/10	-45.87	-10	4.439	2513.4
		0	6.086	3556
25/65/10	-45.8	-10	4.436	2513.2
		0	6.08	3558.3
35/55/10	-45.76	-10	4.43	2514.6
		0	6.07	3563
45/45/10	-45.76	-10	4.422	2517.9
		0	6.057	3570.5
55/35/10	-45.81	-10	4.412	2523.6
		0	6.04	3581.3
65/25/10	-45.92	-10	4.398	2532.2
		0	6.017	3596.5
75/15/10	-46.1	-10	4.38	2544.6
		0	5.99	3617.1
15/70/15	-45.2	-10	4.403	2425.2
		0	6.027	3444.7
25/60/15	-45.11	-10	4.399	2423.4
		0	6.019	3445
35/50/15	-45.06	-10	4.393	2423.1
		0	6.008	3447.3
45/40/15	-45.06	-10	4.383	2424.3
		0	5.992	3452.2
55/30/15	-45.1	-10	4.37	2427.6
		0	5.971	3460
65/20/15	-45.22	-10	4.353	2433.3
		0	5.943	3471.6
75/10/15	-45.41	-10	4.332	2442.4
		0	5.91	3488.1



Şekil 3. R32/R125/R134a karışımında %10'luk sabit R125 oranı için STK değerlerinin kütle oranıyla değişimi

Tablo 8. R125/R143a/R290 Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
10/85/5	-48.87	-10	4.486	2766.8
		0	6.167	3869
20/75/5	-49.16	-10	4.468	2777.6
		0	6.139	3885.9
30/65/5	-49.54	-10	4.446	2790.7
		0	6.105	3905.9
40/55/5	-50	-10	4.42	2806.4
		0	6.064	3929.6
50/45/5	-50.57	-10	4.39	2825.4
		0	6.016	3957.9
60/35/5	-51.25	-10	4.354	2848.6
		0	5.962	3992
70/25/5	-52.07	-10	4.314	2877
		0	5.901	4033.4
10/80/10	-49.73	-10	4.485	2816.5
		0	6.166	3927
20/70/10	-50.18	-10	4.462	2837.2
		0	6.131	3956.4
30/60/10	-50.71	-10	4.435	2861.1
		0	6.089	3990.3
40/50/10	-51.33	-10	4.404	2889.1
		0	6.043	4029.7
50/40/10	-52.05	-10	4.369	2922
		0	5.991	4076
60/30/10	-52.87	-10	4.332	2961.3
		0	5.936	4131
70/20/10	-53.79	-10	4.291	3008.9
		0	5.879	4197.3
10/75/15	-50.17	-10	4.496	2846.8
		0	6.18	3958
20/65/15	-50.71	-10	4.472	2876.2
		0	6.143	3997.8
30/55/15	-51.34	-10	4.444	2910.3
		0	6.101	4043.9
40/45/15	-52.04	-10	4.415	2950.3
		0	6.057	4097.8
50/35/15	-52.82	-10	4.385	2997.9
		0	6.012	4161.7
60/25/15	-53.68	-10	4.355	3055.6
		0	5.97	4238.6
70/15/15	-54.6	-10	4.328	3127
		0	5.935	4333.2

R125/R290/R134a karışımında R290 ve R125 oranlarının artması ile KNS değerleri azalmaktadır. Sabit R125 oranında R290 oranı arttıkça STK değerleri azalmaktadır. Sabit R290 oranında ise R125 oranının değişmesiyle düzenli bir değişim gözlenmemekte, 70/15/15 oranında en yüksek STK değeri elde edilmektedir. Sabit R125 oranında R290 oranı arttıkça ve sabit R290 oranında R125 oranı arttıkça HSK değişimi artmaktadır (Tablo 11). R32/R125/R290/R134a 4'lü karışımında ise R290 oranı % 5'de sabit tutulmuş, R290'la birlikte ayrı ayrı diğer bir bileşenin oranı sabit tutularak geri kalan diğer iki bileşenin oranı değiştirilmiştir. 20/65/5/10 oranında en yüksek STK değeri elde edilmiştir. KNS ile HSK değişiminde beklenen uyum

gözükmemektedir. Yani KNS'nin azalması ile HSK artmaktadır (Tablo 12).

R12 ve alternatif karışımları içinde en yüksek STK değeri R12'ye aittir. STK açısından R12'ye en yakın karışım R152a/R134a karışımıdır. HSK sıralaması KNS ile tam uyumlu değildir. Mevcut sistemlerde R12'nin yerine kullanılabilecek karışımlar düşünüldüğünde ve STK da dikkate alındığında R600a/R134a karışımı avantajlı olmaktadır (Tablo 13, Şekil 4). R22 ve alternatif karışımları içinde en yüksek STK değeri R290/R134a (46/54) karışımına aittir. Bunu R22 takip etmektedir. HSK da dikkate alındığında yine R290/R134a karışımı avantajlıdır (Tablo 14, Şekil 5).

Tablo 9. R32/R125/R143a Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
10/10/80	-49.52	-10	4.402	2886.2
		0	6.033	4044.8
10/20/70	-49.48	-10	4.401	2894.4
		0	6.032	4058.9
10/30/60	-49.44	-10	4.401	2904.9
		0	6.031	4076.5
10/40/50	-49.42	-10	4.4	2918.3
		0	6.031	4098.1
10/50/40	-49.41	-10	4.4	2935.2
		0	6.031	4124.4
10/60/30	-49.42	-10	4.401	2956
		0	6.032	4156.4
10/70/20	-49.46	-10	4.402	2981.8
		0	6.035	4195.4
20/10/70	-50.79	-10	4.359	3060.8
		0	5.977	4287.6
20/20/60	-50.73	-10	4.361	3073.5
		0	5.98	4308.8
20/30/50	-50.68	-10	4.363	3088.8
		0	5.985	4333.7
20/40/40	-50.63	-10	4.367	3107
		0	5.991	4362.9
20/50/30	-50.58	-10	4.371	3128.6
		0	5.998	4397
20/60/20	-50.54	-10	4.376	3154.2
		0	6.008	4436.8
20/70/10	-50.52	-10	4.383	3184.3
		0	6.02	4483.3
30/10/60	-51.51	-10	4.352	3219
		0	5.981	4509
30/20/50	-51.43	-10	4.356	3234.2
		0	5.988	4534.7
30/30/40	-51.36	-10	4.36	3251.9
		0	5.995	4563.9
30/40/30	-51.28	-10	4.365	3272.2
		0	6.004	4597.1
30/50/20	-51.2	-10	4.372	3295.4
		0	6.015	4634.7
30/60/10	-51.13	-10	4.378	3321.8
		0	6.027	4677.2

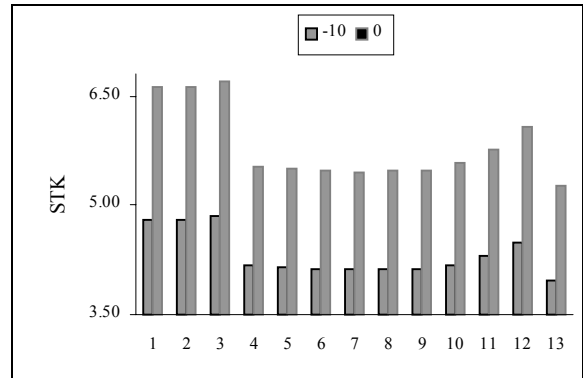
Tablo 10. R32/R125/R134a Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
5/5/90	-31.78	-10	4.482	1616.2
		0	6.091	2377.6
15/5/80	-37.44	-10	4.192	1790.2
		0	5.643	2626
25/5/70	-41.18	-10	4.046	1979
		0	5.435	2893.4
35/5/60	-43.87	-10	3.98	2182.8
		0	5.353	3179.4
45/5/50	-45.91	-10	3.965	2401.6
		0	5.352	3483.5
55/5/40	-47.53	-10	3.986	2635.2
		0	5.408	3805
65/5/30	-48.85	-10	4.037	2883.4
		0	5.508	4143
75/5/20	-49.95	-10	4.111	3146.1
		0	5.647	4497
5/10/85	-33.08	-10	4.423	1649.1
		0	5.997	2423.9
15/10/75	-38.45	-10	4.159	1831
		0	5.593	2683.3
25/10/65	-42.01	-10	4.03	2028.9
		0	5.412	2962.8
35/10/55	-44.59	-10	3.977	2242.8
		0	5.353	3262.2
45/10/45	-46.55	-10	3.974	2472.9
		0	5.371	3581
55/10/35	-48.1	-10	4.008	2718.9
		0	5.446	3918.2
65/10/25	-49.37	-10	4.071	2980.7
		0	5.566	4273.2
75/10/15	-50.43	-10	4.158	3258.1
		0	5.726	4645.3
5/15/80	-34.32	-10	4.37	1684.3
		0	5.914	2473.5
15/15/70	-39.42	-10	4.13	1875
		0	5.551	2744.6
25/15/60	-42.82	-10	4.018	2082.7
		0	5.397	3037.4
35/15/50	-45.28	-10	3.979	2307.7
		0	5.36	3351.5
45/15/40	-47.16	-10	3.989	2550.2
		0	5.399	3686.1
55/15/30	-48.65	-10	4.036	2809.8
		0	5.494	4040.6
65/15/20	-49.87	-10	4.111	3086.6
		0	5.635	4414.1
75/15/10	-50.89	-10	4.212	3380.4
		0	5.818	4806

R502 ve alternatif karışımları içinde en yüksek STK değeri R502'ye aittir. R502'yi R125/R143a (50/50) karışımı takip etmektedir. HSK açısından da yine bu karışım avantajlı gözükmemektedir (Tablo 15, Şekil 6).

Tablo 11. R125/R290/R134a Karışımına Ait Değerler

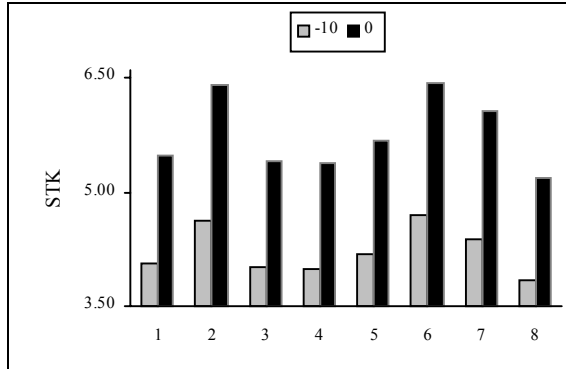
Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b °C	STK	HSK (kJ/m ³)
10/5/85	-49.85	-10	3.916	1635.8
		0	5.202	2404.9
20/5/75	-49.98	-10	3.879	1712.3
		0	5.154	2512.2
30/5/65	-50.29	-10	3.856	1801.2
		0	5.128	2635.9
40/5/55	-50.73	-10	3.846	1905.3
		0	5.124	2779.8
50/5/45	-51.28	-10	3.853	2028.7
		0	5.146	2948.4
60/5/35	-51.93	-10	3.88	2176.4
		0	5.2	3147.5
70/5/25	-52.66	-10	3.931	2354.6
		0	5.292	3384
10/10/80	-51.41	-10	3.745	1739.1
		0	4.978	2552.2
20/10/70	-51.59	-10	3.741	1830
		0	4.982	2678.8
30/10/60	-51.91	-10	3.749	1936
		0	5.005	2825
40/10/50	-52.36	-10	3.771	2060.6
		0	5.05	2995.1
50/10/40	-52.91	-10	3.811	2208.3
		0	5.121	3193.9
60/10/30	-53.55	-10	3.871	2384.6
		0	5.225	3427.2
70/10/20	-54.27	-10	3.956	2595.6
		0	5.367	3700.5
10/15/75	-50.86	-10	3.754	1870.7
		0	5.035	2738
20/15/65	-51.27	-10	3.774	1978.9
		0	5.075	2886.8
30/15/55	-51.78	-10	3.808	2105.3
		0	5.136	3058.4
40/15/45	-52.39	-10	3.857	2253.6
		0	5.22	3256.7
50/15/35	-53.1	-10	3.925	2428.2
		0	5.332	3485.3
60/15/25	-53.87	-10	4.013	2633
		0	5.473	3746.7
70/15/15	-54.72	-10	4.122	2869.6
		0	5.64	4040.2



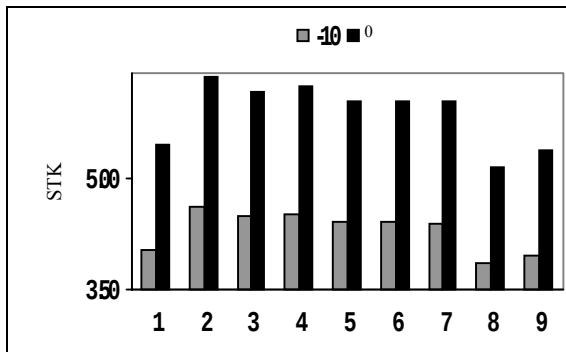
Şekil 4. R12 ve alternatif karışımları için STK değerleri

Tablo 12. R32/R125/R290/R134a Karışımına Ait Değerler

Karışım Oranı	KNS (°C)	T _b (°C)	STK	HSK (kJ/m ³)
1) 10/65/5/20	-55.17	-10	3.886	2617.1
		0	5.231	3747.2
2) 20/55/5/20	-56.56	-10	3.851	2754.4
		0	5.185	3942.9
3) 30/45/5/20	-57.55	-10	3.836	2871.2
		0	5.171	4108.5
4) 40/35/5/20	-58.32	-10	3.829	2969.6
		0	5.171	4247.5
5) 50/25/5/20	-58.96	-10	3.826	3052.4
		0	5.175	4364.1
6) 60/15/5/20	-59.5	-10	3.823	3122
		0	5.18	4461.8
7) 10/55/5/30	-54.6	-10	3.808	2407.8
		0	5.099	3470.7
8) 30/55/5/10	-57.94	-10	3.96	3140.2
		0	5.375	4459
9) 20/25/5/50	-55.45	-10	3.669	2206.5
		0	4.872	3207.7
10) 20/35/5/40	-55.75	-10	3.706	2357
		0	4.94	3412.7
11) 20/45/5/30	-56.12	-10	3.765	2536.9
		0	5.041	3654.8
12) 20/65/5/10	-57.05	-10	3.971	3019.5
		0	5.381	4287.2



Şekil 5. R22 ve alternatif karışımları için STK değerleri



Şekil 6. R502 ve alternatif karışımları için STK değerleri

Tablo 13. R12 ve Alternatif Karışımları İçin Değerler

R12 ve Alternatifleri	KNS (°C)	T _b (°C)	STK	HSK (kJ/m ³)
1) R152a/R134a	-25.49	-10	4.81	1469.4
14/86		0	6.631	2165.2
2) R600a/R134a	-29.45	-10	4.807	1604.3
18/82		0	6.608	2324.2
3) R12	-29.75	-10	4.857	1519.9
		0	6.69	2161.2
4) R290/R600a	-29.98	-10	4.173	1118.8
40/60		0	5.52	1617.7
5) R290/R600a	-30.87	-10	4.154	1147.7
43/57		0	5.494	1657.9
6) R290/R600a	-32.27	-10	4.132	1199.2
48/52		0	5.467	1729.1
7) R290/R600a	-32.79	-10	4.127	1221
50/50		0	5.461	1759.2
8) R290/R600a	-34.28	-10	4.122	1290.9
56/44		0	5.463	1855.3
9) R290/R600a	-35.2	-10	4.129	1341.8
60/40		0	5.48	1924.9
10) R290/R600a	-37.27	-10	4.183	1486.8
70/30		0	5.579	2121.7
11) R290/R600a	-39.08	-10	4.296	1664
80/20		0	5.771	2358.9
12) R290/R600a	-40.67	-10	4.484	1885.2
90/10		0	6.083	2649.7
13) R290/R134a	-49.91	-10	3.964	1569.4
5/95		0	5.268	2311.2

Tablo 14. R22 ve Alternatif Karışımları İçin Değerler

R22 ve Alternatifleri	KNS (°C)	T _b (°C)	STK	HSK (kJ/m ³)
1) R32/R134a	-40.31	-10	4.067	1932.7
25/75		0	5.465	2828.7
2) R22	-40.81	-10	4.623	2381.6
		0	6.408	3379.5
3) R32/R134a	-41.83	-10	4.019	2028.2
30/70		0	5.4	2963.4
4) R32/R125/R134a	-43.39	-10	3.996	2133.8
30/10/60		0	5.371	3110.1
5) R32/R125/R134a	-46.8	-10	4.179	2517.7
10/70/20		0	5.671	3612.6
6) R290/R134a	-48.6	-10	4.694	2609
46/54		0	6.434	3587.1
7) R32/R125	-51.6	-10	4.378	3534.2
50/50		0	6.057	4986.1
8) 4'lü	-56.56	-10	3.851	2754.4
20/55/5/20		0	5.185	3942.9

Zeotrop karışımlarda genelde KNS ile HSK arasında uyum vardır. Yine zeotrop karışımlarda, saf akışkanların STK'larının genelde karışımların STK'larına etki ettiği görülmektedir.

İkili ve üçlü karışımlarla yapılan bu çalışma sonuçları dikkate alınarak deneysel çalışmalarla daha net değerler elde edilebilir.

Tablo 15. R502 ve Alternatif Karışımları İçin Değerler

R502 ve Alternatifleri	KNS (°C)	T _b (°C)	STK	HSK (kJ/m ³)
1) R32/R125/R134a 20/40/40	-45.23	-10	4.041	2288.7
2) R502	-45.26	-10	4.603	2536.3
		0	6.34	3557.5
3) R125/R143a/R134a 44/52/4	-46.56	-10	4.479	2636.8
		0	6.15	3718.6
4) R125/R143a 50/50	-47.11	-10	4.518	2726.5
		0	6.213	3831.9
5) R32/R125/R143a 10/45/45	-49.41	-10	4.4	2926.3
		0	6.031	4110.6
6) R32/R125/R143a 10/50/40	-49.41	-10	4.4	2935.2
		0	6.031	4124.4
7) R125/R143a/R290 50/45/5	-50.57	-10	4.39	2825.4
		0	6.016	3957.9
8) R125/R290/R134a 50/5/45	-54.27	-10	3.853	2028.7
		0	5.146	2948.4
9) R125/R290/R134a 70/10/20	-54.27	-10	3.956	2595.6
		0	5.367	3700.5

5. KAYNAKLAR

Aprea, C. and Mastrullo, R. 1996. Behaviour and Performances of R502 Alternative Working Fluids in Refrigerating Plants, Int. J. Refrigeration, Vol. 19, pp. 257-263.

Barolo, M. Bertucco, A. and Scalabrin, G. 1995. A Method for the Prediction of Vapor-Liquid Equilibria of Refrigerant Mixtures at Low and Moderate Pressure, Int. J. Refrigeration, Vol. 18, pp. 550-556.

Camporese, R. Bigolaro, G. Bobbo, S. and Cortella, G. 1997. Experimental Evaluation of Refrigerant Mixtures as Substitutes for CFC12 and R502, Int. J. Refrigeration, Vol. 20, pp. 22-31.

Chang, Y. S. Kim, M. S. and Ro, S. T. 2000. Performance And Heat Transfer Characteristics of Hydrocarbon Refrigerants in a Heat Pump System, Int. J. Refrigeration, Vol. 23, pp.232-242.

Churi, N. and Achenie, L. E. K. 1997. The Optimal Design of Refrigerant Mixtures for A Two-Evaporator Refrigeration System, Comp. Chemical Engineering, Vol. 21, pp. 349-354.

Çomaklı, Ö. Çelik, C. and Erdoğan, S. 1999. Determination of Optimum Working Conditions in Heat Pumps Using Nonazeotropic Refrigerant Mixtures, En. Conv. Management, Vol. 40, pp.193.

Didion, D. A. and Bivens, D. B. 1990. Role of Refrigerant Mixtures as Alternatives to Cfc's, Int. J. Refrigeration, Vol. 13, pp. 163-175.

Haselden, G. G. and Chen, J. 1994. A Computer Simulation Program for Mixed-Refrigerant Air Conditioning, Int. J. Refrigeration, Vol. 17, pp. 343.

Hogberg, M. Vamling, L. and Berntsson, T. 1993. Calculation Methods for Comparing the Performance of Pure and Mixed Working Fluids in Heat Pump Applications, Int. J. Refrigeration, Vol. 16, pp. 403-413.

Hogberg, M. and Berntsson, T. 1994. Non-Azeotropic Mixtures as Working Fluids in Two-Stage Economizer-Type Heat Pumps, Int. J. Refrigeration, Vol. 17, No. 6, pp. 417-429.

Jung, D. S. and Radermacher, R. 1991. Performance Simulation of Single-Evaporator Domestic Refrigerators Charged With Pure and Mixed Refrigerants, Int. J. Refrigeration, Vol. 14, pp. 223.

Jung, D. Kim, H. and Kim, O. 1999. A Study on The Performance of Multi-Stage Heat Pumps Using Mixtures, Int. J. Refrigeration, Vol. 22, pp. 402-413.

Lemmon, E. W. and Jacobsen, R. T. 1999. Thermodynamic Properties of Mixtures of R32, R125, R134a, and R152a, Int. J. Thermophysics, Vol. 20, pp.1629-1638.

McLinden, M. O. and Radermacher, R. 1987. Methods for Comparing the Performance of Pure and Mixed Refrigerants in the Vapour Compression Cycle, Int. J. Refrigeration Vol. 10, pp. 318-325.

Mulroy, W. J. Domanski, P. A. and Didion, D. A. 1994. Glide Matching With Binary and Ternary Zeotropic Refrigerant Mixtures, Int. J. Refrigeration, Vol. 17, pp. 220-225.

Reid, R. C. Prausnitz, J. M. and Sherwood, T. K. 1988. The Properties of Gases and Liquids, McGraw Hill, New York, USA.

Richardson, R. and Butterworth, R. 1995. The Performance of Propane/Isobutane in a Vapor-Compression Refrigeration System, Int. J. Refrigeration, Vol. 18, No.1, pp. 58-62.

Rohlin, P. 1996. Zeotropik Refrigerant Mixtures in Systems and in Flow Boiling, Ph.D, Sweden.

Stegou-Sagia, A. and Damanakis, M. 2000. Binary and Ternary Blends Fo R-134a As Alternative Refrigerants To R-22, Energy Conversion and Management, Vol. 41, Pp. 1345-1359.