

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

127382

R12, R22, R502 SOĞUTUCU AKIŞKANLARI VE ALTERNATİF
KARIŞIMLARININ SOĞUTMA SİSTEMLERİNDEKİ TERMODİNAMİK
ANALİZİ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

127382


EROL ARCAKLIOĞLU

ŞUBAT 2002


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürünün Onayı.

Doç. Dr. M. Yakup ARICA
Fen Bilimleri Enstitüsü
M ü d ü r ü
Müdür

Bu tezin Doktora tezi olarak Makine Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.


Prof. Dr. Veli ÇELİK
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Doktora tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.


Prof. Dr. Ali ERİŞEN
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA

Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK

Doç. Dr. Necdet ALTUNTOP







ÖZET

R12, R22, R502 SOĞUTUCU AKIŞKANLARI VE ALTERNATİF KARIŞIMLARININ SOĞUTMA SİSTEMLERİNDEKİ TERMODİNAMİK ANALİZİ

ARCAKLIOĞLU, Erol

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Şubat 2002, 233 sayfa

Bu tez çalışmasında, klasik ve emme/sıvı hattı ısı değiştiricili buhar sıkıştırmalı iki farklı soğutma sistemi için, farklı soğutucu akışkanlar ve karışımları kullanılarak, Termodinamiğin 1. ve 2. Yasası'na dayalı olarak performans analizi gerçekleştirilmiştir. Şu anda mevcut sistemlerde yaygın olarak kullanılan CFC grubundan R12, R22 ve R502 soğutucu akışkanları, HFC grubundan R134a, R152a, R125, R143a ve R32 soğutucu akışkanları, HC grubundan R290 ve R600a soğutucu akışkanları ve bunların ikili, üçlü ve dörtlü olarak farklı oranlarda karışımları çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır.

Global kirlenmeyi azaltmak amacıyla uluslararası düzeyde R12, R22 ve R502 yerine HFC ve HC grubu soğutucu akışkan karışımlarının kullanılması

düşünülmektedir. 1987’de gerçekleştirilen Montreal Protokolündeki hedeflerle uyum sağlamak üzere, çalışmanın kapsamında yeni karışımların CFC akışkanlarıyla performans açısından karşılaştırılması da yer almıştır. Performans değerlerini karşılaştırma amacıyla, sabit sıcaklığa dayalı ve sabit soğutma yüküne dayalı iki farklı yöntem kullanılmıştır.

Performans değerlerini hesaplamada kullanılan soğutucu akışkanlara ait termodinamik özellikler, Helmholtz enerji hal denkleminde dayalı olarak hazırlanan ve deneysel katsayıların kullanıldığı REFPROP 6.01 yazılımından alınmıştır. Bu amaçla, bu yazılımın alt programları kullanılarak FORTRAN dilinde yeni yazılımlar hazırlanmış ve ilgili tüm performans hesaplamaları, bu yazılım aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Yapılan hesaplamalarla mevcut sistemlerdeki R12 yerine %0.4’lük performans (soğutma tesir katsayısı ve oransal verim) artışıyla R290/R600a (56/44) karışımının, R22 yerine %0.8’lik performans artışıyla R32/R134a (35.2/64.8) karışımının ve R502 yerine %2’lik performans artışıyla R32/R134a (46/54) karışımının kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Performans analizine ait tüm sonuçlar, kapsamlı bir kaynakça olma niteliğinde, çizelge ve grafik olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Soğutma sistemleri, soğutucu akışkan karışımları, ekserji analizi, hal denklemleri, REFPROP.

ABSTRACT

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF REFRIGERANTS R12, R22, R502, AND THEIR SUBSTITUTES IN REFRIGERATION SYSTEMS

ARCAKLIOĞLU, Erol

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mech.Eng., Ph. D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ali ERİŞEN

February 2002, 233 pages

In this study, performance analysis of two different vapor-compression refrigeration systems, one classical and the other with suction/liquid line heat exchanger has been realized based on first and second laws of thermodynamics 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, it is considered to use the refrigerant mixtures of HFCs, and HCs instead of CFCs (R12, R22, and R502) as an international consensus. To get an agreement with the aims defined by Montreal Protocol in 1987, the performance comparison of the new mixtures with CFC refrigerants has been done in the frame of this study. To compare the performance

values, two methods based on constant temperature and constant cooling capacity have been used.

Thermodynamic properties of refrigerants that were used in the performance calculations have been taken from REFPROP 6.01 which was prepared based on Helmholtz energy equation of state, and in that experimental coefficients were used in the equation. For this aim, new software has written in FORTRAN programming language using sub-programs of REFPROP, and all related calculations of performance have been achieved by this software.

Calculations performed through the analysis have been shown that, instead of refrigerants R12, R22, and R502 which are still being used in existing refrigeration systems, the mixtures R290/R600a (56/44), R32/R134a (35.2/64.8), and R32/R134a (46/54) are recommended with the performance (coefficient of performance and rational efficiency) increments of %0.4, %0.8, and %2, respectively.

All results of the performance analysis, as a reference quality, have been presented as tables and graphics.

Key Words: Refrigeration systems, refrigerant mixtures, exergy analysis, equations of state, REFPROP.

TEŞEKKÜR

Tez alışmam sũresince her tũrlũ destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ali ERİŞEN Bey'e, sũrekli yardımcı olan bũlũm başkanım Prof. Dr. Veli ÇELİK Bey'e, ğretim ũyesi hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma, yoğun çalışmalar dolayısıyla ihmal ettiğim anne, baba, eř ve çocuklarıma teőekkũr ederim.



İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | iii |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| İÇİNDEKİLER..... | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | x |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xii |
| SİMGELER DİZİNİ..... | xvii |
| KISALTMALAR..... | xix |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Literatür İnceleme..... | 6 |
| 1.2. Soğutma Sistemleri..... | 19 |
| 1.3. Soğutucu Akışkanlar..... | 23 |
| 1.4. Soğutucu Akışkan Karışımları..... | 26 |
| 1.4.1. Kütlesele Oranlarla Alternatif Karışımlar..... | 30 |
| 1.4.2. Karışımları Karşılaştırma Yöntemleri..... | 31 |
| 1.5. Ekserji Analizi..... | 32 |
| 1.5.1. Ekserji..... | 33 |
| 1.5.2. Tersinirlik ve Tersinmezlik..... | 35 |
| 1.5.3. İş ve Isı Transferi ile Eşleşen Ekserji..... | 35 |
| 1.5.4. Madde Akışı ile Eşleşen Ekserji ve Terimleri..... | 37 |
| 1.5.4.1. Fiziksel Ekserji..... | 37 |

| | |
|--|----|
| 1.5.4.2. Kimyasal Ekserji | 39 |
| 1.5.5. Kontrol Bölgesi Analizi..... | 41 |
| 1.5.5.1. Ekserji Dengesi | 41 |
| 1.5.5.2. Gouy-Stodola Bağıntısı | 42 |
| 1.5.5.3. Tersinmezlik Hızı ve Kontrol Yüzeyi | 43 |
| 1.5.6. Oransal Verim..... | 43 |
| 1.6. Hal Denklemleri..... | 45 |
| 1.6.1. Etki Katsayılı Hal Denklemi..... | 48 |
| 1.6.2. Van der Waals Yaklaşımı (Kübik Hal Denklemleri)..... | 50 |
| 1.6.2.1. Van der Waals Hal Denklemi..... | 50 |
| 1.6.2.2. Redlich-Kwong Hal Denklemi..... | 51 |
| 1.6.2.3. Soave Hal Denklemi..... | 52 |
| 1.6.2.4. Peng-Robinson Hal Denklemi..... | 53 |
| 1.6.3. Çok Parametrelili Hal Denklemleri | 54 |
| 1.6.3.1 Carnahan-Starling-De Santis Hal Denklemi | 54 |
| 1.6.3.2. Helmholtz Enerji Hal Denklemi..... | 55 |
| 1.6.3.3. Benedict-Webb-Rubin (BWR) ve Modified BWR Hal Denklemi..... | 57 |
| 1.6.3.4. Martin-Hou Hal Denklemi | 59 |
| 1.7. Sıvı Buhar Dengesi | 59 |
| 1.8. Hal Denklemlerinden Termodinamik Özelliklere Geçiş | 62 |
| 1.9. Çalışmanın Amacı..... | 64 |
| 2. MATERYAL ve YÖNTEM..... | 66 |
| 2.1. REFPROP Programının Kullanılması..... | 67 |
| 2.2. Sabit Sıcaklığa Dayalı Karşılaştırma | 67 |
| 2.3. Sabit Soğutma Yüküne Dayalı Karşılaştırma | 68 |

| | |
|--|-----|
| 2.4. Performans Hesaplamaları | 77 |
| 2.5. Analizi Yapılan Saf Akışkanların ve Karışımlarının Tanıtılması..... | 80 |
| 3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA..... | 87 |
| 3.1. Sayısal Hesaplama Parametreleri..... | 87 |
| 3.2. Sabit Sıcaklığa Dayalı Hesaplamalar | 87 |
| 3.2.1. Saf Akışkanların İncelenmesi | 88 |
| 3.2.2. Karışımların İncelenmesi..... | 95 |
| 3.2.2.1. R32/R134a Karışımı | 95 |
| 3.2.2.2. R290/R134a Karışımı | 99 |
| 3.2.2.3. R600a/R134a Karışımı | 102 |
| 3.2.2.4. R152a/R134a Karışımı | 105 |
| 3.2.2.5. R125/R143a Karışımı | 108 |
| 3.2.2.6. R32/R125 Karışımı | 108 |
| 3.2.2.7. R125/R143a/R134a Karışımı | 113 |
| 3.2.2.8. R125/R143a/R290 Karışımı | 120 |
| 3.2.2.9. R32/R125/R143a Karışımı | 128 |
| 3.2.2.10. R32/R125/R134a Karışımı | 135 |
| 3.2.2.11. R125/R290/R134a Karışımı | 142 |
| 3.2.2.12. R32/R125/R290/R134a Karışımı | 149 |
| 3.2.3. R12, R22, R502 ve Alternatif Karışımlarının İncelenmesi | 152 |
| 3.2.3.1. R12 ve Alternatif Karışımları | 152 |
| 3.2.3.2. R22 ve Alternatif Karışımları | 155 |
| 3.2.3.3. R502 ve Alternatif Karışımları | 158 |
| 3.3. Sabit Soğutma Yüküne Dayalı Hesaplamalar:..... | 161 |
| 3.3.1. Saf Akışkanların İncelenmesi | 161 |

| | |
|---|-----|
| 3.3.2. Karışımların İncelenmesi..... | 163 |
| 3.3.2.1. R32/R134a Karışımı | 163 |
| 3.3.2.2. R290/R134a Karışımı | 165 |
| 3.3.2.3. R600a/R134a Karışımı | 168 |
| 3.3.2.4. R152a/R134a Karışımı | 170 |
| 3.3.2.5. R125/R143a Karışımı | 170 |
| 3.3.2.6. R32/R125 Karışımı | 173 |
| 3.3.2.7. R125/R143a/R134a Karışımı | 175 |
| 3.3.2.8. R125/R143a/R290 Karışımı | 177 |
| 3.3.2.9. R32/R125/R143a Karışımı | 179 |
| 3.3.2.10. R32/R125/R134a Karışımı | 181 |
| 3.3.2.11. R125/R290/R134a Karışımı..... | 183 |
| 3.3.2.12. R32/R125/R290/R134a Karışımı | 183 |
| 3.3.3. R12, R22, R502 ve Alternatifi Karışımların İncelenmesi | 186 |
| 3.3.3.1. R12 ve Alternatif Karışımları | 186 |
| 3.3.3.2. R22 ve Alternatif Karışımları | 187 |
| 3.3.3.3. R502 ve Alternatif Karışımları..... | 189 |
| 3.3.4. HSK Eşitlemeleri..... | 192 |
| 4. SONUÇ..... | 194 |
| KAYNAKLAR..... | 198 |
| EK-1..... | 202 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

| | | |
|----------|---|-----|
| 2.1. | R12, R22 ve R502 alternatif karışımların KNS açısından uygunluğu | 86 |
| Ek 1.1. | Sabit sıcaklıkta saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerleri..... | 202 |
| Ek 1.2. | Sabit sıcaklıkta R32/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 203 |
| Ek 1.3. | Sabit sıcaklıkta R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 204 |
| Ek 1.4. | Sabit sıcaklıkta R600a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 205 |
| Ek 1.5. | Sabit sıcaklıkta R152a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 206 |
| Ek 1.6. | Sabit sıcaklıkta R125/R143a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 208 |
| Ek 1.7. | Sabit sıcaklıkta R32/R125 karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 209 |
| Ek 1.8. | Sabit sıcaklıkta R125/R143a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 210 |
| Ek 1.9. | Sabit sıcaklıkta R125/R143a/R290 karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 212 |
| Ek 1.10. | Sabit sıcaklıkta R32/R125/R143a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 214 |
| Ek 1.11. | Sabit sıcaklıkta R32/R125/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 216 |
| Ek 1.12. | Sabit sıcaklıkta R125/R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 219 |
| Ek 1.13. | Sabit sıcaklıkta R32/R125/R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 221 |
| Ek 1.14. | Sabit sıcaklıkta R12 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri..... | 222 |
| Ek 1.15. | Sabit sıcaklıkta R22 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri..... | 224 |
| Ek 1.16. | Sabit sıcaklıkta R502 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri..... | 225 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Ek 1.17. | Sabit soğutma yükünde saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerleri..... | 226 |
| Ek 1.18. | Sabit soğutma yükünde R32/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 226 |
| Ek 1.19. | Sabit soğutma yükünde R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 227 |
| Ek 1.20. | Sabit soğutma yükünde R600a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 227 |
| Ek 1.21. | Sabit soğutma yükünde R152a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 228 |
| Ek 1.22. | Sabit soğutma yükünde R125/R143a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 228 |
| Ek 1.23. | Sabit soğutma yükünde R32/R125 karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 229 |
| Ek 1.24. | Sabit soğutma yükünde R125/R143a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 229 |
| Ek 1.25. | Sabit soğutma yükünde R125/R143a/R290 karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 230 |
| Ek 1.26. | Sabit soğutma yükünde R32/R125/R143a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 230 |
| Ek 1.27. | Sabit soğutma yükünde R32/R125/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 231 |
| Ek 1.28. | Sabit soğutma yükünde R125/R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 231 |
| Ek 1.29. | Sabit soğutma yükünde R32/R125/R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri..... | 232 |
| Ek 1.30. | Sabit soğutma yükünde R12 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri..... | 233 |
| Ek 1.31. | Sabit soğutma yükünde R22 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri..... | 233 |
| Ek 1.32. | Sabit soğutma yükünde R502 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri..... | 233 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

| | | |
|-------|--|-----|
| 1.1. | Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi ve T-s diyagramı..... | 19 |
| 1.2. | Gerçek soğutma çevriminin T-s diyagramı..... | 20 |
| 1.3. | Sıvı/emme hattı ısı değiştiricili soğutma sistemi..... | 21 |
| 1.4. | İkili soğutma sistemi ve T-s diyagramı..... | 22 |
| 1.5. | Buharlaşma odalı iki kademeli sıkıştırırmalı ve T-s diyagramı..... | 22 |
| 1.6. | Donduruculu tek kompresörlü soğutma sistemi ve T-s diyagramı..... | 23 |
| 1.7. | İkili zeotropik karışım için faz diyagramı..... | 28 |
| 1.8. | R500 azetropunun faz diyagramı..... | 29 |
| 2.1. | Emme/sıvı hattı ısı değiştiricili soğutma sistemi..... | 72 |
| 2.2. | Soğutma sistemi simülasyonu için akış şeması..... | 74 |
| 3.1. | Sabit sıcaklık ve klasik çevrimde saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi..... | 90 |
| 3.2. | Sabit sıcaklık ve ısı değiştiricili çevrimde saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi..... | 92 |
| 3.3. | Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R32/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 96 |
| 3.4. | Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R32/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 98 |
| 3.5. | Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R290/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 100 |
| 3.6. | Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R290/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 101 |
| 3.7. | Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R600a/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 104 |
| 3.8. | Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R152a/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 106 |
| 3.9. | Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R152a/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 107 |
| 3.10. | Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R125/R143a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 109 |
| 3.11. | Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R125/R143a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 110 |

| | |
|--|-----|
| 3.12. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R32/R125 karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 111 |
| 3.13. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R32/R125 karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 112 |
| 3.14. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %5'lik sabit R134a yüzdesi) | 114 |
| 3.15. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R134a yüzdesi)..... | 115 |
| 3.16. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %15'lik sabit R134a yüzdesi) | 116 |
| 3.17. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %5'lik sabit R134a yüzdesi) | 117 |
| 3.18. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R134a yüzdesi) | 118 |
| 3.19. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %15'lik sabit R134a yüzdesi) | 119 |
| 3.20. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %5'lik sabit R290 yüzdesi) | 121 |
| 3.21. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R290 yüzdesi) | 122 |
| 3.22. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %15'lik sabit R290 yüzdesi) | 123 |
| 3.23. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %5'lik sabit R290 yüzdesi)..... | 124 |
| 3.24. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R290 yüzdesi) | 125 |
| 3.25. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %15'lik sabit R290 yüzdesi) | 126 |

| | |
|---|-----|
| 3.26. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R32 yüzdesi) | 129 |
| 3.27. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %20'lik sabit R32 yüzdesi) | 130 |
| 3.28. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %30'luk sabit R32 yüzdesi) | 131 |
| 3.29. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R32 yüzdesi) | 132 |
| 3.30. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %20'lik sabit R32 yüzdesi) | 133 |
| 3.31. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %30'luk sabit R32 yüzdesi) | 134 |
| 3.32. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %5'lik sabit R125 yüzdesi) | 136 |
| 3.33. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R125 yüzdesi) | 137 |
| 3.34. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %15'lik sabit R125 yüzdesi)..... | 138 |
| 3.35. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %5'lik sabit R125 yüzdesi)..... | 139 |
| 3.36. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R125 yüzdesi) | 140 |
| 3.37. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %15'lik sabit R125 yüzdesi) | 141 |
| 3.38. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %5'lik sabit R290 yüzdesi) | 143 |
| 3.39. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R290 yüzdesi) | 144 |

| | |
|--|-----|
| 3.40. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %15'lik sabit R290 yüzdesi) | 145 |
| 3.41. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %5'lik sabit R290 yüzdesi) | 146 |
| 3.42. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R290 yüzdesi) | 147 |
| 3.43. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %15'lik sabit R290 yüzdesi) | 148 |
| 3.44. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R32/R125/R290/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi | 150 |
| 3.45. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R32/R125/R290/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi | 151 |
| 3.46. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R12 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi | 153 |
| 3.47. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R12 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi | 154 |
| 3.48. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R22 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi | 156 |
| 3.49. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R22 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi | 157 |
| 3.50. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R502 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi | 159 |
| 3.51. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R502 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi | 160 |
| 3.52. Sabit soğutma yükünde saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi..... | 162 |
| 3.53. Sabit soğutma yükünde R32/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 164 |
| 3.54. Sabit soğutma yükünde R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 167 |

| | |
|--|-----|
| 3.55. Sabit soğutma yükünde R600a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 169 |
| 3.56. Sabit soğutma yükünde R152a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 171 |
| 3.57. Sabit soğutma yükünde R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 172 |
| 3.58. Sabit soğutma yükünde R32/R125 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 174 |
| 3.59. Sabit soğutma yükünde R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 176 |
| 3.60. Sabit soğutma yükünde R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 178 |
| 3.61. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 180 |
| 3.62. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 182 |
| 3.63. Sabit soğutma yükünde R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 184 |
| 3.64. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi..... | 185 |
| 3.65. Sabit soğutma yükünde R12 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi..... | 188 |
| 3.66. Sabit soğutma yükünde R22 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi..... | 190 |
| 3.67. Sabit soğutma yükünde R502 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi..... | 191 |

SİMGELER DİZİNİ

| | |
|---------------|--|
| A | Isı geçiş alanı(m ²), Helmholtz enerji (J) |
| a, b, u, w, y | Hal denklemi parametreleri |
| c | Özgöl ısı (J/kgK) |
| E | Ekserji (J) |
| f | Fugasite, ısı transfer yüzdesi |
| G | Gibbs enerjisi (J) |
| H, h | Entalpi (J, J/kg) |
| İ | Tersinmezlik hızı (J/s) |
| K | Toplam ısı geçiş katsayısı |
| m | Kütle akısı (kg/s) |
| P | Basınç (Pa) |
| R | Gaz sabiti (J/kgK) |
| S, s | Entropi (J/K, J/kgK) |
| T | Sıcaklık (°C) |
| U, u | İç enerji (J, J/kg) |
| v | Özgöl hacim (m ³ /kg) |
| Z | Sıkıştırılabilirlik faktörü |
| Q | Isı transfer hızı (J/s) |
| W | İş (J) |
| q | Birim kütle başına transfer edilen ısı miktarı (J/kg) |
| ε | Fiziksel / kimyasal ekserji (J/kg) |
| Π | Entropi üretim hızı (J/s K) |
| ψ | Oransal verim |
| τ | Boyutsuz sıcaklık |
| δ | Boyutsuz yoğunluk |
| x, y | Karışım yüzdeleri |
| ρ | Yoğunluk (kg/m ³) |
| φ | Fugasite katsayısı |
| γ | Aktivite katsayısı |

ALT SİMGELER DİZİNİ

| | |
|-----|---------------------------------|
| b | Buharlaştırıcı |
| cr | Kritik |
| ç | Çıkan |
| d | Doymuş buhar bölgesi |
| fiz | Fiziksel |
| g | Giren |
| h | Hava |
| k | Kompresör, kızgın buhar bölgesi |
| kim | Kimyasal |
| kr | Karışım |
| ter | Tersinir |
| R | İndirgenmiş |
| s | Soğutucu akışkan, sıvı bölgesi |
| y | Yoğuşturucu |
| 0 | Çevre hali |

ÜST SİMGELER DİZİNİ

| | |
|------------|-------------------|
| ΔP | Basınç bileşeni |
| ΔT | Sıcaklık bileşeni |
| Q | Isıl bileşen |

KISALTMALAR

| | |
|------|------------------------------------|
| BO | Basınç oranı |
| CFC | Kloroflorokarbon |
| CSD | Carnahan-Starling-DeSantis |
| HCFC | Hidrokloroflorokarbon |
| HFC | Hidroflorokarbon |
| HSK | Hacimsel soğutma kapasitesi |
| KNS | Kaynama noktası sıcaklığı |
| LKP | Lee-Kesler-Plocker |
| LMTD | Logaritmik ortalama sıcaklık farkı |
| OV | Oransal Verim |
| PR | Peng-Rebinson |
| RK | Redlich-Kwong |
| RKS | Redlich-Kwong-Soave |
| STK | Soğutma tesir katsayısı |
| TT | Toplam tersinmezlik |
| VLE | Sıvı-buhar dengesi |

•

1. GİRİŞ

Termodinamiğin 1. Yasası enerjinin korunumu yasası olarak da bilinir. Buna göre izole edilmiş bir sistemde enerji var edilemez ve yok edilemez. Sadece bir şekilden başka bir şekle dönüştürülebilir. Başka bir deyişle izole edilmiş bir sistemin içerdiği bütün enerjilerin toplamı zamanla değişmez. Bu enerji dönüşümlerini ve madde ile olan ilişkilerini inceleyen bilim dalı Termodinamik'tir. Herhangi bir çevrim için, bu yasa 'Çevrim esnasındaki ısı alışverişi ile iş alışverişi birbirine eşittir.' şeklinde ifade edilebilir.

Termodinamiğin bir çok uygulamasında sistem ve çevresinin tanımının yapılması gerekir. Termodinamik sistem, kapalı yüzeylerle çevrili olan uzayda bir bölge ve bu bölgedeki madde miktarı olarak tanımlanır. Sistem dışındaki her şey çevre olarak düşünülür ve sistem ile çevre, sistem sınırları ile birbirinden ayrılır. Bu sınırlar hareketli veya sabit olabildiği gibi gerçek veya sanal olarak da düşünülebilir.

Termodinamik'te iki temel kavram enerji ve entropidir. Enerji, bir etki ya da değişiklik üretme yeteneği olup, depo edilmiş veya geçiş biçiminde olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Depo edilmiş enerji çeşitleri için iç enerji, potansiyel enerji, kinetik enerji, kimyasal enerji ve nükleer enerji örnek olarak verilebilir. Geçiş halindeki enerji çeşitleri ise ısı ve iş'tir. Isı, sistemin sınırlarının iki tarafındaki sıcaklık farkı nedeniyle oluşan enerji geçişidir ve kendiliğinden daima düşük sıcaklığa doğru gerçekleşir. İş ise sistem sınırlarının iki tarafında, yer değiştirme ile sonuçlanacak yükseklik, geçişi doğuran sebep basınç farkı ise basınç veya herhangi

bir kuvvet farkı nedeniyle oluşan enerji geçişidir. Bu enerji geçişi de daima basıncın azaldığı yöne doğrudur.

Entropi, verilen bir sistemin moleküler düzensizliğinin bir ölçüsüdür. Düzensizlik arttıkça entropi artar. Düzensiz molekül topluluğundan oluşan bir sistemin ise etki üretme kapasitesinin düşüklüğünden söz edilir.

Bir sistemin özeliği, gözlenebilen ve kendisini tanıtıcı herhangi bir büyüklüğüdür. Sistemin durumu veya hali ise bu sistemin özelliklerinin bütünü ile belirlenir. Bir sistem geçirdiği bir dizi hal değişimi sonunda yeniden ilk haline dönerse bir çevrimden geçmiş olur. Başka bir deyişle çevrimin ilk ve son halleri aynıdır.

1. Yasa, bir sistemin hâl değişiminin mümkün olup olmayacağı hakkında bir açıklama getirmez. Oysa deneyler, doğadaki hâl değişimlerinin ve dolayısıyla enerji dönüşümlerinin sadece belirli yönlerde gerçekleşebileceğini göstermektedir.

Termodinamiğin 2. Yasası ise, ısı enerjisinin sadece belirli bir kısmının iş çevrilebileceğini; çevrenin iç enerjisinden faydalanılarak iş elde edilemeyeceğini belirterek enerji dönüşümlerini sınıflandırmakta (düzenli, düzensiz) ve bütün doğal olayların tersinmez olduğunu vurgulayarak düzensiz enerjinin bir şekilden diğer bir şekle her dönüşümünde insanların faydalanabilecekleri kısmının azalacağını ve bu nedenle de sürekli olarak değer kaybedeceğini ifade etmektedir. Yine bu yasaya göre bir sistemden çıkan enerjinin iş potansiyeli sisteme giren enerjinin iş potansiyelinden daha küçüktür. Aradaki fark sözkonusu sistemde enerji dönüşümünde oluşan tersinmezlikleri verir. Tersinmezliğe sebep olan faktörlerin en önemlileri için sürtünme, kontrolsüz genişleme ve sıkıştırma, sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi, iki

maddenin karışımı örnek olarak verilebilir. Tersinmezliğin neden olduğu iş kayıpları entropinin artmasına neden olur. İş potansiyeli tersinmezlikler kadar azalır ve aynı miktarda enerji kullanılamaz hale gelir. Tersinir süreçlerde entropi artımı olmayacağı için iş potansiyelinde azalma çevreye yapılan işe eşit olur ve bu süreçler ideal işlemler olarak tanımlanır.

Verilmiş bir ortamdan çevre durumuna tersinir bir yoldan getirilen bir sistemden elde edilecek iş miktarı maksimumdur; bu miktar kullanılabilirlik veya ekserji olarak bilinir. Faydalanılması imkansız olan enerji, anerji adını alır. Enerjinin kullanılabilir kısmından mümkün olduğu kadar çok faydalanabilmek için işlemlerdeki tersinmezliklerin giderilmesine çalışmak ve bunları tersinir işlemlere olabildiği kadar yaklaştırmak gerekir.

Herhangi bir işlemin 1. Yasaya göre verimliliğini tayin etmek her zaman mümkün değildir. Çünkü iş ve ısı, enerji tekniği bakımından (diğer enerji türlerine dönüştürülebilme özelliği bakımından) aynı değerde değildir. Bununla beraber 2. Yasa analizi ile kullanılabilir enerji kavramından yararlanarak bir işlemin ne derecede tersinir duruma yakın olduğu incelenebilir. Anerji, tersinmezliğin bir ölçüsüdür ve işlemlerdeki tersinmezlik arttıkça artar. Bu temel düşünceyle tanımlanabilecek bir verim 2. Yasa verimi, tersinmezlik oranı veya ekserji verimi olarak bilinir.

$$\epsilon = 1 - \frac{\text{kayıp kullanılır enerji}}{\text{başlangıç durumunda mevcut kullanılır enerji}}$$

Tersinin bir süreçte $\epsilon = 1$ dir.

Isı geçişi azalan sıcaklık yönünde doğada kendiliğinden olur. Fakat bir ortamdan daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi kendiliğinden olmaz, bu işlem bir soğutma çevrimi aracılığıyla yapılır. Soğutma çevrimlerinde dolaşan akışkanlara soğutucu akışkan adı verilir. Soğutucu akışkan dönüşümlü olarak yoğunur, buharlaşır ve buhar fazındayken sıkıştırılır, ısı bir düşük sıcaklıktaki ortamdan yüksek sıcaklıktaki ortama dışarıdan verilen mekanik enerjiyle aktarılmış olur.

Düşük sıcaklıklı bir ortamdan daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi, ısı pompası aracılığıyla da gerçekleşebilir. Soğutma makinaları ile ısı pompaları aynı çevrime göre çalışırlar, fakat kullanım amaçları farklıdır. Soğutma makinasının amacı çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta olan bir ortamdan ısı çekerek ortamı düşük sıcaklıkta tutmaktır. Soğutma çevriminde daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı verilmesi sadece çevrimin tamamlanabilmesi için gerekli olan bir işlemdir. Isı pompasının amacı ise ısıtılan bir ortamı istenilen sıcaklıkta tutmaktır.

Isı pompası ve soğutma makinaları için düşük sıcaklıklı ortamdan yüksek sıcaklıklı ortama ısı veren cihazlar tanımlaması yapılsa da buharlaşma ve yoğunlaşma işlemleri esnasında gerçekleşen ısı transferleri yine doğal olarak yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru olmaktadır.

İnsanların günlük yaşamlarında mekanik enerji üretmek ve bir hacmi ısıtmak/soğutmak amacı ile kullanılan cihazlara büyük ihtiyaç duyulur. Enerjinin faydalanılabilen kısmının sürekli azaldığı ve mevcut enerji kaynaklarının sınırlı olduğu düşünülünce bütün makinaların her iki bakımdan da en verimli şekilde kullanılması fikri doğmuştur.

Günlük hayatın yürütülmesinde kullanılan, teknolojik gelişmelerin geniş bir aralığını kapsayan soğutma makinalarının ekserji analizine büyük önem verilmiş ve bu amaçla yoğun çalışmalar yapılmıştır.

Bir soğutma sistemi tasarlanırken kullanılabilir bir çok soğutucu akışkan vardır. Soğutucu akışkan seçimi uygulamaya göre değişir. İlk ticari soğutucu akışkan, 1850'lerde yapılan buhar sıkıştırma sistemlerinde kullanılan etil eter'dir. Bunu amonyak, karbon dioksit, propan, kloro-floro-karbonlar (CFC veya Freon grubu) ve diğerleri (HFC ve HC'ler) izlemiştir. Bunlar arasında freonlar (R12, R22, R502 gibi) piyasada kullanılan soğutucu akışkanların en büyük bölümünü oluşturur.

Ozon krizi soğutma endüstrisinde soğutucu akışkanların dikkatle gözden geçirilmesine neden oldu ve yeni arayışları gerektirdi. 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 olarak birçok ülkede CFC'lerin üretimi azaltıldı veya durduruldu. Son olarak 1987'de yapılan Montreal Protokolü ve Kyoto Protokolü gereği CFC'lerin üretimi tamamiyle durdurulma aşamasına geldi.

Soğutucu akışkan olarak soğutucu akışkan karışımları üzerine son yıllarda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu durum CFC'lerin üretiminin sınırlandırılmasının bir sonucu olarak ortaya çıktı. Çünkü mevcut saf soğutucu akışkanların doğrudan yerini tutacak başka saf soğutucu akışkanlar bulunamadı. Sadece R12 yerine R134a soğutucu akışkanı teklif edilmekte fakat bu da doğrudan R12'nin yerini tutamamaktadır.

Karışımlar zeotropik ve azeotropik olmak üzere iki gruba ayrılır. Zeotropik karışımlarda sabit basınçtaki faz değişiminde sıcaklık farkı ortaya çıkar. Azeotropik karışım ise saf akışkan gibi davranır. Bu konuyla ilgili ayrıntı ilerleyen kısımlarda verilecektir.

1.1. Literatür İnceleme

Konuyla ilgili kaynaklardan görüleceği üzere; karışımlarla ilgili çalışmalara CFC'lerin ikili karışımları ile başlandı. Bunların saf akışkan olarak özellikleri biliniyordu, karışımlarda nasıl davranacakları incelendi. Karışım oranlarının değiştirilmesiyle istenen özelliklerde soğutucu akışkan karışımlarına ulaşılabileceği anlaşıldı. Zeotropik karışımlardaki sıcaklık farkı ya da kayması soğutma sistemi performansında teoride de olsa artış sağladı.

Daha sonra, karışımlarda kullanılacak soğutucu akışkanlar çevresel olarak zararlı olmayan ve diğer temel özellikleri sağlayan akışkanlardan seçilmeye başlandı. Bunlar R32, R125, R134a, R143a, R152a gibi HFC'lerle R290, R600a gibi hidrokarbon (HC) akışkanlardır. Bunlardan R290 (Propan) ve R600a (İzobütan) yanıcılık özellikleri dolayısıyla karışımlarda düşük yüzdelerde tutulmaktadır.

Ch. Trepp ve arkadaşları⁽¹⁾, çevresel problemlere sebep olan R12'nin yerine kullanılmak üzere ikili soğutucu akışkan karışımlarıyla bazı deneyler yaptılar. Alternatif olarak R22/R142b karışımı önerildi. Deneylerde performans değerleri de bulundu ve sanayi uygulamalarında bu karışımın iyi bir alternatif olduğu belirtildi. R22/R12 ve R22/R114 karışımlarıyla da deneysel çalışma yapıldı.

Soğutma sisteminin dizaynında çalışma akışkanlarının termodinamik özelliklerinin bilinmesi çok büyük önem taşır. Çünkü soğutucu akışkan seçimi ve performans hesaplamaları bunlara bağlı olarak yapılır. Termodinamik özellik olarak sıcaklık, yoğunluk, basınç, fugasite, iç enerji, entalpi, entropi, Gibbs ve Helmholtz enerjileri, ısı kapasiteleri sayılabilir. Ayrıca doyma bölgesinde sıvı-buhar dengesi hesabı gerekir. Bu özellikler içinde sadece basınç ve sıcaklık ölçülebilen bir özelliktir. Diğerleri ise çeşitli bağıntılarla hesaplanır. Saf akışkanların termodinamik özellikleri sıcaklık ve basıncın fonksiyonu iken karışımlarda karışım oranı da değişken durumundadır.

Karışıma katılabilecek akışkan sayısının fazlalığı ve karışım oranlarının değişebilirliği dikkate alınrsa bütün alternatifler için soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesinin güçlüğü ortaya çıkar⁽²⁾. Bundan dolayı soğutucu akışkan karışımlarının termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde hal denklemlerini kullanma zorunluluğu doğmuştur. Temelde ideal gaz bağıntısından çıkan hal denklemleri doyma bölgesinde sıvı-buhar dengesi hesabı için kullanıldığı gibi tek fazlı bölgelerde PvT hesaplamaları için de kullanılır.

Helmholtz enerjisi ile basınç arasında temel bir ilişki vardır. Basınç ve Helmholtz enerjisi biliniyorsa herhangi bir hal denklemi kullanılarak entalpi ve entropi gibi diğer termodinamik özellikler hesaplanabilir⁽³⁾. Dolayısıyla hassas hesaplamalar için hal denklemleri üzerinde de yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

M. Barolo, A. Bertucco ve G. Scalabrin tarafından hazırlanan makalede⁽³⁾ düşük ve biraz yüksek basınç değer aralıklarında soğutucu akışkan karışımlarının sıvı-buhar dengesini tahmine yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Karışım kurallarını

belirlemek için, değiştirilmiş Redlich-Kwong (RK) hâl denklemleri ve UNIFAC yöntemi (karışımın sıvı-buhar dengesini belirleme yöntemlerinden birisi) kullanılmıştır. CFC, HCFC, HFC ve FC alt gruplarını içeren karışımlara uygulanan bu çalışmada, deneysel verileri tahminde yeterli hassasiyetin yakalandığı gözlenmiş, bazı karışımlara ait sıcaklık ve basınç eğilimleri verilmiştir.

Akışkan karışımları için çok sayıda hal denklemleri ortaya konmuştur. Soğutucu akışkanlar ve karışımlarında kübik, etki katsayılı, Carnahan-Starling-De Santis(CSD), Helmholtz enerji hal denklemleri kullanılmaktadır. Özellikle CFC'lerin yerine kullanılacak HFC ve HC karışımlarının termodinamik özelliklerinin hesabında Helmholtz enerji hal denkleminin⁽⁴⁾ hassas sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

M. Nagel ve K. Bier'in çalışması⁽⁵⁾ ise yeni soğutucu akışkan karışımlarının doymuş sıvı ve buhar yoğunluklarının hesaplanmasına yöneliktir. R32, R125, R134a ve R143a'nın ikili ve üçlü karışımı için deneysel ve teorik değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

H. Kiyoura ve arkadaşlarının yaptığı çalışma⁽⁶⁾ R32/R125 ve R32/R125/R134a soğutucu akışkan karışımlarının PVTx özelliklerinin deneysel belirlenmesiyle ilgilidir. 315 K - 440 K sıcaklık aralığı ve 1.6 MPa - 5.5 MPa basınç aralığında deneysel çalışma yapılmıştır.

E. Chung ve M. Kim'e ait çalışma⁽⁷⁾ R32/R134a karışımına ait sıvı-buhar dengesi hesabına yöneliktir. 263-323 K sıcaklık aralığında yapılan deneysel çalışmalar Redlich-Kwong-Soave (RKS) ve Peng-Rebinson (PR) hal denklemleri ile karşılaştırılmıştır.

M. Nagel ve K. Bier'in diğeri bir çalışması⁽⁸⁾ ise R32/R125/R134a üçlü karışımının sıvı-buhar dengesi hesabıyla ilgilidir. Bu karışım R22 ve R502 soğutucu akışkanlarının yerine teklif edilmiştir. Gerçek karışım davranışını tesbit için kübik hal denklemleri kullanılmış ve hassas sonuçlar elde edilmiştir. Fakat bu hal denklemlerinin karışıma ait yoğunluk değerlerinde beklenen sonuçları vermediği gözlenmiştir.

K. Strom ve U. Gren'in çalışması⁽⁹⁾ R22/R114, R22/R142b ve R22/R152a zeotropik akışkan karışımları için sıvı-buhar dengesinin deneysel olarak belirlenmesine yöneliktir. 1.8 MPa'a kadar ölçümler yapılmış ve sonuçlar üç farklı hal denklemi ile karşılaştırılmıştır.

E. Fransson, A. Barreau ve J. Vidal'e ait çalışma⁽¹⁰⁾ n-Pentane/R22 ve n-Pentane/R152a ikili karışımlarının sıvı-buhar dengesi hesabına yöneliktir. Deneysel çalışma, farklı karışım oranları için 303-383 K sıcaklık ve 0.3-4.4 MPa basınç aralığında yapılmıştır. RKS hal denklemiyle de deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

J. Sand ve arkadaşlarının hazırladığı makale⁽¹¹⁾, karışımlarla ilgili teorik hesaplarda gerekli olan ve karışım bileşenlerine bağlı olan 'etkileşim parametreleri'nin belirlenmesine yöneliktir. Etkileşim parametresi CSD ve Lee-Kesler-Plocker (LKP) hal denklemleri için deneysel olarak belirlenmiştir. Soğutucu akışkan olarak çevresel açıdan güvenli olanlar seçilmiştir.

G. Morrison ve M. McLinden'in çalışması⁽¹²⁾, ikili soğutucu akışkan karışımında azeotropinin ortaya çıkışıyla ilgilidir. Saf soğutucu akışkanların ve karışımlarının termodinamik davranışını tanımlamak için CSD hal denklemi

kullanılmıştır. Çok sayıda ikili karışım için etkileşim parametresi deneysel olarak belirlenmiştir.

D. Defibaugh ve G. Morrison'a ait çalışma⁽¹³⁾, 15 farklı karışım için etkileşim parametresinin deneysel belirlenmesine yöneliktir. Bu parametreler CSD hal denkleminde kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Y. W. Kang ve K. Y. Chung'un deneysel çalışması⁽¹⁴⁾ R32-R22, R32-R12 ve R32-R40 karışımlarının 10 °C'deki sıvı-buhar dengesinin belirlenmesi için yapılmıştır. Sonuçlar bazı hal denklemleri ile karşılaştırılmıştır.

H. Zhang ve arkadaşları⁽¹⁵⁾, çeşitli oranlarda R32-R125 karışımının gaz fazındaki PVT özelliklerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Deney sonuçları ve başka deneysel verilerle bu karışım için etki sayılı hal denklemi geliştirilmiştir.

E. Chung ve M. Kim'e ait çalışmada⁽¹⁶⁾ R32-R134a karışımı için belli bir sıcaklık aralığında izotermal sıvı-buhar dengesi değerleri deneysel olarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar PR ve RKS hal denklemi ile düzeltilmiş ve kaynaklarla karşılaştırılmıştır.

H. Kiyoura ve arkadaşları⁽¹⁷⁾ R32-R125 ve R32-R125-R134a karışımlarına ait PVTx özelliklerini belli basınç aralığında deneysel olarak belirlemişlerdir. Yanıcılık özelliği dolayısıyla R32'nin saf olarak kullanılmadığı, bu özelliği olmayan R125 ve R134a gibi soğutucu akışkanlarla karıştırıldığı belirtilmiştir.

T. Sato ve arkadaşlarının deneysel çalışması⁽¹⁸⁾ R32-R134a karışımının PVTx özelliklerinin belirlenmesi ile ilgilidir. 200'ü aşkın ölçüm alınmış sonuçlar kaynaklarda verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

K. Strom ve U. Gren'in çalışması⁽¹⁹⁾ R22-R114, R22-R142b R22-R152a karışımlarının sıvı-buhar dengesi değerlerinin deneysel ve teorik olarak bulunmasına yöneliktir. LK ve CSD hal denklemleri teorik hesaplamalarda kullanılmıştır.

R. T. Roth'a ait çalışma⁽²⁰⁾, R134a-R152a karışımına ait termodinamik özelliklerin (PVTx) deneysel olarak belirlenmesi yönündedir. Oldukça geniş bir aralıkta sonuçlar alınmış Redlich-Kwong hal denklemi ile karşılaştırma yapılmıştır.

HF-R32, HF-R134a karışımlarının sıvı-buhar dengesi değerlerinin belirlendiği bir çalışmada⁽²¹⁾ iki farklı sıcaklıkta deneyler yapılmıştır. Karışımlara ait P-x diyagramları verilmiştir.

E. Fransson ve arkadaşlarının çalışması⁽²²⁾ n.pentane-R22, n.pentane-R152a karışımlarına ait sıvı-buhar dengesinin belirlenmesine yöneliktir. Yanıcılık özelliği olan hidrokarbonların bu özelliği olmayan bir soğutucu akışkanla karıştırılması durumunda, karışım yüzdelerinin karışımı yanıcı yapmayacak şekilde seçilebileceği belirtilmiştir.

R32-R125-R134a üçlü karışımının sıvı-buhar dengesi değerlerinin belirlendiği bir başka çalışmada⁽²³⁾ kübik hal denklemleri kullanılmış, hal denklemlerinde kullanılacak parametreler her bir soğutucu akışkan için tablo halinde verilmiştir. P-x diyagramlarının da verildiği çalışmada bu üç akışkanın ikişerli karışımları için de hesaplamalar yapılmıştır.

Benzer bir çalışma da⁽²⁴⁾ R125-R143a-R134a üçlü karışımı için yapılmıştır.

H. L. Zhang ve arkadaşlarının çalışmasında⁽²⁵⁾ üç parametrelili yeni bir kübik hal denklemi geliştirilmiştir. Hal denklemleri ve sıvı-buhar dengesi hesaplamaları

hakkında teorik açıklamaların da yapıldığı çalışmada R32 ve R125 soğutucu akışkanları yeni hal denkleminde incelenmiştir.

Bazı HFC karışımlarının ısı kapasitelerinin belirlendiği bir çalışmada⁽²⁶⁾ seçilen karışımlar R12, R22 ve R502 alternatifi karışımlardır. Her bir akışkana ait denklemlerde kullanılacak parametreler tablo halinde verilmiştir.

CFC'lerin yerine kullanılacak alternatif karışımların mevcutların özelliklerine yakın değerlere sahip olması gerekir. Bu durum özellikle mevcut sistemlerde çok önemlidir. Yeni imal edilecek soğutma sistemlerinde bazı değişiklikler yapmak mümkündür ama şu anda çalışmakta olan milyonlarca soğutma sistemindeki soğutucu akışkanların değiştirilmesi söz konusu olunca iş daha da önem kazanmaktadır.

Saf akışkanlarla alternatif karışımların karşılaştırılmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarının eşit alınmasıyla yapılan karşılaştırmadır⁽²⁷⁾. Bu karşılaştırma kendi içinde farklı bölümlere ayrılmaktadır⁽²⁸⁾. İkinci karşılaştırma yöntemi ise soğutma yükünü sabit olarak yapılmaktadır⁽²⁹⁾. Bu yöntemde buharlaştırıcı ve yoğuşurucu ısı değiştirgeç büyüklükleri ve soğutucu akışkanların ısı transfer özellikleri de sabit alınmaktadır.

R. Richardson ve J. Butterworth'a ait çalışmada⁽³⁰⁾ R12'nin yerine kullanılmak üzere propan/izobütan karışımı önerilmiştir. Özellikle %50'ye yakın karışımlarda R12'den daha iyi performans değerleri elde edilmiştir. Bu akışkanların yanıcılık özelliği olmasına rağmen hermetik buhar sıkıştırmalı sistemlerde güvenli bir şekilde kullanılabilirdiği gösterilmiştir.

W. J. Mulroy ve arkadaşlarının makalesi⁽³¹⁾, R23/R142b ve R23/R22/R142b karışımlarına ait performans değerlerinin deneysel incelenmesine yöneliktir. Soğutucu akışkanla ısı transferi akışkanının sıcaklığının eşleşmesi durumunda soğutma sisteminin performansının artacağı belirtilmiştir. Bu eşleşme durumu Carnot ve Lorenz çevrimlerine göre incelenmiştir.

D. A. Didion ve D. B. Bivens'in çalışması⁽³²⁾, CFC'lere alternatif olmak üzere uygun özelliklere sahip soğutucu akışkanların teminine yöneliktir. Bu çalışmada zeotropik, azeotropik ve yakın-azeotropik karışımlarla ilgili teorik bilgiler de verilmiştir.

M. S. Kim ve arkadaşlarının çalışması⁽³³⁾, hidrokarbonlardan Propan (R-290) ve İzobutanın (R-600a) HFC-134a ile karışımına yöneliktir. Hidrokarbonların yanıcılık özelliklerinden dolayı bu karışımlara ait yanıcılık testleri de yapılmıştır. Tutuşma özelliği olan hidrokarbonların CFC'lerle karıştırılmasıyla tutuşma özelliğinin azalacağı belirtilmiştir.

A. Stégou-Sagia ve M. Damanakis'in çalışması⁽³⁴⁾ R22'nin yerine kullanılmak üzere R134a'nın ikili (R32-R134a) ve üçlü (R32-R125-R134a) karışımları üzerinedir. Üçlü karışımın entalpi ve entropi değerlerini hesaplamak için Peng-Rebinson hal denkleminde bağıntılar türetilmiştir.

Ö. Çomaklı ve arkadaşlarının çalışması⁽³⁵⁾, R11-R22 ve R12-R22 karışımlarının kullanıldığı bir ısı pompasında birinci ve 2. Yasa analizine yöneliktir. Deneysel yapılan çalışmada bu karışımların R12 veya R22 yerine kullanılabileceği belirtilmiştir.

Hidrokarbon soğutucu akışkanlar üzerine bir çalışmada⁽³⁶⁾ ise saf ve ikili hidrokarbon karışımların kullanıldığı bir ısı pompasının performansı deneysel olarak belirlenmiştir. Bazı hidrokarbonların R22'den daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Hidrokarbonlar için tek problemin yanıcılık özellikleri olduğu belirtilmiş fakat hermetik kompresörle bu tehlikenin çok azalacağı söylenmiştir. Özellikle Avrupa'da hidrokarbon soğutucu akışkanların yoğun olarak kullanıldığı belirtilmiştir.

Bir çok sayıda soğutucu akışkanın buhar sıkıştırma çevrimlerindeki termodinamiksel davranışını incelemek üzere yapılan teorik çalışmada⁽³⁷⁾ sistem elemanlarındaki tersinmezlik dağılımı da belirlenmiştir.

R. Camporese ve arkadaşları⁽³⁸⁾, kısa ve uzun vadede R12 ve R502'nin yerine geçmek üzere R22 ve bazı hidrokarbon karışımları üzerine çalışmışlardır. İki farklı soğutma ünitesinde R12 ve R502'nin performanslarıyla karışımların performansları karşılaştırılmıştır.

İkili soğutucu akışkan karışımlarının kullanıldığı klima sistemleri için bir simülasyon programının geliştirildiği çalışmada⁽³⁹⁾ uygun soğutucu akışkanlar ve karışım oranları, optimize edilmiş performans değerleri ve sistem elemanlarının büyüklükleri tespit edilmektedir. Simülasyonda entalpi ve entropi değerleri için RK hal denklemi kullanılmıştır. Programın ısı pompaları için de adapte edilebileceği belirtilmiştir.

C. Aprea ve arkadaşlarının çalışması⁽⁴⁰⁾, R502'ye alternatif soğutucu akışkanların ve karışımlarının soğutma sistemlerindeki davranış ve performanslarının deneysel olarak belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Seçilen alternatif akışkanların

2. Yasa verimleri de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. R404A'nın en uygun seçim olacağı belirtilmiştir.

Soğutucu akışkanların tarihine göz atan bir çalışmada⁽⁴¹⁾ akışkanların çevresel etkileri, güvenilirlikleri, kimyasal ve ısıl kararlılıkları incelenmiştir. Akışkanlar içindeki klorin ve brominin çevresel zararlara yol açtığı belirtilmiştir.

Helmholtz enerji modeline dayalı olarak soğutucu akışkan karışımlarının termodinamik özelliklerinin bulunduğu bir çalışmada⁽⁴²⁾ R32/R125, R32/R134a, R125/R134a, R32/R125/R134a, R134a/R152a karışımları kullanılmıştır. Bu karışımlar için hal denkleminde kullanılacak sabit değerler verilmiş ve kaynaklarla karşılaştırma yapılmıştır. Sıcaklık ve basınç için hassas sonuçların alındığı değer aralıkları da çalışmada açıklanmıştır.

R12'ye alternatif olarak HFC'lerden başka E134, E227, E218, E216 gibi eterlerin de kullanılabileceğini belirten diğer bir çalışmada⁽⁴³⁾ ise performans ve basınç oranına dayalı olarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Saf ve karışım halindeki soğutucu akışkanların kullanıldığı tek evaporatörlü bir soğutma sisteminin simülasyonunun yapıldığı bir çalışmada⁽⁴⁴⁾ kararlı haldeki sistemin performans değerini bulmak üzere Newton-Raphson ve Ardışık Yerleştirmeler metodu kullanılmıştır. Termodinamik değerler için CSD hal denkleminde faydalanılmıştır. Her iki metot da detaylı olarak açıklanmış ve 21 karışım için sonuçlar verilmiştir.

Bir önceki çalışmanın benzeri⁽⁴⁵⁾ iki evaporatörlü soğutma sistemi için de gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sadece Newton-Raphson metodu kullanılmış,

sistem daha karışık olduğu için diğer yöntemin başarısız kaldığı belirtilmiştir. İki evaporatör için iki farklı oranda soğutma yüküne dayalı inceleme yapılmıştır.

Son iki çalışmanın devamı olarak⁽²⁹⁾ Japonlar tarafından geliştirilen yüksek verimli ısı pompası sistemlerinin simülasyonu benzer yolla yapılmıştır. Özellikle HFC soğutucu akışkan karışımları üzerine çalışılmıştır.

Sıvı hattı ısı değiştirgeci olan soğutma sistemlerinin performansı ile ilgili çalışmada⁽⁴⁶⁾ saf ve karışım haldeki çok sayıda soğutucu akışkan kullanılarak inceleme yapılmıştır. Isı değiştirgecinin verimliliği ve basınç kayıplarının etkisi belirlenmiştir.

İki farklı sıcaklıkta çalışan iki buharlaştırıcı soğutma sisteminde soğutucu akışkan karışımlarının optimum seçimini hedefleyen teorik bir çalışmada⁽⁴⁷⁾ termodinamik değerler için REFPROP programı kullanılmıştır. En uygun karışım olarak R14-R41 karışımı belirlenmiştir.

Hidrokarbon akışkanlardan olan propan-isobütan karışımlarının kullanıldığı iki farklı soğutma sisteminde performans değerlerinin deneysel ve teorik olarak belirlendiği bir başka çalışmada⁽⁴⁸⁾ R12'ye göre %12'lik performans artışı elde edilmiştir. Bu karışımın uzun vadede R12-R134a karışımına da alternatif olacağı belirtilmiştir. Teorik çalışma sabit soğutma yükü esasına göre yapılmıştır.

D. Jung ve arkadaşlarının çalışması⁽⁴⁹⁾ R12 soğutucu akışkanını kullanan otomobil klimalarında alternatif soğutucu akışkanların ve karışımlarının termodinamik analizine yöneliktir. R12 ve alternatif akışkanların performans değerleri teorik olarak bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Hidrokarbon karışımların da incelendiği çalışmada propan-isobütan karışımı daha iyi bir performans göstermiştir.

Soğutucu akışkanlar üzerine genel bir değerlendirmenin yapıldığı bir çalışmada⁽⁵⁰⁾ Montreal protokolü öncesi ve sonrası durum değerlendirilmiştir. HFC'lerle birlikte flörlaştırılmış etherler, alkoller, aminler, silikon ve sülfür bileşenlerinin de incelendiği makalede soğutucu akışkanlar kendilerinden istenen özellikler açısından irdelenmiştir.

A. Bensafi ve G. G. Haselden'e ait çalışmada⁽⁵¹⁾, soğutucu akışkan karışımını kullanan klima ve ısı pompalarında karışımın doğru seçilmesi durumunda enerji tüketiminde %25'lere varan bir kazanç sağlanacağı belirlenmiştir. Kontrol sisteminin de çok önemli rol oynadığı belirtilmiştir.

Soğutma sistemlerinde 2. Yasa analizi üzerine de çalışmalar yapılmıştır.

N. Eğrican, A. Karakaş ve S. Uygur tarafından yapılan çalışmada⁽⁵²⁾ H₂O-LiBr ve NH₃-H₂O akışkan çiftleri kullanılarak güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminin 2. Yasa analizi yapılmıştır. Bu sistemde enerjinin esas kaynağı güneş toplayıcısıdır. Fakat güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda yardımcı kaynak kullanılması düşünülmüştür. Entropi ve entalpi değerlerinin hesaplanması için RK hâl denkleminde faydalanılmıştır.

S. K. Chaturverdi ve arkadaşlarının çalışmasında⁽⁵³⁾ ise, güneş toplayıcısını buharlaştırıcı kabul eden ısı pompası sistemine 2. Yasa analizi uygulanmıştır. Isıtma tesir katsayısı, ekserji ve toplayıcı verimi gibi bağıntılar türetilmiş ve bu bağıntılar gerçek çalışma şartlarında sistem performansını belirlemek için kullanılmıştır. Sistemdeki tersinmezliklerin kaynağı ve bunların sistem performansı üzerine etkileri incelendiğinde kompresörün, depolama tankındaki karışımın ve genişleme valfinin, sistem tersinmezliğine büyük etkileri olduğu tesbit edilmiştir.

Buharlaştırıcı ve yoğuşturucusu su soğutmalı olan bir ısı pompasının tersinmezlik analizinin yapıldığı deneysel bir çalışmada⁽⁵⁴⁾ ise tersinmezlik bağıntıları detaylı olarak anlatılmıştır. Deneysel sonuçlar hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmış ve sistem elemanlarındaki tersinmezlik miktarları yüzde olarak verilmiştir.

R134a soğutucu akışkanının kullanıldığı iki kademeli ve mekanik alt soğutmalı bir soğutma sistemi için 2. Yasa analizinin yapıldığı çalışmada⁽⁵⁵⁾ tersinmezlik bağıntıları verilmiş, sistem elemanlarındaki tersinmezlik miktarları ve sistemin performans değerleri bulunmuştur.

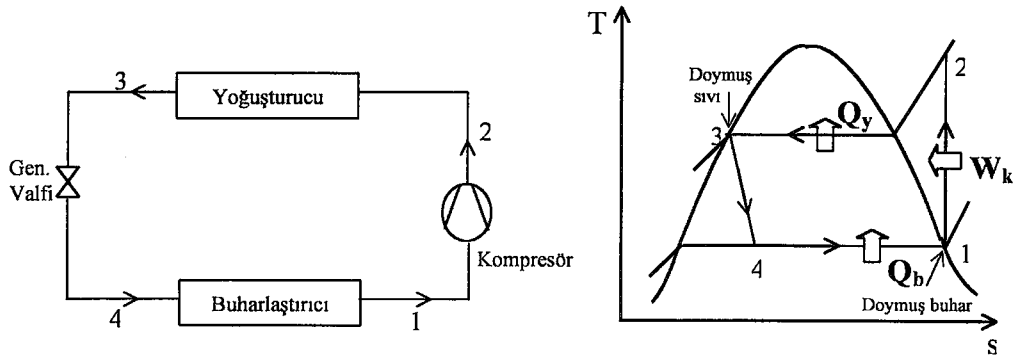
Konuyla ilgili yapılan çalışmaların bir kısmında ise karışımlara ait ısı transfer özellikleri incelenmiştir.

R32 ve R134a soğutucu akışkanlarının saf ve karışım halinde ısı transfer katsayılarının belirlendiği bir çalışmada⁽⁵⁶⁾ termodinamik değerler REFPROP programından alınmıştır.

Soğutucu akışkan ve karışımlarının termodinamik özelliklerini veren bir program⁽⁵⁷⁾ önce CSD hal denklemi kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonraki versiyonu⁽⁵⁸⁾ ise değiştirilerek özellikle HFC karışımlarında Helmholtz Enerji hal denklemi kullanılmıştır. Bu program 5'li karışıma kadar soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini vermektedir. Doyma bölgesi, kızgın buhar bölgesi ve aşırı soğutulmuş sıvı bölgesi için, değerleri ayrı alt programlarla hesaplayan REFPROP'la akışkanlara ait T-s, P-h, P-x, T-x diyagramları da çizilebilmektedir.

1.2. Soğutma Sistemleri

Soğutma sistemleri ve ısı pompaları termodinamik uygulamalarda önemli bir yere sahiptirler. Soğutma ve ısı pompası çevriminde düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki ortama sürekli olarak ısıl enerji transfer edilir. En yaygın olarak kullanılan soğutma çevrimi soğutucu akışkanın dönüşümlü olarak buharlaşıp yoğunlaştığı ve buhar fazında iken sıkıştırıldığı, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimidir. Bunun dışında soğutucu akışkanın çevrim boyunca gaz fazında kaldığı gaz akışkanlı soğutma, soğutucu akışkan buharının sıkıştırılmadan önce bir sıvıya karıştırıldığı soğurmalı (absorpsiyonlu) soğutma, iki farklı malzemeden elektrik akımı geçmesiyle oluşan termoelektrik soğutma, gibi çeşitleri vardır. Bu çalışmada buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi üzerinde çalışılmıştır. Bundan sonra soğutma sistemi denilince buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi kast edilecektir. Bu çevrimdeki belli başlı elemanlar kompresör, yoğusturucu, genişleme valfi ve buharlaştırıcı olarak sayılabilir.

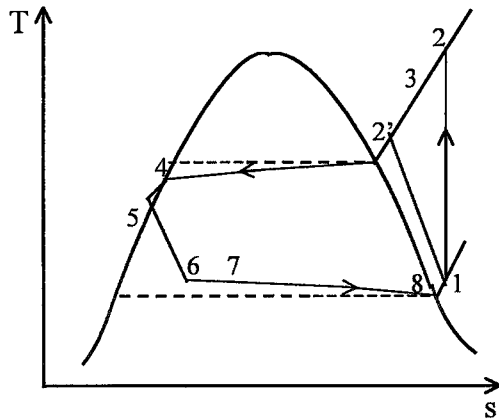


Şekil 1.1. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi ve T-s diyagramı

İdeal bir soğutma çevriminde, buharlaştırıcı ve yoğuşturucudaki ısı geçişlerinde basınç kayıplarının olmadığı, kompresördeki işlemin tersinir adyabatik (izentropik) olarak gerçekleştiği, genişleme valfindeki işlemin ise izentalpik olduğu ve bu elemanlar arasındaki boru donanımlarında herhangi bir basınç kaybı olmadığı ve boru donanımı ile çevre arasında da bir ısı geçişi olmadığı kabul edilir.

T-s diyagramı Şekil 1.2.'de verilen gerçek soğutma çevrimi, ideal çevrimden birkaç açıdan farklıdır. Bu farklılık daha çok gerçek çevrimi oluşturan elemanlardaki tersinmezliklerden kaynaklanır. Tersinmezliğin iki ana kaynağı, basıncın düşmesine neden olan akış sürtünmesi ve çevreyle olan ısı alışverişidir. Gerçek çevrimde sıkıştırma işlemi izentropik değildir. Çünkü akış sürtünmesi ve ısı geçişi vardır. Sürtünme entropiyi artırır, ısı geçişi ise hangi yönde olduğuna bağlı olarak entropiyi artırır veya azaltır. Ayrıca gerçek çevrimde soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan kızgın buhar olarak, yoğuşturucudan ise aşırı soğutulmuş sıvı olarak çıkar⁽⁵⁹⁾.

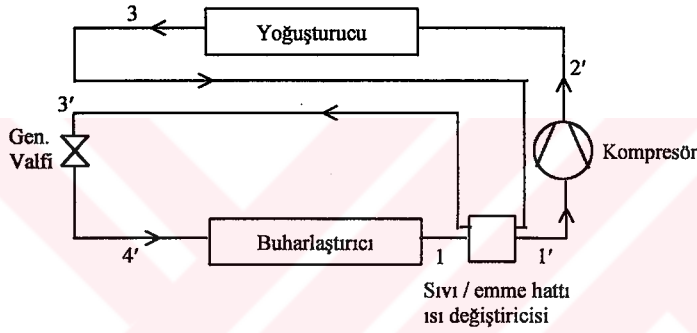
Soğutma makinası ile aynı çevrime göre çalışan ısı pompalarında da aynı şeyler geçerlidir. Isı pompaları için en çok kullanılan enerji kaynağı havadır. Bu tür ısı pompalarına hava kaynaklı ısı pompaları ismi verilir. Ayrıca toprak ve su kaynaklı



Şekil 1.2. Gerçek soğutma çevriminin T-s diyagramı

ısı pompaları da mevcuttur. Toprak ve suyun sıcaklıkları yıl içinde çok fazla değişmediği için oldukça kullanışlı enerji kaynaklarıdır.

Buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkanla yoğuşturucu çıkışındaki akışkanın bir ısı değiştiricisinden geçirildiği soğutma çevrimleri çok yaygındır. Şekil 1.3'de görülen sistemde soğutma yükü artarken kompresör işinde artma olmaktadır. Bu sisteme ait T-s diyagramı ısı değiştiricisindeki ufak değişiklik dışında Şekil 1.2.'ye benzerdir. Verimli olup olmaması soğutucu akışkana/karışımına bağlıdır⁽⁶⁰⁾.

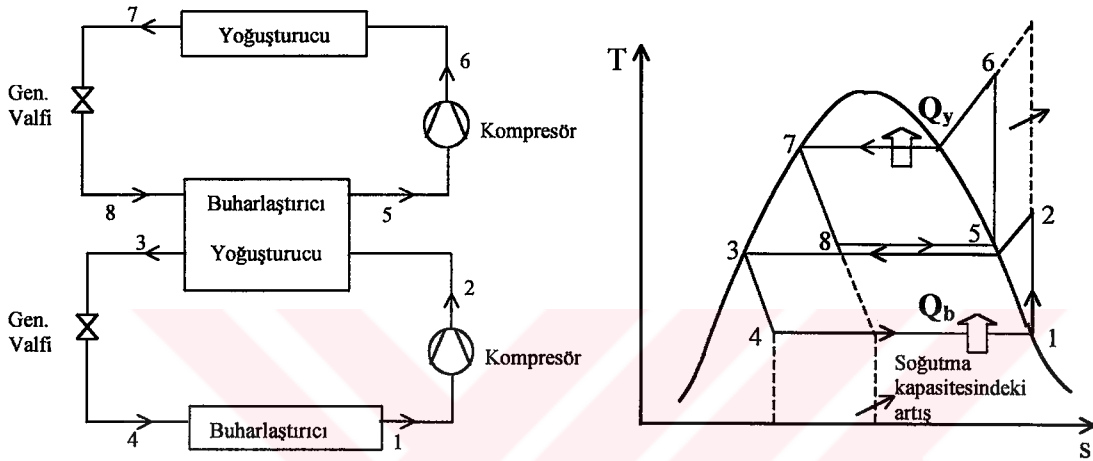


Şekil 1.3. Sıvı/emme hattı ısı değiştiricili soğutma sistemi

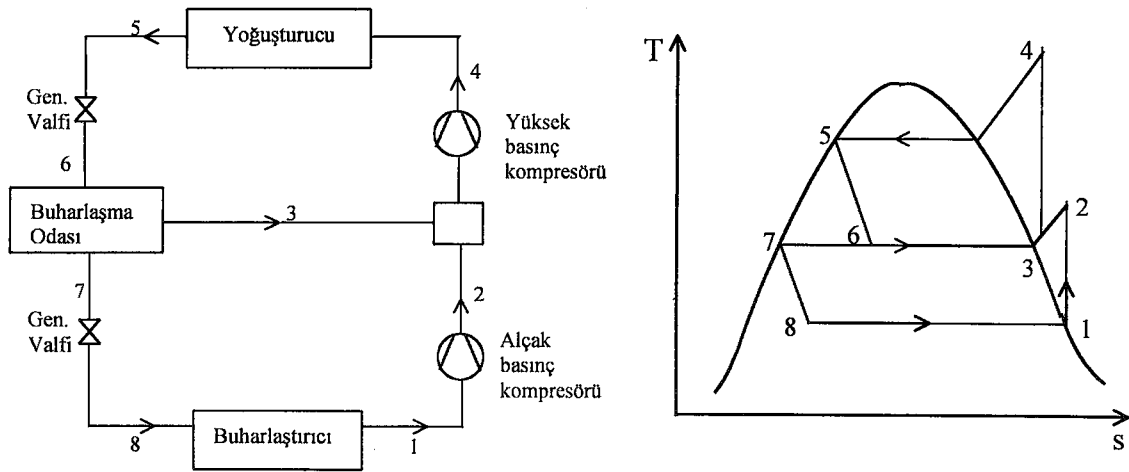
Bazı endüstri uygulamalarında düşük sıcaklıklarda soğutma gerekir ve uygulamanın sıcaklık aralığı basit soğutma çevriminin etkin çalışabilmesi için geniş olabilir. Büyük bir sıcaklık aralığı aynı zamanda daha çok basınç kayıplarına yol açmakta ve kompresörün daha düşük bir verimle çalışmasına neden olmaktadır. Bu gibi durumlarda soğutma iki kademede gerçekleştirilebilir. Şekil 1.4.'de görüldüğü gibi birbiriyle bağlantılı çalışan iki soğutma çevrimi kullanılır. Bu çevrimlere ikili soğutma çevrimi denir. Çevrimlerde farklı soğutucu akışkanlar kullanılabilir.

İkili soğutma sisteminde her bir çevrimde aynı soğutucu akışkan dolaşıyorsa çevrimleri birbirine bağlayan ısı değiştiricisi yerine ısı alışverişinin daha iyi

sağlandığı bir karışma odası veya buharlaşma odası kullanılabilir. Şekil 1.5.'de görülen bu tür sistemlere çok kademeli sıkıştırma yapılan soğutma sistemleri denir. Bu sistemdeki sıkıştırma işlemi, ara soğutmalı iki kademeli bir sıkıştırmaya benzemektedir.

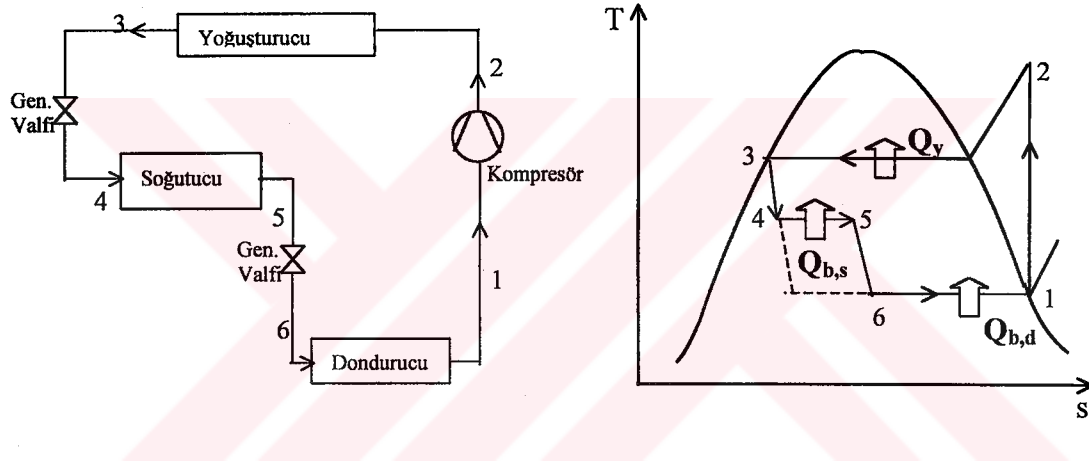


Şekil 1.4. İkili soğutma sistemi ve T-s diyagramı



Şekil 1.5. Buharlaşma odalı iki kademeli sıkıştırmalı ve T-s diyagramı

Bazı uygulamalarda aynı soğutma sistemi içinde birden çok ortamın farklı sıcaklıklarda soğutulması gerekebilir. Buharlaştırıcıdan çıkan tüm akışları tek kompresöre yönlendirmekle bu işlem gerçekleştirilebilir. Şekil 1.6.'da görülen bu sistem derin donduruculu buzdolaplarında uygulanan bir yöntemdir. Soğutucu akışkan önce soğutucu bölme içindeki sıcaklığa karşı gelen daha yüksek bir basınca daha sonra da dondurucu basıncına kısılır. Dondurucudan çıkan akışkan tek bir kompresör tarafından yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır.



Şekil 1.6. Donduruculu tek kompresörlü soğutma sistemi ve T-s diyagramı

1.3. Soğutucu Akışkanlar

Soğutma sistemi ve ısı pompalarında buharlaşma ve yoğuşma ile ısı transferi soğutucu akışkanlarla gerçekleştirilir. Soğutma sistemi tasarımı, kullanılacak soğutucu akışkanın özelliklerine bağlıdır.

Soğutucu akışkanlardan, ısı geçiş kabiliyetleri ile doğrudan ilişkisi olmayan birçok koşulu yerine getirmesi beklenir. Kullanma koşullarındaki kimyasal kararlılık

en önemli özelliktir. Emniyet kodları, birçok uygulama için zehirsiz, yanmaz soğutucu akışkanların kullanımını şart koşturmaktadır. Fiyat, kolayca bulunabilme, kompresör yağları ve soğutma tesisatındaki malzemeler ile uyumlu olması, göz önüne alınması gereken diğer hususlardır^(59,61).

Soğutucu akışkan seçiminde, bu akışkanlardan istenen termodinamik özelliklerin sağlanmasına da bakılır. Bir soğutma sisteminde, buharlaşma basıncının mümkün olduğu kadar yüksek, yoğuşma basıncının ise mümkün olduğu kadar düşük olması istenir. Buharlaştırıcı basıncının yüksek olması buhar yoğunluğunu arttırdığından verilen bir kompresör için daha büyük sistem kapasitesine ulaşılabilir.

Soğutucu akışkanların gizli buharlaşma ısıları diğer önemli bir özelliktir. Moleküler açıdan, benzer kaynama noktalarına sahip akışkanların gizli buharlaşma ısıları hemen hemen birbirinin aynıdır. Kütleli açıdan bakıldığında ise soğutucu akışkanların gizli ısılarının çok geniş aralıkta değiştiği görülür.

Soğutucu akışkanların ısı iletim katsayısı ve viskozite özellikleri, ısı değiştirgeçlerinin ve boru donanımının performansına etki eder. Bu akışkanlarda yüksek ısı iletim katsayısı, düşük viskozite katsayısı istenir.

R12, R22 gibi CFC olarak bilinen halojenli bileşenlerin fiziksel, elektriksel ve kimyasal özellikleri, onların güvenli ve verimli soğutucu akışkanlar olarak yaygın bir şekilde kullanılmalarını sağlamıştır. CFC'lerin bir faydası da doğal olarak yanıcı olmamalarıdır⁽⁶²⁾.

Diğer taraftan, bir soğutma sisteminden kaçan soğutucu akışkanın çevresel etkileri de göz önüne alınmalıdır. CFC'ler çok kararlı olmaları nedeniyle yıllarca atmosferde kalabilmekte ve zamanla stratosfer tabakası içinde yayılmaktadır. CFC molekülleri (örnek olarak R11 ve R12 soğutucu akışkanlarında olduğu gibi) sadece

karbon ile halojen klorin, florin ve/veya bromin içerir. Soğutucu akışkan molekülleri atmosferin üst kısımlarına ulaştığında güneş ışınlarının etkisi ile parçalanarak ozon tabakasını tahrip eden klorini açığa çıkarır. Atmosferin alt tabakalarında ise bu moleküller, yeryüzünün ısınmasına yardım eden kızılötesi ışınları yutar. CFC moleküllerindeki bir veya daha fazla halojen yerine bir hidrojen atomunun konulması, bunların atmosferdeki ömrünü ve çevreye olan olumsuz etkilerini büyük ölçüde azaltmaktadır⁽⁶¹⁾.

Ozon tabakasının yitirilmesi global bir meseledir. Dolayısıyla R12 ve R22 olarak bilinen halojenli bileşiklerin atmosfere olan zararları dolayısıyla üretimlerinin durdurulmasına karar verilmiştir⁽⁶³⁾. Küresel ölçekte CFC'lerin tedricen üretiminin kaldırılmasıyla ilgili Montreal Protokolü çoğu ülkeler tarafından imzalanmıştır.

Soğutucu akışkanların termodinamik ve taşınım özellikleri tablolar ve diyagramlar halinde verilir. Tablolar her bir soğutucu akışkan için geliştirilen hal denklemleri kullanılarak oluşturulur. Örnek olarak ASHRAE'nin temel el kitabındaki tablolar hazırlanırken R134a için M. L. Huber ve arkadaşları tarafından geliştirilen hal denklemi, R125 için L. C. Wilson ve arkadaşları tarafından geliştirilen hal denklemi, R22 ve R115'in karışımı olan R502 azeotropik karışımı için J. J. Martin ve arkadaşları tarafından geliştirilen hal denklemi kullanılmıştır⁽⁶¹⁾.

Birçok soğutucu akışkan için referans hal durumu genelde, uluslararası antlaşmalara uygun olarak 0°C sıcaklıktaki doymuş sıvı entalpisi için 200 kJ/kg, entropisi için 1 kJ/kgK alınmaktadır. Ayrıcalıklı olarak, su ile kritik sıcaklıkları çok düşük olan R14 gibi akışkanlar ve aşırı soğukta kullanılan soğutucu akışkanlar için bu değerler farklıdır⁽⁶¹⁾.

1.4. Soğutucu Akışkan Karışımları

CFC'lerin üretiminin durdurulacak olması, bunların yerine kullanılmak üzere yeni soğutucu akışkan arayışlarına neden olmuştur. Bunun bir sonucu olarak da ısı pompası ve soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan olarak soğutucu akışkan karışımlarına yönelik ilgi son yirmi yılda çarpıcı bir şekilde artmaya başlamıştır. CFC'lerin yerine alternatif olarak soğutucu akışkan karışımları önerilmektedir⁽²⁾. Çünkü çevresel açıdan kabul görececek saf soğutucu akışkan sayısı azdır ve bu akışkanlar farklı tipteki uygulamalar için bütün sıcaklık seviyelerine cevap verememektedirler⁽⁶⁵⁾. Sadece R12 yerine kullanılmak üzere saf bir akışkan olan HFC134a önerilmektedir. Fakat bu akışkan kullanıldığında sistemde bazı değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla yeni sistemlerde bu akışkan kullanılabilirken mevcut sistemlerde problem doğurmaktadır. Yaygın olarak kullanılan R12, R22 ve R502 gibi halokarbon soğutucu akışkanları yerine geçecek akışkanların belirlenmesi ve buna yönelik olarak özellikle akışkan karışımlarının incelenmesi çalışmalarının odak noktasını oluşturmaktadır.

Alternatif karışımlar belirlenirken dikkat edilecek husus, ilgili karışımın özelliklerinin, yerine geçeceği akışkanın özelliklerine yakın olmasıdır. Yani saf akışkanların yoğuşma basıncı, buharlaşma entalpisi vb. özelliklerine benzer davranış gösteren karışımlar aranmalıdır. 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. Bazı karışımlar az bir miktar da propan ve izobütan ihtiva eder. Bir sistemde hangi karışımın kullanılacağı durumdan duruma farklıdır⁽⁶⁶⁾.

Soğutucu akışkan karışımlarının iki büyük avantajı vardır: 1-Faz değişimi esnasında sıcaklık aralığının oluşması 2- Karışımın oranının değiştirilebilmesi⁽⁶⁶⁾

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 nedeniyledir⁽⁶⁵⁾.

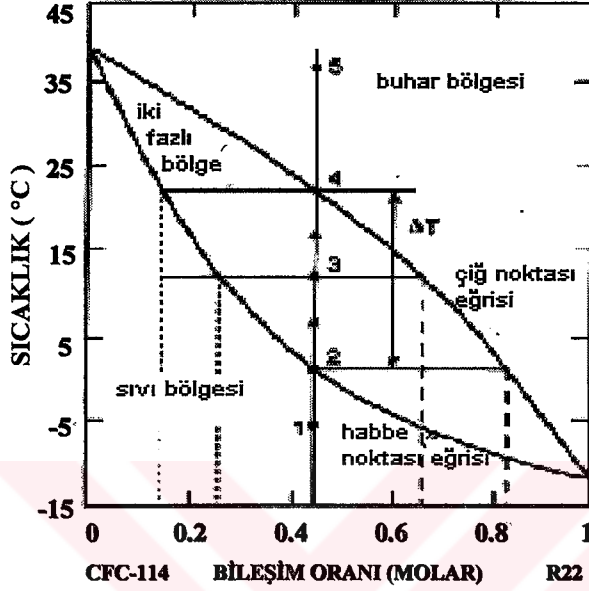
Azeotropik karışımlarda ise bu sıcaklık aralığı oluşmaz. Yani karışım o noktada aynı buhar ve sıvı bileşimine sahiptir. Karışımın sadece belli bir oranında gerçekleşen azeotropik karışım, saf soğutucu akışkan gibi davranır. Karışım bileşenlerinin kaynama noktalarındaki farkın küçük olması durumunda bu tür karışımların oluşma ihtimali vardır⁽⁶⁶⁾. Yani saf bir akışkanda yoğuşma sıcaklığı sadece basıncın fonksiyonu iken bu karışımlarda basınca ilaveten karışım oranının da fonksiyonudur.

Zeotropik bir karışım için CFC-114 ve R22 karışımı örnek olarak verilebilir. Bu karışımın faz diyagramı Şekil 1.7.'de görülmektedir. Bu durumda karışım oranının fonksiyonu olarak iki eğri oluşur.

Altındaki eğri habbe noktası eğrisi, üstteki eğri ise çığ noktası eğrisidir. Altındaki kısımda karışım sıvı fazındadır, üsttekinde ise buhar fazındadır. Ara bölgede ise karışım iki fazda bulunmaktadır.

Habbe noktası eğrisi, sıvı fazdaki bir karışım durumunda kaynamanın başladığı ve ilk buhar kabarcığının oluştuğu noktayı gösterir. Bu ilk kabarcık, sıvının bileşiminden farklı bir bileşime sahiptir. Benzer şekilde çığ noktası eğrisi de buhar

fazı soğutulduğu zaman ilk damlacığın oluşacağı durumu gösterir ve bu damla açık bir şekilde buhar fazından farklı bir bileşime sahip olacaktır⁽⁶⁶⁾.



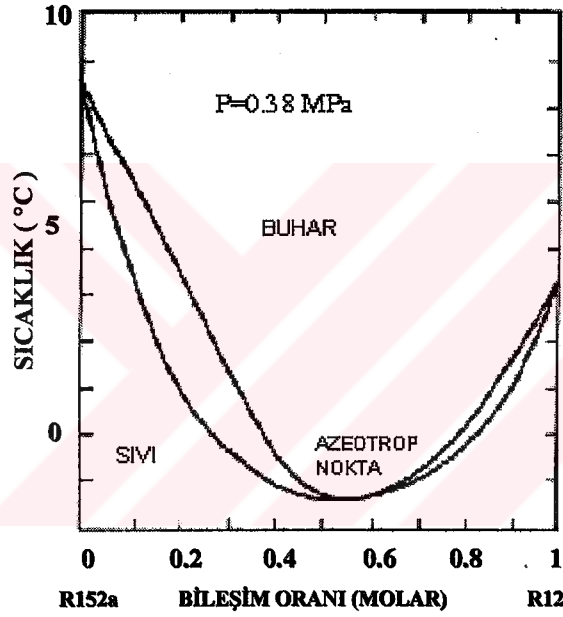
Şekil 1.7. İkili zeotropik karışım için faz diyagramı

Diğer bazı soğutucu akışkan karışımları için, karışım aralığının bir kısmında karışıma ait habbe ve çığ noktası eğrisi çakışacaktır. Dolayısıyla bu noktada bir sıcaklık aralığı oluşmayacaktır. Bu tür karışımlar ise daha önce belirtilen azeotropik karışımlardır. Azeotropik bir karışım için örnek olarak faz diyagramları Şekil 1.8.'de verilen R500 akışkanı gösterilebilir.

Soğutucu akışkan karışımları çözeltilidir. 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 değişir. Sistemin ısı değiştiricisinde uygun donanım değişikliği

yapılırsa bu özellik sistemin veriminin artmasına neden olur. Diğer önemli bir konu ise faz değişimi esnasında sıvı ve buhar yüzdelерinin farklı olmasıdır⁽³²⁾.

Bir karışımın faz değişimine maruz kaldığı durumdaki oluşumu anlamak ve açıklamak için sabit basınçtaki faz değişimiyle ilgilenmek daha kolay olacaktır. Bu durum yaklaşık olarak bir soğutma sistemi veya ısı pompasının buharlaştırıcı ve yoğuşturucusundaki işlemlerle aynıdır.



Şekil 1.8. R500 azetropunun faz diyagramı

Karışımın bir faydası da Montreal protokolü gereği üretimine son verilecek olan CFC ve HCFC soğutucu akışkanlarının yerine kullanılacak olmasıdır. Bazı karışımınlar mevcut ve yeni sistemlerde kullanılmak üzere ticarileştirilmiştir. İlgili karışımınlar ozon tüketim potansiyeli yoktur veya en azından değiştirilecek (R12, R22 ve R502 gibi) akışkanlara göre daha az potansiyele sahiptir. Bir başka faydası da, büyük sıcaklık aralıklı karışımınlar kullanılarak bazı sistemlerin optimize

edilmesine imkan sağlamasıdır. Isı kaynağı ve/veya ısı kuyusunun sıcaklık değişimiyle sıcaklık aralığı eşlenerek sistem performansı en azından teoride artırılabilir. Bunu başarmak için ısı değiştirgecinin zıt akışlı olarak tasarlanması önemlidir. Isı kaynağı veya kuyusunun sıcaklık değişimi daha büyükse (mesela en azından 5 K) avantajlar daha da artabilir⁽⁶⁶⁾.

Bazı durumlarda çalışma akışkanının değiştirilmesi herhangi bir probleme yol açmaz. R12'den R134a'ya dönüşüm tecrübeleri kullanılabilir. Basit sistemler karışımlarla daha iyi çalışır fakat kompleks sistemlerdeki problemlerden kaçınmak ve karışımın kullanıldığı sistemi gerçek olarak optimize etmek için daha fazla bilgi ve daha iyi hesaplama aletlerine ihtiyaç duyulur⁽⁶⁶⁾.

1.4.1. Kütleli Oranlarla Alternatif Karışımlar

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen ve şu anda kaynaklarda bulunan R12, R22 ve R502 alternatif karışımlar, oranlar kütleli olmak üzere aşağıda sıralanmıştır^(8,26,30,33,34,36,38,40,48).

R12 için

- 1) R290/R600a (40/60, 43/57, 48/52, 50/50, 56/44, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10)
- 2) R152a/R134a (14/86)
- 3) R600a/R134a (18/82)
- 4) R290/R134a (5/95)

R22 için

- 1) R32/R125/R134a (30/10/60, 10/70/20)
- 2) R32/R125/R290/R134a (20/55/5/20)

3) R32/R134a (25/75, 30/70)

4) R32/R125 (50/50)

5) R290/R134a (46/54)

R502 için

1) R32/R125/R143a (10/50/40, 10/45/45)

2) R125/R143a/R134a (44/52/4)

3) R32/R125/R134a (20/40/40)

4) R125/R143a/R290 (50/45/5)

5) R125/R290/R134a (70/10/20, 50/5/45)

Bu karışımlardan bir kısmı zeotropik bir kısmı da azeotropik karışımlardır.

1.4.2. Karışımları Karşılaştırma Yöntemleri

Saf akışkanlarla alternatif karışımların karşılaştırılmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarının eşit alınmasıyla yapılan karşılaştırmadır⁽²⁷⁾. Karışımlarda faz değişiminde sıcaklık farkı olduğu için bu karşılaştırmada farklı durumlar ortaya çıkmaktadır. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucuya giriş sıcaklıklarının eşit alınması, buharlaştırıcı ve yoğuşturucudan çıkış sıcaklıklarının eşit alınması, buharlaştırıcıdan çıkış ve yoğuşturucuya giriş sıcaklıklarının eşit alınması, karışımlardaki sıcaklık değişimlerinin ortalamalarının eşit alınması vb. 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 alarak yapılmaktadır⁽⁴⁴⁾. Bu yöntemde buharlaştırıcı ve yoğuşturucu büyüklükleri ile soğutucu akışkanların ısı transfer özellikleri sabit alınmaktadır.

1.5. Ekserji Analizi

Katı haldeki bir maddenin molekülleri birbirlerine göre hareket etmezken gaz fazında moleküller rasgele bir hareket içindedirler. Yani bir sistem daha düzensiz bir hal aldıkça moleküllerin konumu belirsizleşecektir. Bu durum moleküller düzensizlik olarak tanımlanan 'entropi' kavramıyla açıklanmaktadır. Termodinamiğin 2. Yasası, evrendeki tüm oluşların düzensizlik artacak yönde geliştiğini ifade eder. Entropi, enerji gibi korunan bir özellik değildir; dolayısıyla bir hal değişimi sırasında düzensizlik artışının ifadesi olan bir miktar entropi üretimi söz konusudur.

Termodinamiğin 2. Yasası aynı zamanda farklı enerji formları arasında oluşan düzensizlik miktarına dayalı olarak enerji dönüşüm sınırlarını da belirler. Enerji kalitesi bu dönüşümü gerçekleştirme kapasitesi ile eşleşir. Isıl işlemlerin performansı incelenirken enerji kalitesi dikkate alınmazsa yanlış sonuçlara ulaşılabilir. Bu nedenle standart bir enerji kalitesinin belirlenmesi gerekir.

Enerji çeşitlerini iki gruba ayırmak mümkündür;

- 1- Kinetik ve potansiyel enerji gibi başka enerji çeşitlerine tamamen dönüşebilen enerjiler, düzenli enerji olarak da bilinir.
- 2- Isı ve kimyasal enerji gibi başka enerji çeşitlerine kısmen dönüşenler (düzensiz enerji).

Değişik enerji şekilleri arasında olabilecek dönüşümleri, ısı transferlerinin hangi yönlerde olacağı ve herhangi bir işlemin veya kimyasal reaksiyonun gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini belirlemek için entropinin artımı şartı kullanılabilir.

1.5.1. Ekserji

Enerji kalitesinin ısı işlemlerin analizinde dikkate alınması gerektiği belirtilmişti. Bu sebeple, bir sistemin başlangıç ve son hallerindeki iş potansiyelini gözönüne alan bir standart, enerji kalitesi açısından bir fikir verebilecektir. Ekserji olarak isimlendirilecek böyle bir standart, çevre şartları referans olarak alınan bir enerji dönüşüm işleminde elde edilebilecek maksimum iş olarak tanımlanır. Yani bir başka enerji türüne tamamen dönüşebilen enerjiye ekserji denir. Enerjinin işe dönüşmeyen kısmı kayıp iş olarak adlandırılır. Anerji olarak da bilinen bu kayıp başka bir enerji türüne dönüşmez. Dolayısıyla bütün enerji türleri için

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji} \quad (1.1)$$

eşitliği yazılabilir.

Kinetik enerji, potansiyel enerji, mekanik iş ve elektrik enerjisi tamamen ekserjiden ibarettir. Buna karşılık akışkanın çevre durumundaki iç enerjisi, çevrenin iç enerjisi veya ısısı tamamen anerjiden ibarettir. Sıcaklığı çevre sıcaklığından farklı olan ısının veya iç enerjinin başka enerjiye dönüşebilen kısmı ekserji geri kalanı ise anerjidir.

Tersinir işlemlerde ekserjinin tamamı başka enerjiye dönüşürken, tersinmez işlemlerde bir miktarı ısıya dönüşür. Dolayısıyla tersinmez işlemlerde ekserjinin bir miktarı enerjiye dönüşür. Fakat enerjiyi ekserjiye dönüştürmek imkansızdır.

Enerji dengesinde kontrol bölgesini geçen enerji transferinin üç tipi vardır. Bunlar iş, ısı ve kütle transferi ile eşleşen enerji transferidir. Ekserji dengesinde ise enerji dengesinde enerji transferine karşı gelen ekserji transferi tanımlaması yapılacaktır. Yani iş, ısı ve kütle transferi ile eşleşen ekserji transferi gibi.

Ekserji metodunda kullanılan çevre kavramı, mükemmel bir termodinamik dengenin mevcut olduğu ortam için kullanılır. Çevre iş yapma potansiyeline sahip değildir. Fakat çevrenin dışında kalan herhangi bir ortam çevreye göre iş yapma potansiyelindedir. Bu özelliği ile çevre, iş potansiyelini ölçmek için bir referans olarak kullanılır. Çevre olarak atmosfer, denizler, okyanuslar ve yer kabuğu düşünülebilir. Çevre, kendi dışındaki sistemlerle ısı, mekanik ve kimyasal etkileşime maruz kalır ve ısı, mekanik ve kimyasal potansiyel için sıfır referans seviyelerini belirler.

Diğer taraftan ekserji metodunda kullanılmak üzere sınırlı ve sınırsız denge kavramından bahsedilir. Sınırlı denge sistem ve çevre arasındaki mekanik ve ısı denge şartlarında oluşur. Bu denge şartlarında sistem ve çevresi arasında kimyasal denge yoktur, fakat basınç ve sıcaklık eşittir. Sınırsız denge ise, sistem ve çevresi arasında mekanik, ısı ve kimyasal denge şartlarında oluşur. Ayrıca basınç ve sıcaklığa ek olarak kimyasal potansiyellerinde de eşitlik vardır.

1.5.2. Tersinirlik ve Tersinmezlik

Bu kavramlar termodinamikte ve özellikle ekserji metodunda önem taşımaktadır. Tersinir bir işlemi tam olarak gerçekleştirmek mümkün değildir. Fakat bu metotla, ideale yakınlığı belirlemek ve matematiksel olarak bir sistemi tanımlamak kolay olduğundan faydalı bir kavramdır. Tersinmez işleme, evrende kaçınılmaz olarak düzensizliğe gidiş ve dolayısıyla bir entropi artışı eşlik eder. Bu durum enerjinin daha düzenli yapıdan büyük mertebede bir düzensizliğe doğru değişim gösterdiğini açıklar.

Tersinmez işlemlerde iki grup olayla karşılaşılır. Birincisi işin sistemin iç enerjisine direk dönüşümüdür. Bu kayıp, katı veya akışkan sürtünmesi, mekanik veya elektrik histerizis gibi işlemlerde ortaya çıkar. Diğer grup, anlık dengesiz işlemlerden kaynaklanır. Böyle bir işlemde bir sistem kontrolsüz bir tarzda dengesiz bir halden dengeli hale hareket eder. Bu gruptaki tipik olaylar anlık kimyasal reaksiyonlar, serbest difüzyon, kontrolsüz genişleme ve sıcaklık eşitlenmesidir. Tersinmez işlemler bu iki gruba ait olayların karışımından meydana gelir.

Böylece bir işlemin tersinirliği

1- Sistem bir dizi dengeli hallerden geçerse yani işlem sanki-statik olarak gerçekleşirse, 2- Sistem kayıp işle sonuçlanacak olaylardan temizlenirse, gerçekleşir.

1.5.3. İş ve Isı Transferi ile Eşleşen Ekserji

Enerjinin belirli bir formunun iş değerinin ölçüsü ekserji olarak tanımlandığı için işin ekserjiye eşit olduğu söylenebilir. Böylece ekserji hem büyüklük hem de yön olarak iş transferi ile eşleşir. İş için kullanılan aynı W sembolü ekserji için de

kullanılır. Benzer tarzda W_x ile gösterilen iş transfer hızı ekserji transfer hızı için de kullanılacaktır.

Bir kontrol yüzeyinden gerçekleşen ısı transferinin ekserjisi, ısı transferinden elde edilebilen maximum iş miktarı kadardır. Bu transferde çevre sıfır dereceli ısıl enerji deposu olarak kabul edilir. Isı transferinin kontrol yüzeyinde T_r sıcaklığında ve Q_r ısı transfer hızı için, ısıl enerjiden maximum dönüşüm hızı,

$$W_{\max} = E^Q = Q_r \tau \quad (1.2)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikte yer alan τ , boyutsuz ekserjetik sıcaklıktır ve,

$$\tau = 1 - \frac{T_0}{T_r} \quad (1.3)$$

eşitliği ile verilir. Bu değer aynı zamanda, T_0 sıcaklığındaki çevre ile T_r sıcaklığındaki ısı kaynağı arasında çalışan Carnot ısı makinasına ait ısı verimidir. Isı transferi hızı ile eşleşen ekserji, ısıl ekserji akışı olarak bilinir ve eşitlikte görüldüğü gibi E^Q ile gösterilir. E^Q 'nin işareti Q_r ile aynıdır. $T_r > T_0$ için, $\tau > 0$ olur ve kontrol bölgesinin ekserji kazanımı anlamını taşır.

Isı transferinin kontrol yüzeyinde değişik sıcaklık noktalarında gerçekleşmesi durumunda, Q_A ile gösterilen birim alan başına düşen ısı transfer hızı biliniyorsa, A ısı geçiş alanı olmak üzere ısıl ekserji akışı,

$$E^Q = \int_A \left(\frac{T - T_0}{T} \right) Q_A dA \quad (1.4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Fakat işlemleri kolaylaştırmak için sıcaklık dağılımının düzgün olduğu kontrol yüzeyi seçilir. Kontrol yüzeyinin yeri ise dikkatli seçilmelidir. Çünkü bu durum genelde ısıl ekserji akışına etki edecektir.

1.5.4. Madde Akışı ile Eşleşen Ekserji ve Terimleri

Kararlı bir madde akışının ekserjisi, akış başlangıç halinden ölü hale geldiğinde elde edilebilecek maximum iş miktarıdır. Bu tarifte akışın sadece çevreyle etkileşime girdiği kabul edilir. Buradan da anlaşılacağı gibi madde akışının ekserjisini, akış hali ve çevre hali belirler. Enerjide olduğu gibi madde akışı ekserjisi de E ile gösterilir. Ekserji, bu durumda kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjilerin toplamına eşittir.

Madde akışının kinetik ve potansiyel enerjisi, enerjinin düzenli formları olduğu için tamamıyla işe çevrilebilir.

1.5.4.1. Fiziksel Ekserji

Düzensiz enerji formlarından ekserjinin türetilmesinde ilk unsur fiziksel ekserjidir. Madde akışı, çevreyle sadece ısıl etkileşimde olan fiziksel işlemlerle, başlangıç halinden P_0 ve T_0 olarak belirlenen çevre haline getirildiğinde elde edilebilen maximum iş miktarı fiziksel ekserji olarak tanımlanır.

İç tersinmezlikleri dışlayabilmek üzere, madde akışının tersinir işlemlere maruz kaldığı bir kontrol hacminde, giriş halinin P_1 basıncı ve T_1 sıcaklığı; çıkış

halinin ise çevre haline karşı gelen P_0 basıncı ve T_0 sıcaklığı olması durumunda, birim kütle başına transfer edilen ısı miktarı,

$$(q_0)_{\text{ter}} = T_0 (s_0 - s_1) \quad (1.5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Kontrol bölgesinde kararlı akış için enerji denklemi de,

$$(q_0)_{\text{ter}} - (W_x)_{\text{ter}} = h_0 - h_1 \quad (1.6)$$

eşitliği ile verilir. Kontrol hacminden çıkan tersinir iş, akışın özgül fiziksel ekserjisine eşittir ve yukarıdaki eşitlikler kullanılarak şöyle hesaplanır:

$$\varepsilon_{\text{fiz1}} = (W_x)_{\text{ter}} = (h_1 - T_0 s_1) - (h_0 - T_0 s_0) \quad (1.7)$$

Eşitlikte yer alan $(\beta = h - T_0 s)$ terimlerine özgül ekserji fonksiyonu adı verilir ve bu fonksiyon, çevre halindeki maddenin Gibbs fonksiyonu ile aynıdır. Başlangıç hali '1', çıkış hali '0' indisi ile gösterilirse, özgül ekserji farkı cinsinden fiziksel ekserji,

$$\varepsilon_{\text{fiz1}} = \beta_1 - \beta_0 \quad (1.8)$$

eşitliği ile bulunur. Özgül ekserji fonksiyonu, çevre halindeki maddenin Gibbs fonksiyonu ile aynıdır.

Fiziksel işlemlerin analizinde, genellikle olayın iki ayrı hâli için fiziksel ekserji farkı hesaplanır.

$$\varepsilon_{\text{fiz1}} - \varepsilon_{\text{fiz2}} = (h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2) \quad (1.9)$$

eşitliğiyle verilen bu ifadeye dikkat edilirse, çevre parametrelerinden sadece T_0 değerinin etki ettiği görülür.

Madde akışının fiziksel ekserjisi, sıcaklık ve basınç bileşeninden oluşur. Sıcaklık bileşeni, ısı ekserji ile benzer özelliklere sahiptir ve aşağıda verilen eşitlik ile gösterilir:

$$\varepsilon_1^{\Delta T} = \left[- \int_{T_1}^{T_0} \frac{T - T_0}{T} dh \right]_{P_1} \quad (1.10)$$

Basınç bileşeni ise basınç farkından doğar ve,

$$\varepsilon_1^{\Delta P} = T_0 (s_0 - s_i) - (h_0 - h_i) \quad (1.11)$$

eşitliği ile hesaplanır. $T_0 (s_0 - s_i)$ terimi tersinir ısı geçişini, $(h_0 - h_i)$ terimi ise akışkanın ideal olmayan davranışından doğan enerji kaybını gösterir.

1.5.4.2. Kimyasal Ekserji

Madde akışı, çevre ile sadece madde alışverişi yapılan ve ısı transferine maruz kalan işlemlerle, çevre halinden ölü hale getirildiğinde elde edilebilecek maksimum iş miktarı 'kimyasal ekserji' olarak tanımlanır. Fiziksel ekserjiyi belirlerken akımın son hali çevre hali iken kimyasal ekserjide çevre hali başlangıç hali olarak alınmaktadır.

Bir başka ifade ile kimyasal ekserji, maddenin hali çevre haliyle örtüştüğü zamanki madde akışının ekserjisidir. Tersinmezlik kavramından hareketle de kimyasal ekserji, çevre haline geçmek için gerekli minimum iş miktarıdır diye tanımlanır.

Madde akışının ekserjisini kendisinin ve çevrenin kimyasal potansiyelleri arasındaki farkla tesbit etmek için, akımın kimyasal elementlerinin özellikleri çevredeki bu elementlere uygun maddelerin seçimi ile belirlenir. Bu referans maddeleri çevre ile tamamiyle dengede olmalıdır. Standart referans maddeleri tablolar halinde verilmektedir.

Kimyasal ekserjinin ilk tanımında verilen maximum iş miktarı, işlemin tamamiyle tersinir olması durumunda elde edilebilir. Bu işlemde başlangıç hali, P_0 ve T_0 ile belirlenen çevre halidir. Son hal ise P_{00} ve T_0 ile belirlenen ölü haldir. P_{00} , kısmi basıncı gösterir. Dikkat edilirse işlemin başlangıç ve bitiş hali için T_0 sıcaklığı geçerlidir. Yani maximum iş, tersinir izotermal işlemle gerçekleşmektedir. Böylece mol başına kimyasal ekserji

$$\bar{\epsilon}_{\text{kim}} = \bar{R} T_0 \ln \frac{P_0}{P_{00}} \quad (1.12)$$

eşitliği ile verilir.

Kimyasal ekserji, çevrenin referansı ile ilgili olduğu için bu referans kimyasal reaksiyonu hesaplamak için esas teşkil eder. Aşağıdaki hallerde kimyasal ekserji dikkate alınmaz:

- 1- İşlem kimyasal reaksiyonu içermiyorsa,
- 2- Kontrol yüzeyini geçen akımın kimyasal özelliği değişmiyorsa,
- 3- Çevre ile madde alışverişi bulunmuyorsa ve
- 4- Giren ve çıkan akımların ekserjisi ekserji dengesine katılmıyorsa.

Bu şartlar altında ekserjinin değeri relatif değerler olarak tablolarda verilir.

Bu değerler,

$$\varepsilon = h - T_0 s - \beta_a \quad (1.13)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte yeralan β_a 'nın hesabı, h_a ve s_a özellikleriyle belirlenen a referansına göre

$$\beta_a = h_a - T_0 s_a \quad (1.14)$$

eşitliği ile yapılacaktır.

1.5.5. Kontrol Bölgesi Analizi

1.5.5.1. Ekserji Dengesi

Ekserji dengesi, ekserjinin azalması yasası diye ifade edilir. Kontrol bölgesine veya kontrol bölgesinden ekserji akışı, maddenin girişi, çıkışı, ısı transferi ve iş transferi ile eşleşir. Ekserji transferinin bu farklı bileşenleri genel olarak pozitif veya negatif işarete sahip olabilir.

Kontrol bölgesine ekserji akışı, kontrol bölgesinden olan ekserji akışından daima büyüktür. İkisi arasındaki farklılık, ekserji kaybının hızını verir ve tersinmezlik hızı olarak bilinir. Bu durum bütün gerçek işlemlere uygulanabilir. Tersinir bir işlemde ekserjinin giriş ve çıkış değerleri eşittir. Bundan dolayı tersinmezlik hızı sıfırdır.

Ekserji dengesi,

$$\dot{E}_g + \dot{E}^Q = \dot{E}_\varphi + \dot{W}_x + \dot{I} \quad (1.15)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte yeralan ifadeler,

$$\dot{E}_g = \sum_g m \varepsilon \quad (1.16)$$

$$\dot{E}_\varphi = \sum_\varphi m \varepsilon \quad (1.17)$$

$$\dot{E}^Q = \sum_r \left[\dot{Q}_r \frac{T_r - T_0}{T_r} \right] \quad (1.18)$$

$$\varepsilon = (h - T_0 s) - (h_0 - T_0 s_0) + \varepsilon_0 + \frac{C_0^2}{2} + g_E Z_0 \quad (1.19)$$

eşitlikleriyle verilir. Kontrol bölgesi ve çevre arasında madde alışverişinin olmadığı fiziksel işlem durumlarında kimyasal ekserji ve $(h_0 - T_0 s_0)$ terimi ekserji dengesinde ihmal edilecektir.

1.5.5.2. Gouy-Stodola Bağıntısı

Açık sistem için tersinmezlik hızının en genel şekli,

$$\dot{I} = T_0 \dot{\Pi} \quad (1.20)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlik, çevre sıcaklığı ve işleme katılan bütün sistemler için entropi üretim hızının sonucunu verir. Bu eşitlikteki $\dot{\Pi}$, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{\Pi} = \sum_{\varphi} \dot{m}_{\varphi} s_{\varphi} - \sum_g \dot{m}_g s_g - \sum_r \frac{\dot{Q}_r}{T_r} \quad (1.21)$$

Sağdaki ilk iki terim kontrol bölgesine giren ve çıkan madde akışı ile eşleşen entropi akısını verir. Son terim ise, ısıl entropi akılarının toplamını verir. (1.21) ve (1.15) nolu eşitlikler birbirleriyle bağlantılıdır. Her ikisi de kontrol bölgesi için tersinmezlik hızını hesaplamada kullanılabilir.

1.5.5.3. Tersinmezlik Hızı ve Kontrol Yüzeyi

Ekserji metodunun bir özel faydası da işlem tersinmezliklerinin nümerik değerlerinin hesaplanabilmesidir. Gouy-Stodola bağıntısında görüldüğü gibi kontrol bölgesindeki tersinmezlik hızı, çevre sıcaklığı ve entropi üretim hızı kullanılarak bulunur. Entropi üretimi, fiziksel yüzeylerde meydana geldiği için fiziksel yüzeyin sınırları kontrol yüzeyi ile açıkça belirlenmelidir. Bu durum bazen mevcut çevredeki iç ve dış tersinmezlikleri ayırmak için kullanılır.

Tesislerde ve bileşenlerinde tersinmezlik hızı ile kayıplar tesbit edilir, karşılaştırılır ve en büyük kaybın olduğu yer belirlenir.

1.5.6. Oransal Verim

Isıl tesislerin performansını değerlendirmek amacıyla genelde iki tip kriter tanımlanır. Bunların birincisi enerji dönüşüm oranları, yani ayrıntılı ısıl verim ve performans katsayılarıdır. Bu kriter, ısıl tesislerin bütününün performansını

hesaplamak için kullanılır. Diğer kriter ise tesis bileşenlerine uygulanan gerçek ve ideal sonuçları veren oranlardır. Bunlara, izentropik verimler, ısı oran ve mekanik verim örnek olarak verilebilir. Bu kriterlerin hesaplanmasında, enerjinin bütün formları eşdeğer olarak alınır. Yani 2. Yasa kullanılmaz.

Isıl tesislerin ekserji analizinde enerji kalitesi inceleneceği için performans katsayıları yerine ekserjiye dayalı bir verim tanımlaması yapılır.

Kararlı şartlarda bir işleme maruz kalan bir sistem için işlem tamamen kayıplı olmadığı sürece ekserji transferleri, işlemin girdi ve çıktısını gösterecek gruplara ayrılabilir. Ekserji girdi ve çıktıları farklı formlar alabilirler. Bunlara iş veya ısı transferi ile eşleşen ekserji, kontrol bölgesi içinde veya dışında madde akışı ile eşleşen ekserji transferi örnek olarak gösterilebilir. Ekserji girişi veya çıkışı olmayan ekserji dengesinde ekserji transfer terimleri bulunmaz.

Bir kontrol hacminde tüm tersinmezlikleri içine alacak şekilde, giren ve çıkan ekserji değerleri toplamı dikkate alınarak ekserji dengesi,

$$\sum \Delta \dot{E}_g = \sum \Delta \dot{E}_\varphi + \dot{I} \quad (1.22)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikteki ekserji terimleri iş, ısı veya madde akışına karşı gelen ekserji miktarları olabildiği gibi bir sistem için net ekserji değişim miktarını da gösterebilir. 2. Yasa gereği birim zamandaki tersinmezlik değişimi pozitif olacağı için,

$$\frac{\sum \Delta \dot{E}_\varphi}{\sum \Delta \dot{E}_g} \leq 1 \quad (1.23)$$

bağıntısı elde edilir. Böylece bir kontrol hacminden çıkan ekserjinin giren ekserjiye oranı '1'den küçüktür. Bu değer tersinirlik durumunda '1' olacaktır. Ekserjiye bağlı olarak bulunan bu değer 'Oransal Verim' olarak adlandırılır ve

$$\psi = \frac{\sum \Delta \dot{E}_g}{\sum \Delta \dot{E}_g} = 1 - \frac{\dot{I}}{\sum \Delta \dot{E}_g} \quad (1.24)$$

eşitliğiyle verilir.

Bu bölümdeki bilgiler (71,72,73,74) nolu kaynaklar kullanılarak hazırlanmıştır.

1.6. Hal Denklemleri

Soğutma sisteminin dizaynında çalışma akışkanlarının termodinamik özelliklerinin bilinmesi çok büyük önem taşır. Karışıma katılabilecek akışkan sayısının fazlalığı ve karışım oranlarının değişebilirliği dikkate alınrsa bütün alternatifler için soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesinin güçlüğü ortaya çıkar⁽²⁾. Bundan dolayı akışkanların termodinamik özelliklerinin matematiksel formülasyonu olan hal denklemlerini kullanma zorunluluğu doğmuştur.

Bir maddenin basıncı, sıcaklığı ve özgül hacmi arasındaki ilişkiyi veren herhangi bir bağıntıya hal denklemi denir. Denge halinde bir maddenin diğer özellikleri arasındaki ilişkileri veren bağıntılara da hal denklemi denir. Bazıları çok basit bazıları çok karmaşık olan birçok hal denklemi vardır. Bu denklemlerin en basit

ve en çok bilineni mükemmel gaz denklemdir. Bu denklem belirli sınırlar içinde gazların P-v-T ilişkisini oldukça hassas biçimde verir.

Bir hal denklemini bir akışkanın termodinamik özelliklerinin matematiksel formülasyonudur. Uygun bir şekilde formüle edilmiş hal denkleminin (yardımcı denklemlerle de birlikte olabilir) geniş sıcaklık ve basınç aralıklarında ve deneysel veri belirsizlikleri içinde deneysel özellik verilerini elde edebilmesi mümkündür⁽⁶⁷⁾. Bir hal denklemini bazı bireysel özelliklerin basit matematiksel bağıntısından ayırılır. Bu bağıntılar türev ve integral sayesinde entropi gibi doğrudan ölçülemeyen termodinamik özelliklerin tamamını verir.

Saf akışkanların termodinamik özelliklerini hesaplamak için geçen yüzyılda çok sayıda ampirik modeller geliştirilmiştir. Bu modeller veya hal denklemleri genellikle üç kategoriye ayrılır: Etki katsayılı denklemler, bunları takip eden klasik van der Waals yaklaşımı ve çok parametrelilik denklemler. Van der Waals yaklaşımı kübik hal denklemlerini ihtiva eder. Çok parametrelilik denklemler ise basınca dayalı denklemler ve temel denklemler içerir.

Bu modeller sadece saf akışkanların özelliklerinin tahmini için değil aynı zamanda karışımların özelliklerini hesaplamak için de genişletilebilirler. Bu modellerin tamamı en azından karışımın bir fazındaki P-v-T özelliklerini hesaplamak için kullanılabilir. Sıvı ve buhar fazlarının her ikisinde de P-v-T özelliklerinin hesaplanabildiği bu modellerde genel olarak sıvı-buhar dengesi (VLE) özellikleri de hesaplanabilir. Kübik hal denklemleri kullanıldığında VLE hesaplamaları genelde P-v-T hesaplamalarına göre daha iyidir. Temel denklemden geliştirilen modeller ses hızı ve ısı kapasitesini hesaplamak için de kullanılabilir⁽⁶⁷⁾.

Mükemmel gaz denklemi basit ve kullanışlıdır. Fakat gazlar moleküler dizilişteki farklılaşma sonucu kritik nokta ve doyma eğrisi yakınlarında mükemmel gaz davranışından önemli ölçüde uzaklaşırlar. Verilen bir sıcaklık ve basınçta mükemmel gaz davranışından sapma, Z sıkıştırılabilirlik faktörü olarak tanımlanan bir parametre kullanılarak gösterilebilir. Bu çarpan,

$$Z = \frac{Pv}{RT} = \frac{v_{\text{gerçek}}}{v_{\text{mükemmel}}} \quad (1.25)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $v_{\text{mükemmel}} = RT/P$ olmaktadır. Doğal olarak mükemmel gazlar için $Z=1$ 'dir. Gerçek gazlar için Z, 1'den büyük veya küçük olabilir. Z, 1 değerinden ne kadar uzaklaşırsa mükemmel gaz davranışından sapma da o kadar büyük olur.

Bir maddenin sıcaklığına veya basıncına yüksek veya düşük diyebilmek için kritik sıcaklığını ve basıncını göz önüne almak gerekir. Değişik gazlar verilen bir basınç veya sıcaklıkta birbirinden farklı davranabilirler, fakat kritik sıcaklık ve basınçlarına göre indirgenmiş sıcaklık ve basınçlarda davranışları birbirine benzer. İndirgenmiş sıcaklık T_R ve indirgenmiş basınç P_R aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$P_R = \frac{P}{P_{\text{cr}}}; \quad T_R = \frac{T}{T_{\text{cr}}} \quad (1.26)$$

Z, aynı indirgenmiş sıcaklık ve basınçta tüm gazlar için yaklaşık olarak aynı değere sahiptir. Bu olguya karşılıklı haller (corresponding states principal) ilkesi adı verilir. İndirgenmiş basınç ve indirgenmiş sıcaklığa dayalı olarak tüm gazlar için geçerli olacak şekilde genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramı elde edilmiştir. Bu diyagramdan aşağıdaki gözlemler yapılabilir⁽⁵⁹⁾:

- Çok düşük basınçlarda ($P_R \ll 1$) gazlar sıcaklık ne olursa olsun mükemmel gaz gibi davranırlar.
- Yüksek sıcaklıklarda ($T_R > 2$), basınç çok yüksek ($P_R \ll 1$) olmadığı sürece gazlar mükemmel gaz gibi davranırlar.
- Mükemmel gaz davranışından uzaklaşma en çok kritik nokta yakınlarında olur.

Mükemmel gaz hal denklemi basit olmakla birlikte kullanım alanı sınırlıdır. Maddelerin P-v-T ilişkilerini daha geniş sınırlar içinde herhangi bir kısıtlama olmadan ifade eden hal denklemlerine gerek duyulur. Bu denklemler doğal olarak daha karmaşıktır.

Önceleri hal denklemleri akışkanların sadece buhar fazının davranışını belirlemek için kullanılmıştır. Daha sonra ise sıvı fazlar için de kullanılmaya başlanmıştır. Böylece bu denklemler sıvı ve buhar fazlarının her ikisinin de P-v-T davranışını belirlemek için kullanılmaktadır.

Hal denklemleri sadece saf akışkanların özelliklerini tahmini için değil aynı zamanda karışımların özelliklerini hesaplamak için de genişletilebilirler.

1.6.1. Etki Katsayılı Hal Denklemi

Etki katsayılı hal denklemi sıkıştırılabilirlik faktörünü tanımlamak için özgül hacme bağlı güç serisini kullanır. Bir maddenin hal denklemi seri toplamı olarak da ifade edilebilir:

$$P = \frac{RT}{v} + \frac{RTB}{v^2} + \frac{RTC}{v^3} \Lambda \quad (1.27)$$

Bu ve buna benzer denklemler, etki katsayılı hal denklemleri; sadece sıcaklığın fonksiyonu olan B;C,... ve benzeri katsayılar da ikinci, üçüncü, ...derece etki sayıları diye adlandırılır. Bu denklem özgül hacme bağlı güç serisi olmasına rağmen istatistiksel mekanik modellerden türetilebilir. Her bir etki katsayısı moleküller arasındaki özel tip bir etkileşimi açıklar. İkinci etki katsayısı ikili etkileşimi açıklar, üçüncü ise üçlü etkileşimi.

Etki kat sayılı hal denklemi sadece buhar fazındaki özelliklere uygulanabilir. Prensipde bu hal denklemi bütün hallere uygulanabiliyorken pratikte üçüncü dereceden daha büyük etki katsayıları deneylerden kolaylıkla bulunamaz ve böylece bu denklem geniş aralıklı formülasyonlar için kullanışlı değildir. İkinci ve üçüncü etki katsayıları 0.5 değerindeki kritik yoğunluğa kadar polar olmayan gazların buhar fazlı özelliklerini göstermek için genellikle yeterlidir. HFC soğutucu akışkanlar gibi polar akışkanlar içinse kabul edilebilir bölge küçültülür. Bu denklemler karışımlara da uygulanabilmektedir.

Doğal olarak basınç sıfıra giderken etki katsayıları da sıfıra yaklaşacak, böylece denklem mükemmel gaz hal denklemine indirgenmiş olacaktır. Genelde ikinci terimde kesilir ve

$$Z = 1 + \frac{BP}{RT} = 1 + \frac{B}{v} \quad (1.28)$$

şekline indirgenir.

1.6.2. Van der Waals Yaklaşımı (Kübik Hal Denklemleri)

Kübik hal denklemi ismi 1., 2. ve 3. derece hacim terimlerini içermesinden dolayı verilmiştir. Kübik denklemlerin avantajlarından biri iterasyon yapmaksızın köklerin bulunmasıdır. Bununla birlikte kübik denklemle eşleşen hatalar, temel hal denklemleriyle hesaplananlara göre daha yüksektir. En iyi bilinen kübik hal denklemleri Van der Waals, Redlich-Kwong (RK), Soave ve Peng-Robinson (PR) denklemleridir.

1.6.2.1. Van der Waals Hal Denklemi

Bu denklemler içinde en eskisidir. Maddenin kritik noktadaki davranışından belirlenen iki sabiti vardır. Aşağıdaki şekilde

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \quad (1.29)$$

ve farklı bir düzenlemeyle

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a}{v^2} \quad (1.30)$$

şeklinde verilir.

Van der Waals, mükemmel gaz hal denkleminde göz önüne alınmayan iki etkiyi hesaba katarak, mükemmel gaz hal denklemini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Bunlar molekülleri birbirine çeken kuvvetler ve moleküllerin kapladığı hacimdir. Denklemdaki a/v^2 terimi moleküller arası kuvvetleri, b terimi ise gaz moleküllerinin

kapladığı hacmi hesaba katar. Van der Waals bu durumu, mükemmel gaz hal denkleminde v yerine $(v-b)$ kullanarak göz önüne almıştır.

Bu denklemde yer alan iki sabitin değerleri kritik noktadan geçen eşsıcaklık eğrisinin birinci ve ikinci türevlerinin sıfır olduğu gözlemine dayanarak bulunur. Bu nedenle kritik noktada P 'nin v 'ye göre birinci ve ikinci türevleri sıfıra eşitlenerek a ve b katsayıları aşağıdaki gibi belirlenir:

$$a = \frac{27R^2T_{cr}^2}{64P_{cr}} \quad b = \frac{RT_{cr}}{8P_{cr}} \quad (1.31)$$

Van der Waals hal denkleminin hassaslığı genellikle yetersizdir, fakat sadece kritik nokta yerine, gerçek gazın daha geniş bir aralıktaki davranışı gözlenerek bulunacak a ve b değerleri ile hassaslık bir ölçüde artırılabilir. Eksikliklerine rağmen Van der Waals denklemi, gerçek gazların davranışını modellemeye yönelik ilk çaba olduğundan tarihi bir öneme sahiptir.

1.6.2.2. Redlich-Kwong Hal Denklemini

Bu denklem aşağıdaki gibi verilir:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(b+v)} \quad (1.32)$$

Burada

$$a = \frac{0.42748R^2T_{cr}^{2.5}}{P_{cr}T_{cr}^{0.5}} \quad b = \frac{0.08664RT_{cr}}{P_{cr}} \quad (1.33)$$

ile verilir. Bu hal denklemi iki sabitli diğer denklemler arasında tercih edilmektedir. Kritik bölgeleri birbirinden çok uzak olmayan akışkan karışımlarına da uygulanabilmektedir. Bu hal denkleminde diğer kübik denklemlerde olduğu gibi hacim için üç tane kök değeri çıkar. Fiziksel olarak hacim değeri gerçek ve pozitif sayı olmalıdır. $T > T_{cr}$ olması durumunda pozitif P değeri için gerçek kök çıkmaktadır. $T = T_{cr}$ için de kritik basınç değeri hariç aynı durum geçerlidir. $T < T_{cr}$ olması durumunda yüksek basınçlarda bir kök vardır. Düşük basınçlarda ise üç gerçek kök vardır. En küçük değer sıvı en büyük değer ise buhar hacmini verir. Ortadaki değer bir önemi yoktur. Direk çözüm yapılabildiği gibi iteratif yöntemle de çözüme gidilebilir. Örneğin buhar fazı hacmini belirlemek için

$$v_{i+1} = \frac{RT}{P} + b - \frac{a(v_i - b)}{Pv_i(b + v_i)} \quad (1.34)$$

eşitliğiyle iteratif çözüm yapılabilir. Başlangıç olarak

$$v_0 = \frac{RT}{P} \quad (1.35)$$

ideal gaz eşitliği kullanılabilir.

1.6.2.3. Soave Hal Denklemi

Redlich-Kwong hal denklemindeki a sabitinde Soave tarafından bir değişiklik yapılarak elde edilmiştir. a sabiti şu şekildedir:

$$a = \frac{0.42748 R^2 T_{cr}^2}{P_{cr}} \left[1 + (0.48 + 1.574 w - 0.176 w^2) (1 - T_r^{1/2}) \right]^2 \quad (1.36)$$

1.6.2.4. Peng-Robinson Hal Denklemi

Bu denklem aşağıdaki gibidir:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2 + 2bv - b^2} \quad (1.37)$$

a ve b sabitleri şöyledir:

$$a = \frac{0.45724 R^2 T_{cr}^2}{P_{cr}} \left[1 + (0.37464 + 1.54226w - 0.26992w^2) (1 - T_r^{1/2}) \right]^2 \quad (1.38)$$

$$b = \frac{0.0778 RT_{cr}}{P_{cr}}$$

Kübik hal denklemleri karışımlar için kullanıldığı zaman a ve b sabitleri karışım yüzdeleriyle beraber hesaplanabilmektedir. İkili bir karışım için aşağıdaki gibi hesaplanarak ilgili hal denklemi kullanılabilir:

$$a = a_1 x_1^2 + 2(1 - k_{12})(a_1 a_2)^{1/2} x_1 x_2 + a_2 x_2^2 \quad b = b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (1.39)$$

Burada x karışım yüzdelerini göstermektedir. k_{12} ise karışım maddeleriyle ilgili bir sabittir.

Bu dört denklemi de içine alacak şekilde iki parametrelili kübik denklemler

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2 + ubv + wb^2} \quad (1.40)$$

bağıntısı ile verilir. Bu bağıntıda u ve w değerleri sıfır alınırsa Van der Waals, $u=1$ ve $w=0$ alınırsa RK, $u=2$ ve $w=-1$ alınırsa PR hal denkleminde ulaşılır. Bu ifadenin eşdeğer bir formu

$$Z^3 - (1 + B^* - uB^*)Z^2 + (A^* + wB^{*2} - uB^* - uB^{*2})Z - A^*B^* - wB^{*2} - wB^{*3} = 0 \quad (1.41)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemin 3. dereceden olması nedeniyle bu denklemlerin tamamı kübik denklemler olarak isimlendirilir. Burada

$$A^* = \frac{aP}{R^2T^2} \quad B^* = \frac{bP}{RT} \quad (1.42)$$

ile tanımlanır.

1.6.3. Çok Parametrelili Hal Denklemleri

Bu denklemlerde basınç, ideal gazdaki karşılığı olan (RT/v) teriminin yanına birden fazla çarpan ve/veya toplam terimlerin katılmasıyla elde edilmiştir.

1.6.3.1 Carnahan-Starling-De Santis Hal Denklemi

Kritik değerlerle bulunan iki sabiti vardır. Soğutucu akışkanlar ve karışımlarına ait termodinamik özelliklerin belirlenmesinde ve sıvı-buhar dengesi hesaplarında kullanılmıştır.

$$P = \frac{RT}{v} \left[\frac{1 + y + y^2 - y^3}{(1 - y)^3} - \frac{a}{RT(v + b)} \right] \quad (1.43)$$

Burada $y = b/4v$ şeklindedir.

Carnahan-Starling-DeSantis hal denklemi net bir şekilde kübik hal denklemi olmamasına rağmen (çünkü 5. derece hacim ifadesi vardır) aynı karakterdedir. a ve b parametreleri sıcaklığa bağlı deneysel fonksiyonlardır ve kübik hal denklemindeki ile aynı anlama sahiptirler.

1.6.3.2. Helmholtz Enerji Hal Denklemi

Son zamanlarda saf akışkanlar için yüksek hassasiyetli çoğu hal denklemi, genel formda kullanılan indirgenmiş molar Helmholtz enerjisi ile ifade edilmiştir. Aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$\alpha = \frac{A}{RT} = \alpha^{id} + \alpha^r = \ln \delta - N \ln \tau + \sum_i N_i \tau^{t_i} + \sum_k N_k \tau^{t_k} \delta^{d_k} \exp(-\gamma \delta^{l_k}) \quad (1.44)$$

Sağ taraftaki ilk üç terim ideal gaz katkısını (α^{id}) oluşturur. İdeal gaz katkısı şöyle ifade edilir:

$$\alpha^{id} = \frac{H_{ref}}{RT} - \frac{S_{ref}}{T} - 1 + \ln \left(\frac{T\rho}{T_{ref}\rho_{ref}} \right) + \frac{1}{RT} \int_{T_{ref}}^T C_p^{id} dT - \frac{1}{R} \int_{T_{ref}}^T \frac{C_p^{id}}{T} dT \quad (1.45)$$

Burada H_{ref} ve S_{ref} , T_{ref} ve ρ_{ref} ile belirtilenler keyfi olarak seçilen referans hali için entalpi, entropi, sıcaklık ve yoğunluk değerleridir.

Helmholtz enerji eşitliğindeki ikinci toplam, artık (residual) veya gerçek akışkan katkısıdır. Sıcaklık ve yoğunluk boyutsuz değerlerle ($\tau=T^*/T$ ve $\delta=\rho/\rho^*$) ifade edilir. Buradaki T^* ve ρ^* indirgenmiş parametrelerdir, genelde kritik parametrelere eşittir. N_i ve N_k , deneysel veriye dayalı olarak türetilmiş nümerik

katsayılarıdır. t_i , t_k , d_k ve l_k üsleri bir algoritma ile belirlenir. γ parametresi $l_k=0$ için sıfıra, $l_k \neq 0$ için 1'e eşittir. Bu "Helmholtz Enerji Modeli" R134a için uluslararası standart formülün esasıdır ve bu soğutucu akışkan için termodinamik özelliklerin bütününe ait tanımı verir⁽⁶⁸⁾.

Lemmon ve Tillner-Roth tarafından bağımsız bir şekilde biraz farklı bir formda geliştirilen yeni bir model, karışım kurallarını karışım bileşenlerinin Helmholtz enerjisine uygulayarak karışımların termodinamik özelliklerini hesaplar^(42,69).

$$\alpha_{\text{mix}} = \sum_{j=1}^n [x_j (\alpha_j^{\text{id}} + \alpha_j^r) + x_j \ln x_j] + \sum_{p=1}^{n-1} \sum_{q=p+1}^n x_p x_q F_{pq} \alpha_{pq}^{\text{excess}} \quad (1.46)$$

Bu karışım formülü doğrudan Helmholtz hal denkleminde uygulanabilir. Bu denklemden ilk toplam, ideal çözümü gösterir; n bileşenli karışımın saf akışkanların her biri için ideal gaz ve artı/gerçek akışkan terimlerinden ibarettir. $x_j \ln x_j$ terimleri, x_j 'nin j bileşeninin mol yüzdesidir. Çift toplam aşırı Helmholtz enerji veya ideal çözümüden uzaklaşmayı ifade eder. F_{pq} genelleştirilmiş parametrelerdir; bu parametreler ikili bir çiftin diğeriyle davranışını ilişkilendirir. F_{pq} , $\alpha_{pq}^{\text{excess}}$ terim(ler)i ile çarpılır; bu terimler deneysel ikili karışım verisine uydurulmuş ampirik fonksiyonlardır. α_j^r ve $\alpha_{pq}^{\text{excess}}$ fonksiyonları, karışımın T_{mix} ve ρ_{mix} sıcaklık ve yoğunluğunda değil indirgenmiş τ ve δ sıcaklık ve yoğunluğunda dikkate alınır. İndirgenmiş parametreler için karışım kuralları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{T^*}{T_{\text{mix}}}; \quad T^* = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n k_{T,pq} x_p x_q (1/2) (T_p^{\text{crit}} + T_q^{\text{crit}}) \\ \delta &= \frac{\rho_{\text{mix}}}{\rho^*}; \quad \frac{1}{\rho^*} = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n k_{V,pq} x_p x_q (1/2) \left(\frac{1}{\rho_p^{\text{crit}}} + \frac{1}{\rho_q^{\text{crit}}} \right) \end{aligned} \quad (1.47)$$

Kritik sıcaklıklı $k_{T,pq}$ ve kritik yoğunluklu $k_{V,pq}$ 'yi birleştiren karşılıklı formlar da kullanılır.

$$T^* = \sum_{p=1}^n x_p T_p^{\text{cr}} + \sum_{p=1}^{n-1} \sum_{q=p+1}^n \zeta_{pq} x_p^{\beta_{pq}} x_q; \quad \frac{1}{\rho^*} = \sum_{p=1}^n x_p \frac{1}{\rho_p^{\text{cr}}} + \sum_{p=1}^{n-1} \sum_{q=p+1}^n \xi_{pq} x_p x_q \quad (1.48)$$

Sadece sınırlı sıvı-buhar dengesi verisi kullanılabilirse, $\alpha_{pq}^{\text{excess}}$ terimi sıfır alınabilir ve sadece $k_{T,pq}$ ve/veya $k_{V,pq}$ parametreleri kullanılabilir. Lemmon⁽⁴⁾ tarafından, hidrokarbonlar, inorganik moleküller (CO₂ da dahil) ve HFC'lerden oluşan 28 ikili çifte dayalı genelleştirilmiş $\alpha_{pq}^{\text{excess}}$ fonksiyonu belirlenmiştir.

Bu modeldeki türetilmiş parametrelerin büyük esnekliği, yeterli deneysel veri kullanılması şartıyla karışımların geniş bir değişiklikte hassas bir gösterimine müsaade eder⁽⁴²⁾.

1.6.3.3. Benedict-Webb-Rubin (BWR) ve Modified BWR Hal Denklemleri

Geniş aralıktaki şartları sağlamak amacıyla dizayn edilen en eski hal denklemlerinden biri de Benedict, Webb ve Rubin tarafından geliştirilmiştir.

$$\begin{aligned} P &= \rho RT + \left(B_0 RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2} \right) \rho^2 + (bRT - a) \rho^3 \\ &+ a\alpha \rho^6 + \frac{c\rho^3(1 + \gamma\rho^2)}{T^2} \exp(-\gamma\rho^2) \end{aligned} \quad (1.49)$$

Bu denklemde 8 tane deneysel sabit vardır. Bu denklemin sağ tarafındaki ilk terim ideal gaz kanunudur. Daha sonraki iki grup terim ise ikinci ve üçüncü etki katsayılı terimlere benzer terimlerdir. Bu terimler düşük yoğunluklu buhar bölgesinde denklemin uygun davranış sergilemesini temin eder. Son iki grup terim ise deneyseldir; eksponansiyel fonksiyon, yüksek yoğunluklu sıkıştırılmış sıvı durumlarında hassasiyeti artırmak için kullanılır.

BWR hal denklemi nitrojenin özelliklerini belirlemek amacıyla Jacobsen ve Stewart tarafından düzeltilmiş ve genişletilmiştir. Bu düzeltilmiş denklem (MBWR) daha sonra hidrokarbonları, croyejenleri (He vb.) ve soğutucu akışkanları içeren çok geniş aralıktaki sıcaklık, basınç ve yoğunluk için bir akışkanın özelliklerinin belirlenmesinde hassas olarak kullanılmaktadır. MBWR denklemi R123'ün özellikleri için mevcut uluslararası standardın esasıdır.

MBWR denklemi sıcaklığın ve molar yoğunluğun açık bir fonksiyonu olarak basıncı ifade eder.

$$P = \sum_{i=1}^9 a_i \rho^i + \exp(-\rho^2 / \rho_{cr}^2) \sum_{i=10}^{15} a_i \rho^{2i-17} \quad (1.50)$$

Bu denklemde a_i , 32 düzgün parametrenin toplamı ile bulunan sıcaklığın fonksiyonudur. Entalpi, entropi gibi enerji miktarlarının tamamının tanımlanması için MBWR denklemi tamamen basınca dayalı hal denklemi gibi ideal gaz halinin molar ısı kapasitesi için bir ifadeyle birleştirilir.

1.6.3.4. Martin-Hou Hal Denklemi

Bu denklem van der Waals itici (repulsive) terimini çok genişletilmiş deneysel baskın terimle birleştirir.

$$P = \frac{RT}{V-b} + \sum_{i=2}^5 \frac{A_i + B_i T + C_i \exp(-KT/T^{cr})}{(V-b)^i} \quad (1.51)$$

Bu denklemde K ve A_i , B_i ve C_i 'ler parametrelerdir. Etki katsayılı hal denklemiyle beraber Martin-Hou denklemi sıvı bölgesinde geçerli değildir. Doymuş sıvı hali özelliklerinin hesaplanmasında doymuş sıvı yoğunluğu ve buhar basıncı için yardımcı denklemlerle birlikte kullanılır. Doyma entalpisi, buhar fazlı özelliklerden ve Clapeyron denklemiyle yardımcı denklemlerden elde edilir.

$$H_{vap} - H_{liq} = T(V_{vap} - V_{liq}) \frac{dP_{sat}}{dT} \quad (1.52)$$

Downing, daha eski soğutucu akışkanların çoğu için uygun parametrelerin derlenmesiyle bu hal denklemi hakkında geniş bir bilgi vermiştir⁽⁶⁷⁾.

1.7. Sıvı Buhar Dengesi

Bir tek soğutucu akışkan, doymuş sıvı ve doymuş buhar durumları arasında sabit basınçta yoğuştuğu veya buharlaştığı zaman sıcaklık sabit kalır. Fakat ikili karışımda sabit basınçta bile sıcaklık giderek değişir.

Bazı termodinamik uygulamalarda gazların veya sıvıların çok bileşenli karışımlarına ait özellikler, sıcaklığa ve basınca bağlı olduğu kadar karışım oranına da bağlıdır.

Karışımlarla ilgili bazı problemlerin çözümünde saf maddelerin 'fugasite' adı ile anılan özeliğinin kullanılması büyük önem taşır. Fugasite, basınç boyutunda olan bir büyüklüktür ve basınç yerine fugasite kullanıldığı zaman ideal gazlar için yazılmış bulunan eşitlikler gerçek gazlar için de kullanılabilir. Karışımdaki herbir i bileşenin termodinamik olarak denge şartı

$$f_i^b = f_i^s \quad (1.53)$$

ile verilir. Burada f, fugasite; b, buhar; s ise sıvıyı gösterir. Esas problem, karışım bileşimi ile fugasite arasında bağıntı kurmaktır. Bir karışımda bileşenin fugasitesi sıcaklığına, basıncına ve karışımın oranına bağlıdır. Buhar fazı için bileşim y mol yüzdesi ile ifade edilir. Sıcaklık, basınç ve mol yüzdesi ile fugasite arasında bağıntı kurmak için

$$\phi_i = \frac{f_i^b}{y_i P} \quad (1.54)$$

eşitliği ile verilen fugasite katsayısını bilmek gerekir. Bu katsayı sıcaklığa, basınca ve çok bileşenli karışımın buhar fazındaki bütün mol yüzdelerine bağlıdır. i bileşenin sıvı fazındaki fugasitesi γ_i aktivite katsayısı sebebi ile o fazdaki karışım oranıyla ilgilidir. a_i i bileşenin aktivitesini göstermek üzere

$$\gamma_i = \frac{a_i}{x_i} \quad (1.55)$$

şeklinde gösterilir. Basıncın γ_i 'ye etkisi çok yüksek basınç değerlerinde daima azdır.

Belirli sıcaklık ve basınçta saf bir sıvının fugasitesini hesaplamak için buhar basıncı ve sıvı yoğunluğunun bilinmesi gerekir. Ayrıca hal denklemine ihtiyaç vardır. Saf i sıvısının T sıcaklığı ve P basıncında fugasitesi,

$$f_i^s(T,P,x_i=1)=P_{vp_i}(T)\phi_i^s(T)\exp\int_{P_{vp_i}}^P\frac{V_i^s(T,P)}{RT}dP \quad (1.56)$$

eşitliği ile verilir.

Yukarıdaki denklemlerden hareketle, sıvı-buhar dengesini veren esas ifade,

$$y_i P = \gamma_i x_i P_{vp_i} \kappa_i \quad (1.57)$$

eşitliğidir. κ_i düzeltme katsayısı olup, düşük basınçlarda 1'e çok yakındır. Biraz yüksek basınçlarda ise 1 alınması çok yanlış sonuçlar getirmemektedir. Bu katsayı 1 alındığında, aktivite katsayısı da 1 alınırsa bu ifade Rault kanunu haline dönüşür. Rault kanunu uygun bir referans olması açısından kolaylık sağlar.

Fugasite katsayısının hesabı hal denklemini kullanılmak suretiyle de yapılabilir.

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} \quad (1.58)$$

ile gösterilen bir katsayı fugasite katsayısı eşitliği ile beraber kullanılarak,

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{\phi_i^b}{\phi_i^s} \quad (1.59)$$

şeklinde de yazılabilir. Z_i , genel mol yüzdesi olmak üzere,

$$z_i = x_i x + y_i (1 - x) \quad (1.60)$$

$$x_i = \frac{Z_i}{K_i + x(1 - K_i)} \quad (1.61)$$

olarak yazılabilir⁽³⁾.

1.8. Hal Denklemlerinden Termodinamik Özelliklere Geçiş

Bir hal denklemi bağımsız değişkenlere dayanarak bazı termodinamik özellikleri gösterir. Termodinamik özellikler genellikle basınç, Z sıkıştırılabilirlik faktörü veya A Helmholtz enerjisidir. Bağımsız değişkenler ise genellikle sıcaklık ve yoğunluk, karışım içinse bileşimdir. P, Z veya A ile bir hal denklemi kullanılarak diğer bütün termodinamik özellikler uygun işlemlerle hesaplanabilir. Başlama noktası ise Helmholtz enerjisi ile basınç arasındaki ilişkidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır^(3,70),

$$P = - \left(\frac{\partial A}{\partial V} \right)_T \quad (1.62)$$

Eğer hal denkleminde basınç gözüküyorsa bir integrale gerek duyulur:

$$A^r(T, \rho) = A - A^{id} = - \int_V^{\infty} (P - RT\rho) dV \quad (1.63)$$

Bu integral ilgili hacim ve $V = \infty$ sınırlarında gerçekleştirilir, burada bütün akışkanların davranışı ideal gaz sınırına yaklaşır. Böylece indirgenmiş/artık (residual) özellik kavramı ortaya çıkar. 'r' ve 'id' indisleri indirgenmiş miktar ve ideal gaz referans halini gösterir.

Entropi, entalpi, iç enerji ve Gibbs enerjisi ise aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır. Karışımlar için de geçerli olan bu bağıntılardaki $(S-S^{id})$, $(H-H^{id})$ gibi terimler çıkış (departure) fonksiyonu olarak isimlendirilir⁽³⁾.

$$S - S^{id} = - \left(\frac{\partial(A - A^{id})}{\partial T} \right)_v \quad (1.64)$$

$$H - H^{id} = (A - A^{id}) + T(S - S^{id}) + RT(Z - 1) \quad (1.65)$$

$$U - U^{id} = (A - A^{id}) + T(S - S^{id}) \quad (1.66)$$

$$G - G^{id} = (A - A^{id}) + RT(Z - 1) \quad (1.67)$$

$$\ln \frac{f}{P} = \frac{A - A^{id}}{RT} + \ln \frac{V}{V^{id}} + (Z - 1) - \ln Z \quad (1.68)$$

Basıncı dolaylımsız veren (pressure-explicit) bir hal denklemi, termodinamik özelliklerin tamamının tanımlanması sırasında ideal gaz halinin ısı kapasitesi için yardımcı bir denkleme ihtiyaç duyar. Helmholtz enerjisine dayalı bir denklem ise genellikle indirgenmiş ve ideal gaz bölümlerinin toplamı olarak yazılır ve böylece yardımcı bir denkleme ihtiyaç duymaz.

RKS hal denkleminde türetilen entalpi ve entropi bağıntıları^(3,52) aşağıda verilmiştir;

$$h = x_1 u_1^0 + x_2 u_2^0 + Pv + \frac{3a_{kr}}{2b_{kr} T^{1/2}} \ln \frac{v}{v + b_{kr}} \quad (1.69)$$

$$s = x_1 s_1^0 + x_2 s_2^0 + R \ln \frac{v - b_{kr}}{RT x_2} + \frac{a_{kr}}{2b_{kr} T^{3/2}} \ln \frac{v}{v + b_{kr}} + R x_1 \ln \frac{x_2}{x_1} \quad (1.70)$$

Bu eşitliklerdeki u^0 ve s^0 değerleri, ideal gaz hâli entropi ve iç enerji değerlerini gösterir. x 'ler sıvı yüzdesini, v değeri ise sıvı özgül hacmini karşılar.

1.9. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında 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 alternatifi karışımlara ait termodinamik ve performans değerleri sayısal hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir. Alternatif karışım belirleme esaslarına dayalı olarak R12, R22 ve R502 için farklı alternatif karışımlar belirlenerek bunlara ait hesaplamalar da gerçekleştirilmiştir. Ayrıntılar ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

Hesaplanan değerler şunlardır: Saf akışkanlara ve karışımlarına ait Kaynama Noktası Sıcaklıkları (KNS), Termodinamiğin 1. Yasasına dayalı Soğutma Tesir Katsayıları (STK), kompresör yer değiştirme hacminin bir ölçüsü olan Hacimsel Soğutma Kapasiteleri (HSK), yoğuşturucu basıncının buharlaştırıcı basıncına oranı olan Basınç Oranları (BO), birim HSK başına STK değerlerini vermek üzere STK/HSK değerleri, kompresör işleri (W_k) ve Termodinamiğin 2. Yasasına dayalı olarak hesaplanan Oransal Verim (OV) ile Toplam Tersinmezlik (TT) değerleri.

Bu hesaplamalar sabit sıcaklık esasına dayalı olarak klasik ve emme hattı ısı değiştiricili soğutma sistemleri için, sabit soğutma yükü esasına dayalı olarak da yalnızca emme hattı ısı değiştiricili soğutma sistemleri için gerçekleştirilmiştir. Termodinamik değerler REFPROP 6.01 programıyla hesaplanabilmektedir. Fakat özellikle sabit soğutma yüküne dayalı hesaplarda gerekli entalpi ve entropi

değerlerini programdan hesaplayıp çözüm yapmak mümkün değildir. Çünkü belli şartları sağlayana kadar sürekli olarak termodinamik değerler kullanılmakta ve bu işlem yüzlerce iterasyonu bulabilmektedir. Bu da elle yapılmayacak kadar zordur. REFPROP programının entalpi ve entropi değerlerini hesaplayan alt programları ve gerekli diğer alt programlar kullanılarak çalışmamıza uygun şekilde hem sabit sıcaklık yöntemi için hem de sabit soğutma yöntemi için birer program yazılmıştır. Ayrıntılar ileriki bölümlerde geniş olarak anlatılacaktır.

Sabit soğutma yüküne dayalı hesaplamalarda kaynaklarda bulunan bir soğutma sistemi için gerekli değerler alınmış ve ardışık yerleştirmeler yöntemiyle çözüm yapılmıştır. İlgili kaynaklardaki hesaplamalar CSD hal denklemi kullanılarak yapılmış olup bu çalışmada Helmholtz Enerji hal denklemine dayalı REFPROP programı kullanılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Mevcut soğutucu akışkanlarla alternatiflerini performanslarıyla bağlantılı olarak karşılaştırmak için bir referans belirleme zorunluluğu vardır. Alternatif soğutucu akışkan karışımlarının belirlenmesinde ve karşılaştırma yapılmasında ise temelde sabit sıcaklığa ve sabit soğutma yüküne dayalı karşılaştırma yapılmaktadır.

Sabit sıcaklığa dayalı karşılaştırmada birim kütleli soğutucu akışkan ve karışımları için hesaplamalar yapılmıştır. Dolayısıyla soğutma sisteminin boyutları dikkate alınmamıştır. Bu anlamda bu hesaplama şekli teorik hesaplamaların temelini oluşturmaktadır.

Sabit soğutma yüküne dayalı karşılaştırmada ise soğutucu akışkan ve karışımlarının kütleli debisi hesaplamalara dahil edilmiştir. Akışkanlara ve ısı değiştiricilerine (yoğuşturucu ve buharlaştırıcı) ait ısı transfer katsayıları ile ısı değiştiricilerinin boyutları, ortalama bir değer de olsa dikkate alınmıştır. Ayrıca Termodinamik ve Isı Transferi eşitlikleri sağlanacak şekilde modelleme yapılmıştır. Bu anlamda sabit soğutma yüküne dayalı karşılaştırma yöntemi, gerçeğe çok daha yakın sonuçlar veren bir yöntemdir. Sıcaklığa dayalı karşılaştırmada klasik ve sıvı/basma hattı ısı değiştiricili soğutma çevrimi, sabit soğutma yüküne dayalı karşılaştırmada ise sadece sıvı/basma hattı ısı değiştiricili soğutma çevrimi kullanılmıştır.

R12, R22 ve R502 soğutucu akışkanları ile birlikte bunların alternatifleri için kaynaklarda bulunan karışımları, bunları oluşturan saf akışkanlar ve alternatif

karışım olarak kaynaklarda verilen ikili, üçlü ve dörtlü karışımların farklı oranlarda karışımları için 1. ve 2.Yasa analizi yapılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2.1. REFPROP Programının Kullanılması

REFPROP, saf soğutucu akışkan ve 5'li karışıma kadar soğutucu akışkan karışımlarının termodinamik özelliklerini veren bir paket programdır. Özellikle HFC karışımlarında Helmholtz Enerji Hal Denklemini, diğer karışımlarda ise ilgili karışıma uygun hal denklemlerini kullanmaktadır. Doyma bölgesi, kızgın buhar bölgesi ve aşırı soğutulmuş sıvı bölgesi için ve bilinen özelliklere göre hesaplanacak termodinamik değerleri ayrı alt programlarla hesaplayan REFPROP'la akışkanlara ait T-s, P-h, P-x, T-x diyagramları da çizilebilmektedir. Noktasal olarak değer alınabilen programda bir soğutma sisteminin, basit olarak performans değerleri bulunamamakta ve doğrudan simülasyonu yapılamamaktadır. Bu amaçla alt programların kullanıldığı özel amaçlı programların yazılması gereklidir. REFPROP Fortran programlama diliyle yazıldığı için özel amaçlı programların da bu programlama diliyle yazılması en uygun yoldur. Aksi takdirde yirmi bin satırı aşkın alt programların farklı dile çevrilmesi gereklidir.

2.2. Sabit Sıcaklığa Dayalı Karşılaştırma

Soğutucu akışkanların birbirleriyle karşılaştırılmasında temel yöntemlerden biri de sıcaklığa dayalı karşılaştırmadır. Soğutucu akışkanların performansının belirlenmesinde yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıkları dikkate alındığı için bu

karşılaştırma önemli bir kıstastır. Yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıklarına dayalı 4 farklı yöntemin olduğu daha önce belirtilmişti. Bu çalışmada bu yöntemlerden 'buharlaştırıcı ve yoğuşturucu çıkış sıcaklıklarının eşit, dolayısıyla sabit alınması'na dayalı hesaplamalar yapılmıştır. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu, hava soğutmalı ısı değiştiricisidir ve hava sıcaklıklarının değişmediği kabul edilmiştir.

Buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı olarak -20 , -10 ve 0°C , yoğuşturucu çıkış sıcaklığı olarak da 35°C alınmıştır. Kullanılan soğutma sistemleri ise Şekil 1.1.'deki klasik sistemle Şekil 1.3.'deki sıvı/basma hattı ısı değiştiricili sistemdir. Her iki sistem için hesaplamalar yapılmış ve ısı değiştiricili sistemin hangi karışımlarda daha verimli olduğu incelenmiştir.

Hesaplamalarda basınç düşümü ve boru bağlantılarındaki ısı kaybı ihmal edilmiştir. Kompresörde izentropik sıkıştırma, genleşme valfinde ise izentalpik genleşme dikkate alınmıştır. Isı değiştiricili sistemde ısı değiştiricinin, buharlaştırıcıdan doymuş buhar olarak çıkan soğutucu akışkanı aşırı kızdırma ile 32°C 'ye çıkardığı düşünülmüştür.

Her bir çevrim için REFPROP'un alt programları kullanılarak ve yukarıda belirtilen şartlar dikkate alınarak, termodinamik ve performans değerlerini hesaplayan program yazılmıştır.

2.3. Sabit Soğutma Yüküne Dayalı Karşılaştırma

Deneysel çalışmaların çok pahalı ve zaman alıcı olması dolayısıyla teorik ve/veya sayısal çalışmalar önem kazanmaktadır.

Kararlı haldeki ısı sistemlerin simülasyonu için bilinmeyen değişkenlerin bulunmasında Newton-Raphson ve Ardışık Yerleştirme (Successive Substitution) teknikleri kullanılmaktadır^(44,45,75). Bu çalışmada Successive Substitution (SS) tekniği kullanılmıştır.

SS tekniğinde belirli şartlar sağlanana kadar çok sayıda döngü yaptırılarak çözüme ulaşılmıştır^(44,75). Bu çalışma için belirli şartlar, termodinamik ve ısı transferi kurallarıyla bağlıdır. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda soğutucu akışkanın faz değişimi (gizli ısı) ile soğutma ve ısıtma yükleri hesaplanır. Bu değerler havanın aldığı ve verdiği ısı miktarlarına (duyulur ısı) da eşittir. Aynı değerler ısı transferi bağıntılarını (LMTD yöntemi) da desteklemelidir. Ayrıca Termodinamiğin 1.Yasası da sağlanmalıdır. Yani soğutma yükü ile kompresör işinin toplamı ısıtma yükünü vermelidir.

Bu çalışmada kullanılan Şekil 2.1'deki soğutma sisteminde buharlaştırıcı ve yoğuşturucunun ikisi de zıt akışlı ve hava soğutmalı bir ısı değiştiricisidir. Bu bölümde verilen eşitlikler bu sistem için tanımlanmıştır.

Gerçekleşen ısı transferleri soğutucu akışkanların faz değişimleri, hava debileri ve sıcaklıkları ve bir de logaritmik ortalama sıcaklık farkı hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanabilir.

Bu hesaplamalar buharlaştırıcıda düşünülürse, soğutma yükü için, Şekil 2.1'deki nokta tanımlamalarına uygun olarak,

$$Q_b = m_s \cdot (h_1 - h_7) = m_{hb} \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h7}) = K_b \cdot A_b \cdot \text{LMTD}_b \quad (2.1)$$

eşitlikleri geçerlidir. Benzer şekilde yoğuşturucu içinse

$$Q_y = m_s \cdot (h_3 - h_6) = m_{hy} \cdot c_p \cdot (T_{h3} - T_{h6}) = K_y \cdot A_y \cdot LMTD_y \quad (2.2)$$

eşitlikleri yazılır.

Logaritmik ortalama sıcaklık farkı (LMTD), ısı değiştirgecindeki akışkanların giriş ve çıkıştaki sıcaklık farkları dikkate alınarak hesaplanır^(29,45,44). Buharlaştırıcıda doyma bölgesi ve kızgın buhar bölgesi için, yoğuşturucuda ise doyma bölgesi, kızgın buhar bölgesi ve aşırı soğutulmuş sıvı bölgesi için sıcaklık değişimleri farklıdır. Mesela soğutucu akışkan için yoğuşturucunun kızgın buhar bölgesinde 30°C'lik sıcaklık farkı oluşabilirken doyma bölgesinde 1-10°C aralığında sıcaklık farkı oluşabilmektedir. Bu farklılık dikkate alınarak her bir bölge için ayrı ayrı LMTD hesabı yapılacaktır. Bu hesaplamada soğutucu akışkan için doymuş sıvı ve doymuş buhar sıcaklıklarına karşı gelen hava sıcaklıkları enerji dengesinden kolaylıkla hesaplanır. rnek olarak, buharlaştırıcıda doymuş buhar sıcaklığına karşı gelen hava sıcaklığı

$$m_s \cdot (h_1 - h_8) = m_{hb} \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h8}) \quad (2.3)$$

bağıntısından T_{h8} sıcaklığı çekilerek bulunur. Çünkü diğer değerler adım adım hesaplanmakta ve bilinmeyen olarak sadece T_{h8} sıcaklığı kalmaktadır. Benzer şekilde yoğuşturucudaki hava sıcaklıkları da bulunur. Böylece her bir bölge için LMTD ifadeleri aşağıdaki gibi yazılır;

$$\begin{aligned}
LMTD_{bk} &= ((T_{h1} - T_1) - (T_{h8} - T_8)) / \ln((T_{h1} - T_1)/(T_{h8} - T_8)) \\
LMTD_{bd} &= ((T_{h8} - T_8) - (T_{h7} - T_7)) / \ln((T_{h8} - T_8)/(T_{h7} - T_7)) \\
LMTD_{yk} &= ((T_3 - T_{h3}) - (T_4 - T_{h4})) / \ln((T_3 - T_{h3})/(T_4 - T_{h4})) \\
LMTD_{yd} &= ((T_4 - T_{h4}) - (T_5 - T_{h5})) / \ln((T_4 - T_{h4})/(T_5 - T_{h5})) \\
LMTD_{ys} &= ((T_5 - T_{h5}) - (T_6 - T_{h6})) / \ln((T_5 - T_{h5})/(T_6 - T_{h6}))
\end{aligned} \tag{2.4}$$

Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu için toplam LMTD değeri ise her bir bölgedeki değerler kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\begin{aligned}
LMTD_b &= f_{bd} * LMTD_{bd} + (1 - f_{bd}) * LMTD_{bk} \\
LMTD_y &= f_{yd} * LMTD_{yd} + f_{ys} * LMTD_{ys} + (1 - f_{yd} - f_{ys}) * LMTD
\end{aligned} \tag{2.5}$$

f ile gösterilenler her bir bölgede gerçekleşen ısı transferi yüzdeleridir ve soğutucu akışkana ait entalpi değerleri veya hava'ya ait sıcaklıklar kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned}
f_{bd} &= (T_{h8} - T_{h7}) / (T_{h1} - T_{h7}) = (h_8 - h_7) / (h_1 - h_7) \\
f_{bk} &= 1 - f_{bd} \\
f_{yd} &= (T_{h4} - T_{h5}) / (T_{h3} - T_{h6}) = (h_4 - h_5) / (h_3 - h_6) \\
f_{yk} &= (T_{h3} - T_{h4}) / (T_{h3} - T_{h6}) = (h_3 - h_4) / (h_3 - h_6) \\
f_{ys} &= 1 - f_{yd} - f_{yk}
\end{aligned} \tag{2.6}$$

Bu yüzdeler her bir bölgedeki basınç düşümünde de dikkate alınacaktır. Dolayısıyla;

$$P_4 = P_3 - f_{yk} * \Delta P_y$$

$$P_5 = P_4 - f_{yd} * \Delta P_y$$

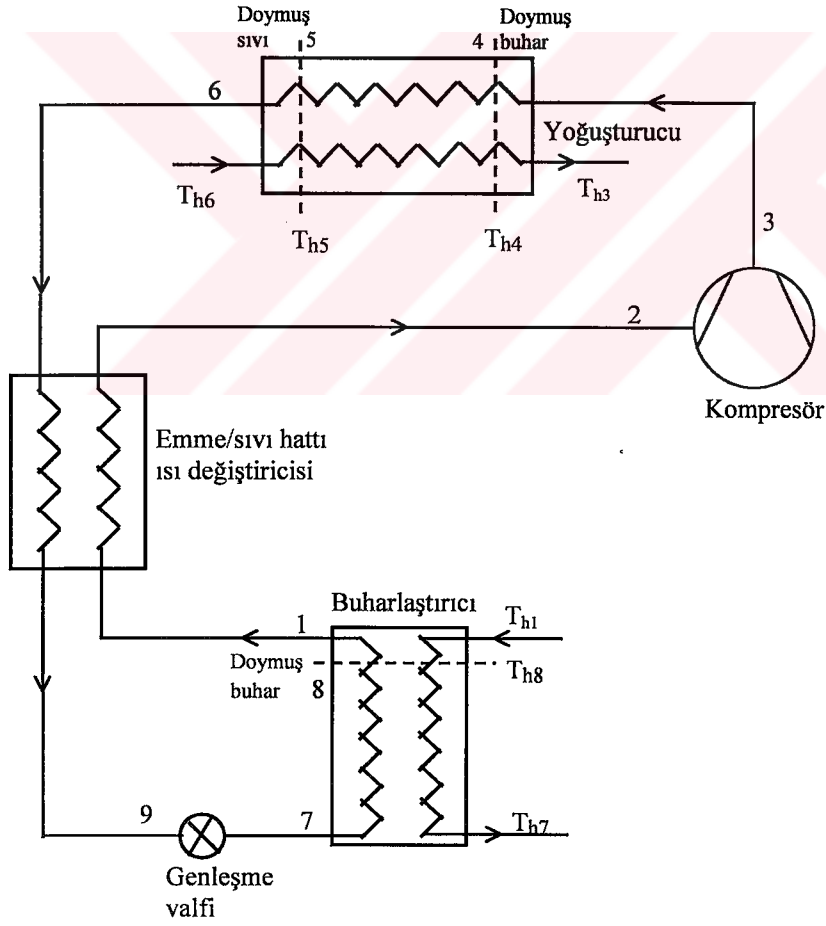
$$P_6 = P_3 - \Delta P_y$$

(2.7)

$$P_8 = P_7 - f_{bd} * \Delta P_b$$

$$P_1 = P_7 - \Delta P_b$$

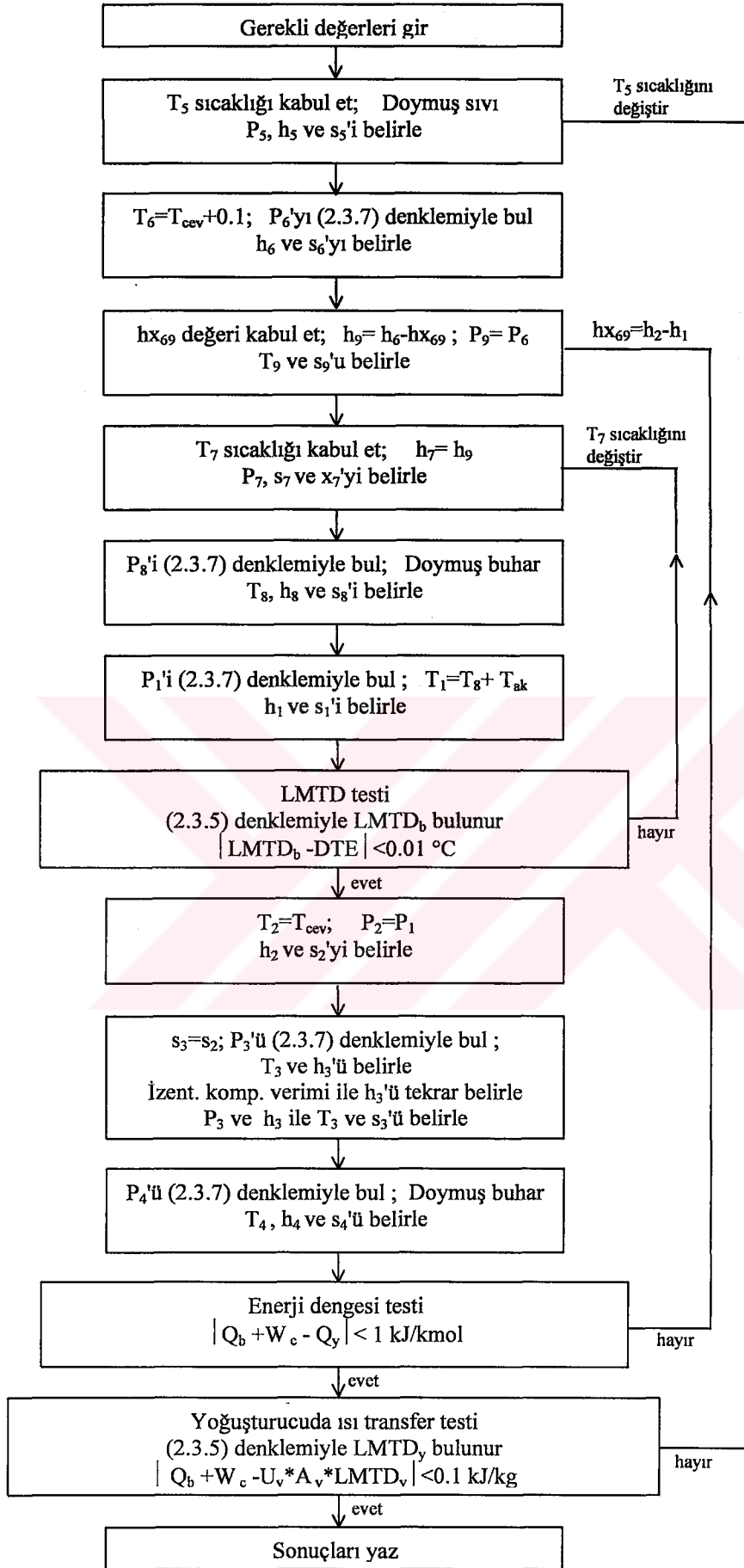
bağıntıları geçerlidir.



Şekil 2.1. Emme/sıvı hattı ısı değiştiricili soğutma sistemi

Çözümüne şu şekilde başlanır: Yoğuşturucuda doymuş sıvı halindeki soğutucu akışkanın (5 noktası, T_5) sıcaklığı için bir değer kabul edilir. Bu sıcaklıkla doymuş sıvı basıncı, entalpi ve entropi değerleri hesaplanır. Yoğuşturucu çıkışında (6 noktası) soğutucu akışkan aşırı soğutulmuş sıvı bölgesindedir. Burada sıcaklık en fazla çevre sıcaklığına kadar düşebilir. Fakat bunun pratikte gerçekleşmesi mümkün değildir ve bu noktadaki sıcaklık çevre sıcaklığından 0.1°C fazla kabul edilir. Sıvı bölgesindeki ısı transfer yüzdesi kadar basınç düşümü ile de yoğuşturucu çıkışındaki basınç hesaplanır. Sıvı bölgesinde sıcaklık ve basınç bilindiği için entalpi ve entropi değerleri hesaplanır. Emme hattı ısı değiştirgeci ısı transfer miktarı için başlangıçta bir değer (hx_{6-9}) kabul edilerek eşanjör çıkışındaki (9 noktası) entalpi değeri belirlenir. Isı değiştiricisindeki basınç düşümü ihmal edilerek basınç ve entalpi değerleri ile ısı değiştiricisi çıkışındaki sıcaklık ve entropi değerleri hesaplanır. Buharlaştırıcı girişinde (7 noktası) izentalpik genişleme dolayısıyla entalpi değeri bellidir ve soğutucu akışkanın sıcaklığı için bir değer kabul edilerek basınç, entropi ve kalite değerleri hesaplanır. Doyma bölgesindeki basınç düşümü ile doymuş buhar basıncı belirlenir (8 noktası). Bu basınç değeri ile bu noktadaki sıcaklık, entalpi ve entropi değerleri hesaplanır. Buharlaştırıcı çıkışı (1 noktası) kızgın buhar bölgesindedir. Aşırı kızdırma sıcaklığı ve kızgın buhar bölgesindeki basınç düşümü ile sıcaklık ve basınç belli olduğu için bu nokta için de entalpi ve entropi değerleri belirlenir.

Isı transferi bağıntıları ile doymuş buhar sıcaklığına karşı gelen hava sıcaklığı belirlenir. Böylece bu aşamada buharlaştırıcıdaki bütün değişkenler belirlenmiştir. Buharlaştırıcıda ortalama logaritmik sıcaklık farkı (LMTD) bağıntısı ile soğutma yükü tekrar hesaplanır ve karşılaştırılır. Bulunan değer belirlenen hata payı içinde ise bir sonraki aşamaya geçilir. Hata miktarı fazla ise buharlaştırıcı girişi için yeni bir



Şekil 2.2. Soğutma sistemi simülasyonu için akış şeması

sıcaklık belirlenir ve aynı işlemler belirlenen hata payı sağlanana kadar tekrarlanır.

Buharlaştırıcı giriş sıcaklığı belirlenince kompresör girişi (2 noktası) ile çözüme devam edilir. Kompresör girişinde sıcaklık, ortam sıcaklığıdır ve emme hattı ısı değiştirgecinde basınç düşümü dikkate alınmadığı için basınç da bellidir. Bilinen basınç ve sıcaklık değerleri ile kompresör girişindeki entalpi ve entropi değerleri hesaplanır.

Kompresör çıkışı (3 noktası) için öncelikle izentropik sıkıştırma dikkate alınır. Dolayısıyla entropi değeri bellidir. Daha önceden yoğuşturucu çıkış basıncı belirlendiği için bu değer üzerine yoğuşturucudaki basınç düşümü ilave edilerek kompresör çıkışındaki basınç değeri de belirlenir. Basınç ve entropi değerleri kullanılarak kompresör çıkışındaki sıcaklık ve entalpi değeri hesaplanır.

Kompresördeki sıkıştırma işlemi gerçekte izentropik değildir. Dolayısıyla izentropik verim bağıntısı ile kompresör çıkışındaki gerçek entalpi değeri bulunur. Basınç ve entalpi değerleri kullanılarak gerçek sıcaklık ve entropi değerleri belirlenir. Yoğuşturucudaki doymuş buhar değerleri (4 noktası), basınç düşümü ile doymuş buhar basıncı bulunarak elde edilir. Dolayısıyla doymuş buhar sıcaklığı, entalpisi ve entropisi belirlenmiş olur.

Bu aşamada enerji dengesi testi yapılır. Şöyle ki; Termodinamiğin 1.Yasası gereği soğutma yükü ile kompresör işinin toplamı ısıtma yükünü verecektir. Enerji dengesi belli bir hata payı içinde ise çözüme devam edilir. Aksi durumda emme hattı ısı değiştirgecindeki transfer edilen ısı miktarı değiştirilir. Kompresör girişi ile buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkanın entalpi farkı, değiştiricideki ısı transferi miktarına eşit olduğu için yeni durumda bu değer alınır ve emme hattı ısı değiştiricisi

çıkışına (9 noktası) geri dönülür. Bu döngü enerji dengesi sağlanana kadar devam eder.

Enerji dengesi sağlandıktan sonra, logaritmik ortalama sıcaklık farkına dayalı olarak yoğuşturucuda tekrar bir test yapılır. Bu test de yoğuşturucuda ısıyı alan havanın çıkış sıcaklıklarının test edilmesi ile ilgilidir. Bir önceki enerji dengesi geçerlidir. Fakat ısıtma yükü hesabında logaritmik ortalama sıcaklık farkına dayalı ısı transfer bağıntısı kullanılır. Bu testte de belli bir hata payının (Şekil 2.2’de görüldüğü gibi) altında çözüm bulunursa soğutma sisteminin tamamı için çözüm bulunmuştur. Aksi durumda yoğuşturucudaki doymuş sıvı sıcaklığı yanlış seçilmiştir ve değer değiştirilerek aynı işlemler tekrarlanır.

Tipik bir tek buharlaştırıcılı soğutma sisteminde çalışılan tüm soğutucu akışkanlar ve karışımları için 185 W’lık soğutma yükü dikkate alınmıştır. Soğutma sisteminin temel elemanları hava soğutmalı buharlaştırıcı ve yoğuşturucu, debisi ayarlanabilen kompresör, emme hattı ısı değiştirgeci ve kılcal tüplü genleşme valfidir. Bütün akışkanlar için kompresörde 0.85’lik izentropik verim öngörülmüştür. Hava soğutmalı buharlaştırıcıda havanın giriş sıcaklığı -11°C , çıkış sıcaklığı -18°C alınmıştır. Giriş ve çıkış sıcaklık farkı düşük olması nedeniyle özgül ısı değeri sabit alınabilir, dolayısıyla 185 W’lık soğutma yükü için $c_p=1004.2 \text{ J/kgK}$ alınarak hava debisi 0.026318 kg/s bulunur. Böylece fan aracılığıyla bu miktarda hava girişi sağlanmalıdır. Soğutucu akışkan için buharlaştırıcıda 10 kPa’lık bir basınç düşümü dikkate alınmıştır.

Hava soğutmalı yoğuşturucuda ise havanın yoğuşturucuya giriş sıcaklığı için çevre sıcaklığı alınacaktır. Çıkış sıcaklığı ise soğutucu akışkana göre değişecektir.

Hava debisi bir fan aracılığıyla 0.05425 kg/s'de tutulmaktadır ve yoğuşturucuda soğutucu akışkan için 15 kPa'lık basınç düşümü dikkate alınmıştır.

U*A değerleri 'Oak Ridge National Laboratory' raporlarından⁽⁴⁴⁾ ortalama olarak yoğuşturucu için 10 W/°C, buharlaştırıcı için 20 W/°C alındı. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu için 0.8 değerinde bir ısı değiştiricisi etkenliği dikkate alındı.

2.4. Performans hesaplamaları

Termodinamiğin 1. Yasasına dayalı performans hesaplaması soğutma tesir katsayısı olarak adlandırılır. Soğutma tesir katsayısı soğutma yükünün kompresör işine oranıdır.

Termodinamiğin 2. Yasasına dayalı performans analizinde ise ekserji (kullanılabilirlik) analizi ve Oransal (2.Yasa) verim hesaplamaları vardır. Hesaplamalarda dikkate alınan soğutma sistemleri için ekserji girdisi olarak sadece kompresör girişi vardır. Düşük sıcaklıklı ısı değiştiricisinde (buharlaştırıcı) sıcaklık, ortam sıcaklığından düşük olduğu için ısı girdisi, ekserji çıktısı olacaktır. Dolayısıyla ekserji çıktısı olarak buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda gerçekleşen ısı transferi ile eşleşen ısı ekserjiler vardır. Böylece ekserji çıktısı

$$E^Q = \int \left(\frac{T - T_0}{T} \right) dQ \quad (2.8)$$

ısı ekserji ifadesinden Şekil 1.1. ve Şekil 1.3.'deki sabit sıcaklıklı sistemler için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Sigma E_{\varphi} = Q_b \frac{T_0 - T_b}{T_b} \quad (2.9)$$

Şekil 2.1.'deki sabit soğutma yüküne dayalı sistem için de aşağıdaki bağıntı geçerlidir:

$$\begin{aligned} \Sigma E_{\varphi} &= \int \left(\frac{T_0 - T}{T} \right) m_b c_b dT + \int \left(\frac{T - T_0}{T} \right) m_y c_y dT \\ &= m_b c_b (T_0 \ln T - T) \Big|_{T_{h7}}^{T_{h1}} + m_y c_y (T - T_0 \ln T) \Big|_{T_{h6}}^{T_{h3}} \\ &= m_b c_b \left(T_0 \ln \left(\frac{T_{h1}}{T_{h7}} \right) - (T_{h1} - T_{h7}) \right) + m_y c_y \left((T_{h3} - T_{h6}) - T_0 \ln \left(\frac{T_{h3}}{T_{h6}} \right) \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Sistemdeki toplam tersinmezlik miktarı ise

$$I = T_0 \Pi = \sum_{\varphi} m_{\varphi} s_{\varphi} - \sum_g m_g s_g - \sum_r \frac{Q_r}{T_r} \quad (2.11)$$

ifadesinden sabit sıcaklığa dayalı karşılaştırmada Şekil 1.1. ve Şekil 1.3.'deki sistemler ve sabit soğutma yüküne dayalı karşılaştırmada Şekil 2.1.'deki sistem için sırasıyla

$$I = T_0 \Pi = T_0 \left[\frac{Q_y}{T_y} - \frac{Q_b}{T_b} \right] \quad (2.12)$$

$$I = T_0 \Pi = T_0 \left[m_b c_b \ln \left(\frac{T_{h7}}{T_{h1}} \right) + m_y c_y \ln \left(\frac{T_{h3}}{T_{h6}} \right) \right] \quad (2.13)$$

eşitlikleriyle bulunur. Şekil 2.1.'deki sistemin her bir elemanında gerçekleşen tersinmezlik miktarları ise yoğuşturucu, buharlaştırıcı, kompresör, genişleme valfi ve emme hattı ısı değiştiricisi (SLHE) için sırasıyla

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_y &= T_0 [m_s (s_6 - s_3) + m_e (s_{s3} - s_{s6})] \\
 \dot{I}_b &= T_0 [m_s (s_1 - s_7) + m_e (s_{s7} - s_{s1})] \\
 \dot{I}_k &= T_0 m_s (s_3 - s_2) \\
 \dot{I}_{gv} &= T_0 m_s (s_7 - s_9) \\
 \dot{I}_{SLHE} &= T_0 m_s (s_2 + s_9 - s_1 - s_6)
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

eşitlikleriyle verilir. Şekil 1.1.'deki sistemin her bir elemanında gerçekleşen tersinmezlik miktarları ise yoğuşturucu, buharlaştırıcı, kompresör ve genişleme valfi için sırasıyla,

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_y &= T_0 [m_s (s_3 - s_2) + Q_y / T_y] \\
 \dot{I}_b &= T_0 [m_s (s_1 - s_4) - Q_b / T_b] \\
 \dot{I}_k &= T_0 m_s (s_2 - s_1) \\
 \dot{I}_{gv} &= T_0 m_s (s_4 - s_3)
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

eşitlikleriyle verilir. Şekil 1.3.'deki sistemin her bir elemanında gerçekleşen tersinmezlik miktarları ise yoğuşturucu, buharlaştırıcı, kompresör, genişleme valfi ve SLHE için sırasıyla,

$$\begin{aligned} \dot{I}_y &= T_0 [m_s (s_3 - s_{2'}) + Q_y / T_y] \\ \dot{I}_b &= T_0 [m_s (s_1 - s_{4'}) - Q_b / T_b] \\ \dot{I}_k &= T_0 m_s (s_{2'} - s_{1'}) \\ \dot{I}_{gv} &= T_0 m_s (s_{4'} - s_{3'}) \\ \dot{I}_{SLHE} &= T_0 m_s (s_{1'} - s_1 + s_3 - s_3) \end{aligned} \quad (2.16)$$

eşitlikleriyle verilir.

Sistem için oransal verim

$$\psi = 1 - \frac{I}{W_k} \quad (2.17)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

2.5. Analizi Yapılan Saf Akışkanların ve Karışımlarının Tanıtılması

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 grubundan olan R12, R22 ve R502'nin üretimi birçok ülkede durdurulmuştur. Diğer saf akışkanların ikili, üçlü ve dörtlü olarak farklı oranlarda karışımı, değişik araştırma merkezlerince R12, R22 ve R502 için alternatif karışım olarak teklif edilmektedir. Bu alternatif karışımlar da çalışma konusu yapılmıştır. Parantez içindeki değerler kütle yüzdelerini göstermek üzere alternatif karışımlar aşağıda verilmiştir.

R12 için alternatif karışımlar^(30,38,40,43,49) ve kütle yüzdeleri:

- 1) R290/R600a (40/60, 43/57, 48/52, 50/50, 56/44, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10)
- 2) R152a/R134a (14/86)
- 3) R600a/R134a (18/82)
- 4) R290/R134a (5/95)

R22 için alternatif karışımlar^(8,33,34) ve kütle yüzdeleri:

- 1) R32/R125/R134a (30/10/60, 10/70/20)
- 2) R32/R125/R290/R134a (20/55/5/20)
- 3) R32/R134a (25/75, 30/70)
- 4) R32/R125 (50/50)
- 5) R290/R134a (46/54)

R502 için alternatif karışımlar^(38,40) ve kütle yüzdeleri:

- 1) R32/R125/R143a (10/50/40, 10/45/45)
- 2) R125/R143a/R134a (44/52/4)
- 3) R32/R125/R134a (20/40/40)
- 4) R125/R143a/R290 (50/45/5)
- 5) R125/R290/R134a (70/10/20, 50/5/45)

Yukarıda belirtilen saf akışkanlar ve alternatif karışımlara ilaveten, alternatif karışımlar esas alınarak bunların farklı oranlarda karışımları da çalışma konusu yapılmıştır. Bu ikili, üçlü ve dörtlü karışımlar, parantez içindeki değerler kütle oranını vermek üzere aşağıda verilmiştir.

- 1) R32/R134a (10/90, 20/80, 40/60, 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10)
- 2) R290/R134a (10/90, 20/80, 30/70, 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10)
- 3) R600a/R134a (10/90, 30/70, 40/60, 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10)
- 4) R152a/R134a (10/90, 30/70, 40/60, 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10)
- 5) R125/R143a (10/90, 20/80, 30/70, 40/60, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10)
- 6) R32/R125 (10/90, 20/80, 30/70, 40/60, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10)
- 7) R125/R143a/R134a (15/81/4, 25/71/4, 35/61/4, 45/81/4, 55/41/4, 65/31/4, 75/21/4, 15/75/10, 25/65/10, 35/55/10, 45/45/10, 55/35/10, 65/25/10, 75/15/10, 15/70/15, 25/60/15, 35/50/15, 45/40/15, 55/30/15, 65/20/15, 75/10/15)
- 8) R125/R143a/R290 (10/85/5, 20/75/5, 30/65/5, 40/55/5, 50/45/5, 60/35/5, 70/25/5, 10/80/10, 20/70/10, 30/60/10, 40/50/10, 50/40/10, 60/30/10, 70/20/10, 10/75/15, 20/65/15, 30/55/15, 40/45/15, 50/35/15, 60/25/15, 70/15/15)
- 9) R32/R125/R143a (10/10/80, 10/20/70, 10/30/60, 10/40/50, 10/60/30, 10/70/20, 20/10/70, 20/20/60, 20/30/50, 20/40/40, 20/50/30, 20/60/20, 20/70/10, 30/10/60, 30/20/50, 30/30/40, 30/40/30, 30/50/20, 30/60/10)
- 10) R32/R125/R134a (5/5/90, 15/5/80, 25/5/70, 35/5/60, 45/5/50, 55/5/40, 65/5/30, 75/5/20, 5/10/85, 15/10/75, 25/10/65, 35/10/55, 45/10/45, 55/10/35, 65/10/25, 75/10/15, 5/15/80, 15/15/70, 25/15/60, 35/15/50, 45/15/40, 55/15/30, 65/15/20, 75/15/10)

- 11) R125/R290/R134a (10/5/85, 20/5/75, 30/5/65, 40/5/55, 60/5/35, 70/5/25, 10/10/80, 20/10/70, 30/10/60, 40/10/50, 50/10/40, 60/10/30, 10/15/75, 20/15/65, 30/15/55, 40/15/45, 50/15/35, 60/15/25)
- 12) R32/R125/R290/R134a (10/55/5/30, 30/55/5/10, 30/45/5/20, 40/35/5/20, 10/65/5/20)

İkili karışımlar için birinci bileşenin oranı 10'ar artırılarak (veya ikinci bileşeninki 10'ar azaltılarak) yeni karışımlar belirlenmiştir Üçlü karışımlar içinse herbir üçlü karışımdan en düşük orana sahip akışkanın oranı 3 farklı değerde sabit tutulup diğer ikisinin oranı 10'ar artırılarak veya azaltılarak yeni karışımlar belirlenmiştir.

Saf akışkanlardan R32, R125, R134a, R143a ve R152a HFC grubunda, R290 ve R600a HC grubunda yer almaktadır. Böylece, karışımların tamamı CFC'lerin dışında kalmaktadır.

Yukarıda belirtilen saf akışkanlar, alternatif karışımlar ve diğer karışımlar için önceki bölümde sözü edilen hesaplamalar, hem sabit sıcaklığa dayalı karşılaştırma yöntemiyle hem de sabit soğutma yüküne dayalı karşılaştırma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Soğutucu akışkanlar için Kaynama Noktası Sıcaklığının (KNS) 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'yı ve daha düşük BO değerini beraberinde getirir. Bu durum fiziksel bir olgu olarak gözükmemektedir.

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. Örneğin R12 yerine R125 kullanılacaksa R125'in HSK'sı R12'nin HSK'sından büyük olduğu için kompresör yer değiştirme hacmi küçültülmelidir. Ayrıca ilgili akışkanların sıcaklığa bağlı kaynama basıncı eğrilerinin yakın olması istenir. Saf akışkanlara ait çizelgelere HSK açısından bakıldığında R12, R22 ve R502'nin yerine doğrudan kullanılacak saf akışkan gözükmemektedir.

Bir akışkan yerine başka bir saf akışkanı kullanabilmenin ötesinde bir saf akışkan yerine saf akışkan karışımlarının kullanılabilmesi de hem bilimsel araştırmalar açısından hem de uygulama açısından öneme sahip olmaktadır. Böyle bir inceleme birinin yerine diğerinin kullanılmasıyla sağlanamayan performans değerlerine ulaşabilme açısından gerekli bir alternatif olarak ortaya çıkar. Bu anlamda, uygulamadaki soğutma tesislerinde kullanılan ve uluslararası anlaşmalarla belirli bir tarihte hiç kullanılmayacak olan R12, R22, R502 gibi akışkanların yerine geçebilecek akışkan karışımlarının incelenmesi ilgi çekici olmaktadır. Kaynaklarda ve uygulamada bu konuda yapılan çalışmalar da, sözü edilen saf akışkanlar yerine aşağıda yazılan karışımların onların alternatifi olarak kullanılacakları öne sürülmüştür. Alternatif karışımlardan bazıları doğrudan mevcut sistemlerde kullanılabilirken bazıları da yeniden tasarlanacak sistemlerde kullanılacak 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 seçilerek gerçekleştirilebilir. Diğer taraftan uçuculuğun göstergesi, daha önce de söylendiği gibi kaynama noktası sıcaklığıdır. Böylece yukarıdaki kriterin, bir

saf akışkan için kendisinin KNS'sinden daha yüksek ve daha düşük KNS'lere sahip iki akışkanı seçmekle (üçlü karışımlar için en az bir bileşenin) gerçekleştirilebileceği düşünülebilir. Alternatif karışım oluşturmada diğer bir kriter de oluşturulan karışımın saf olaninkine göre daha büyük bir STK'ya sahip olması için buharlaştırıcıda ve yoğunlaştırıcıdaki ısı değiştiricilerine ait her iki akışkan için söz konusu olacak sıcaklık kaymalarıdır. Bu aynı zamanda iyi uyuşan sıcaklık kaymalarının tersinmezlikleri azaltması ile de alternatif bir anlam ifade etmektedir. Alternatif karışıma ait STK'nın yerine kullanıldığı saf akışkanınkinden yüksek olabilmesi karışımı oluşturan bileşenlerin STK'larının yerine geçtikleri saf akışkanınkinden büyük olmaları ile sağlanabilir. Yine bu sonuç da sıcaklık kaymalarının uyumlu olması ile örtüşen bir değerlendirmedir. Yukarıda R12, R22 ve R502 için kaynaklardan alınmış alternatif karışımlar sözü edilen bu değerlendirmelerle ilerleyen kısımda ele alınacaktır.

Aşağıda sırayla R12, R22 ve R502'nin alternatif karışımları önce KNS açısından Çizelge 2.1'de değerlendirilmektedir. Bu çizelgedeki değerler dikkate alındığında; R12, R22 ve R502'nin hepsi için geçerli olmak üzere, şimdiye kadar yapılan araştırmalarda takdim edilen alternatifleri oluşturan bileşenlerin sözü edilen akışkanların KNS'sinin altında ya da üstünde yer alması bakımından uygunlukları da verilmiştir. Çizelgeden, uygun olanlar için bileşen KNS'lerinin temsilcisi olduğu akışkanların KNS'sine göre alta ve üstte yer aldıkları; uygun olmayanların ise sözkonusu akışkanın KNS'sinin ya altında ya da üstünde yer aldıkları gözlenmektedir. Bu çizelgeye göre belirlenmiş olan uygunsuz alternatifler de uygun olanlarının yanında, kaynaklarda ilgili 3 akışkan için alternatif olarak tanımlanmış olmaları nedeniyle diğer performans kriterleri açısından da incelenmeye devam edilecektir. KNS açısından uygun gözükmeyen karışımlar, azeotrop karışımlar

olması dolayısıyla özellikle tercih edilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi azeotrop karışımlar saf akışkan gibi davrandığı için özelliklerinin belirlenmesi daha kolay olmaktadır.

Kaynaklarda bu üç akışkan için teklif edilen alternatif akışkan karışımları da iki türlü düşünülmektedir. Birincisi mevcut sistemlerdeki R12, R22 ve R502'nin yerine kullanılacak karışımlar, diğeri de yeni tasarlanacak sistemlerde kullanılacak karışımlar. Dolayısıyla yukarıda özellikle HSK'ların eşit olması gerekliliği birinci tür için geçerlidir. Yeni tasarlanacak sistemlerde zaten kullanılacak yeni akışkan dikkate alınacaktır.

Çizelge 2.1. R12, R22 ve R502 alternatifi karışımlarının KNS açısından uygunluğu

| Alternatif Karışımlar | | KNS Değerleri (°C) | | | | Uygunluk |
|-----------------------|---------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | 1.bileşen | 2.bileşen | 3.bileşen | 4.bileşen | |
| R12 (-29.75) | R152a/R134a | -24 | -26.07 | | | - |
| | R600a/R134a | -11.61 | -26.07 | | | - |
| | R290/R134a | -42.09 | -26.07 | | | + |
| | R290/R600a | -42.09 | -11.61 | | | + |
| R22 (-40.81) | R32/R125/R134a | -51.65 | -48.14 | -26.07 | | + |
| | R32/R125/R290/R134a | -51.65 | -48.14 | -42.09 | -26.07 | + |
| | R32/R134a | -51.65 | -26.07 | | | + |
| | R32/R125 | -51.65 | -48.14 | | | - |
| | R290/R134a | -42.09 | -26.07 | | | + |
| R502 (-45.26) | R32/R125/R143a | -51.65 | -48.14 | -47.22 | | - |
| | R125/R143a/R134a | -48.14 | -47.22 | -26.07 | | + |
| | R32/R125/R134a | -51.65 | -48.14 | -26.07 | | + |
| | R125/R143a/R290 | -48.14 | -47.22 | -42.09 | | + |
| | R125/R290/R134a | -48.14 | -42.09 | -26.07 | | + |

3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

3.1. Sayısal Hesaplama Parametreleri

İncelemesi yapılacak saf akışkanlar ve karışımları için öncelikle Kaynama Noktası Sıcaklıkları (KNS) tespit edilmiş daha sonra Termodinamiğin 1.Yasasına dayalı olarak hesaplanan Soğutma Tesir Katsayıları (STK), soğutma kapasitesinin kompresöre girişteki akışkan özgül hacmine bölünmesi ile elde edilen Hacimsel Soğutma Kapasiteleri (HSK), yoğuşturucu basıncının buharlaştırıcı basıncına oranı olan Basınç Oranları (BO), birim HSK başına STK'yı vermek üzere STK/HSK değerleri, kompresör işleri (W_k) ve Termodinamiğin 2.Yasasına dayalı olarak hesaplanan Oransal Verim (OV) ile Toplam Tersinmezlikler (TT) çizelge ve grafik olarak verilmiştir. Sabit sıcaklığa dayalı hesaplamalarda Şekil 1.1.'deki klasik çevrim ve Şekil 1.3.'deki emme/sıvı hattı ısı değiştiricili çevrim, sabit soğutma yüküne dayalı hesaplamalarda ise Şekil 2.1.'deki sıvı/emme hattı ısı değiştiricili çevrim dikkate alınmıştır.

3.2. Sabit Sıcaklığa Dayalı Hesaplamalar

Bu hesaplamalarda, çevrimde buharlaştırıcı ve yoğuşturucu çıkışındaki sıcaklıklar sabit alınarak hesaplamalar yapılır. Sözü edilen bütün saf akışkanlar ve karışımları için KNS, STK, HSK, BO, STK/HSK, W_k , OV ve TT değerleri, çizelge

ve grafik olarak verilmiştir. Bu değerler klasik ve emme/sıvı hattı ısı değiştiricili çevrim için üç farklı buharlaştırıcı sıcaklığında (T_b) elde edilmiştir.

35°C'lik sıcaklık yoğunlaştırıcı çıkış sıcaklığı olarak sabit alınırken, -20, -10 ve 0°C'lik sıcaklıklar parametrik anlamda buharlaştırıcı çıkış sıcaklıkları olarak alınmıştır. Bu alınan değerler bir simülasyon sonucu bulunan değerler değil doğrudan kabul olarak alınmış değerlerdir. Buharlaştırıcı sıcaklığı (veya basıncı) ile yoğunlaştırıcı sıcaklığı (veya basıncı) arasındaki fark azaldıkça STK değeri artacaktır. Pratikte ulaşılamayacak değerler dikkate alınırsa STK değerlerinin çok yüksek çıkacağı bir gerçektir. Teorik bir çalışma olması dolayısıyla sadece değişimin gözlenmesi amaçlandığından bu durum dikkate alınmamıştır. Şekillerin tamamında -20, -10 ve 0 olarak gösterilen değerler yukarıda bahsedilen buharlaştırıcı sıcaklıklarını ifade etmektedir.

Bütün akışkanlar ve karışımlar dikkate alınırsa STK değerleri 2.8-10 arası değişirken oransal verim değerleri de %60-75 aralığında olmaktadır. Bu değerlerin üst sınırları genel olarak emme/sıvı hattı ısı değiştirgecinin kullanıldığı sistemde, alt sınırları da klasik sistemde elde edilmektedir.

3.2.1. Saf Akışkanların İncelenmesi

Saf akışkanlar için KNS, STK, HSK, BO, STK/HSK, W_k , OV ve TT değerleri Çizelge Ek 1.1.'de yer almakta, ayrıca bu değerler klasik çevrim için Şekil 3.1.'de ısı değiştiricili çevrim için de Şekil 3.2.'de çubuk diyagram olarak görülmektedir.

R600a sahip olduğu STK değerleriyle dikkat çekmektedir. Fakat kaynama noktası sıcaklığının yüksek olması nedeniyle kısıtlı uygulamaya sahiptir. Ayrıca

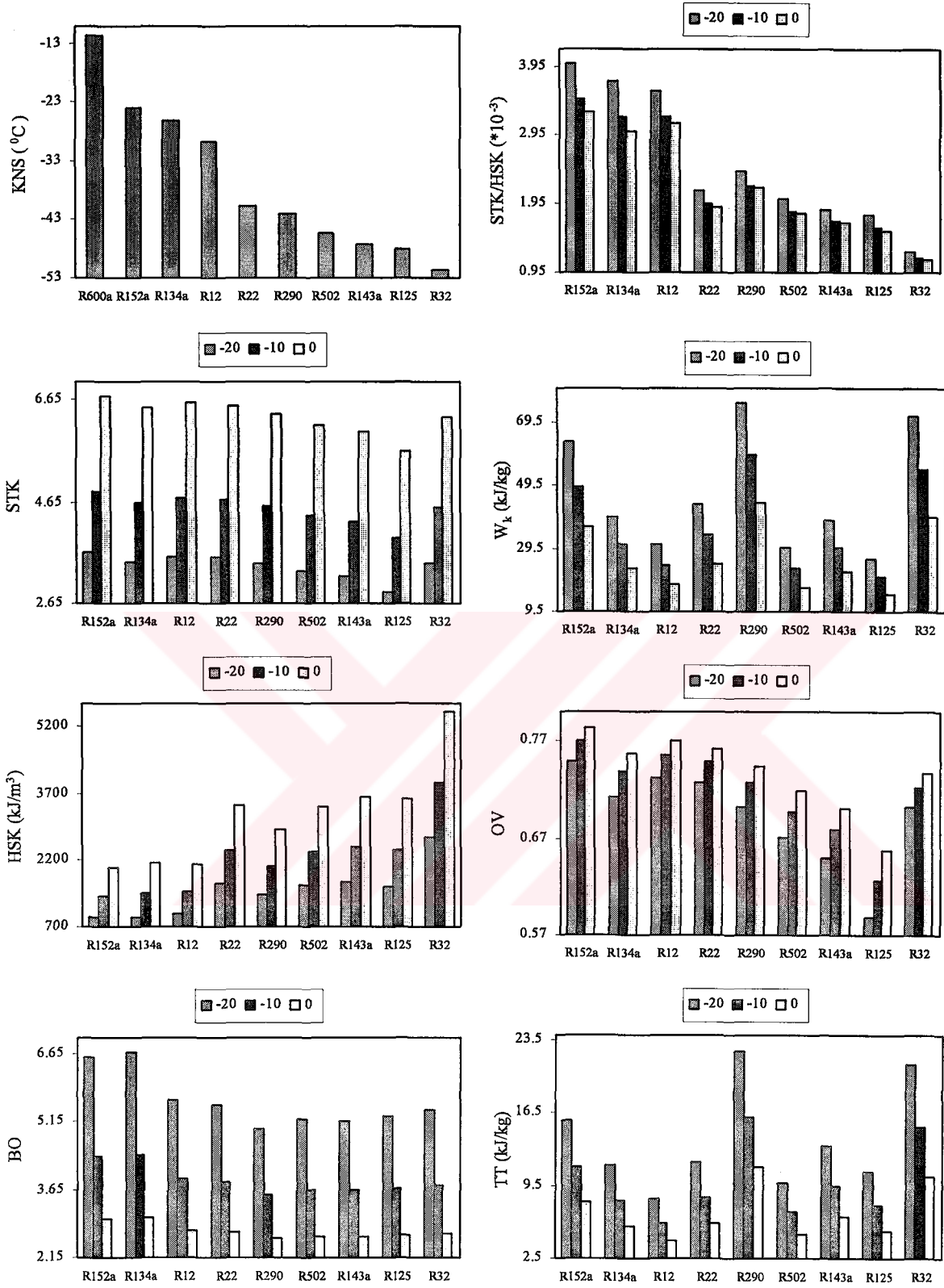
doymuş buhar eğrisinin dik (biraz da sola yatık) olması nedeniyle, kompresörde sıkıştırma sonucu ulaşılan durum doyma bölgesinde gözüktüğü için klasik çevrimde dikkate alınmamıştır. Ayrıca -20°C ve -10°C 'deki doyma basınçları atmosfer basıncından düşüktür ve bu durum sisteme atmosfer havası taşınması sebebiyle olumsuzluk arzeder. Fakat, teknolojik anlamda gelişmelerin paralelinde yeterli sızdırmazlık sağlanabilir. Bu sebeple ısı değiştiricili çevrimde bu akışkan için ilgili sıcaklıklar da dikkate alınmıştır.

Yukarıda numaraları verilen çizelge ve diyagramlardan, aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir:

Klasik çevrim için KNS'nin azalmasına göre düzenlenmiş akışkan sırası ile akışkanlara ait STK'ların sıralanışı R32 ve R134a'daki küçük sapmalar dışında uyum göstermektedir. Bir başka deyişle KNS'nin düşmesi ile STK'nın azalması paralellik göstermektedir. Isı değiştiricili çevrim için sıralamanın başındaki 3-4 akışkan için ufak düzensizlik gözlenirse de KNS sıralamasına genelde uyum vardır. Dolayısıyla klasik çevrimde en yüksek STK değeri R152a'da en düşük ise R125'te, ısı değiştiricili çevrimde ise en büyük STK R600a'da, en düşük ise R32'de elde edilmektedir. STK değerleri 2.8 ile 6.7 arasında değişmektedir.

Her bir akışkan için klasik ve ısı değiştiricili çevrimlerde sabit buharlaştırıcı sıcaklığı (T_b) arttıkça STK değerleri artmaktadır. Ayrıca T_b arttıkça STK açısından akışkanlar birbirine yakınlaşmaktadır. Kaynama noktası sıcaklığı yükseldikçe her iki sistem için de daha yüksek STK elde edilebileceği söylenebilmektedir.

R125, R143a, R134a, R290, R12 ve R502'de ısı değiştiricili çevrim daha yüksek STK değerleri vermekte, R32, R152a ve R22'de ise fark az da olsa klasik



Şekil 3.1. Sabit sıcaklık ve klasik çevrimde saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi

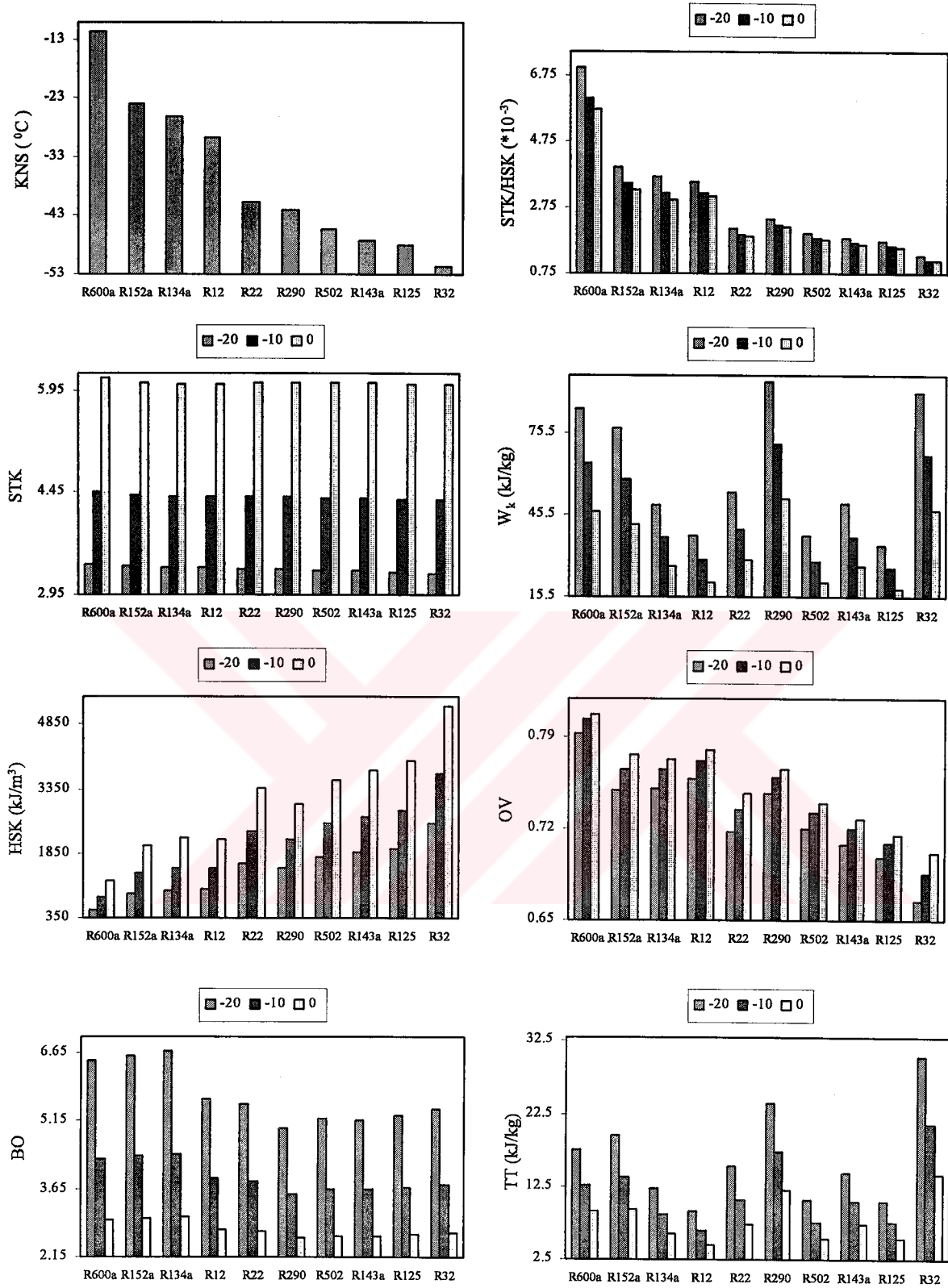
çevrimde daha yüksek STK değerleri elde edilmektedir.

Çalışmada kullanılan soğutucu akışkanlara ait HSK ve BO değerleri yine KNS sırası esas alınmak üzere aynı çizelge ve diyagramlarda görülmektedir. Bütün akışkanlar için buharlaştırıcı sıcaklığı yükseldikçe beklendiği üzere HSK artmakta BO düşmektedir.

Sabit buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça hem klasik hem ısı değiştiricili çevrimde HSK değerleri artış göstermektedir. Isı değiştiricinin kullanılması R134a, R12, R290, R502, R143a, R125'te HSK'yı artırmasına karşılık R152a, R22 ve R32'de azalmaya yol açmaktadır. Isı değiştiricinin HSK'ya olan etkisi STK'ya olan etkisiyle akışkanlar açısından paralellik göstermektedir. KNS'ye göre yapılan akışkan sıralaması ile HSK sıralaması ufak sapmalarla birlikte ters yönde uyum göstermektedir. Diğer bir değişle KNS'ler azalırken HSK'lar artış eğilimindedir.

R12 yerine klasik sistemde diğer saf akışkanlar kullanılmak istendiğinde R152a ve R134a dışındaki akışkanlar (ısı değiştiricili çevrim için R152a, R134a ve R600a) daha büyük HSK değerlerine sahip oldukları için daha küçük kompresör yer değiştirme hacmi temin edilmelidir. R152a ve R134a ise aynı sistemde yeterli kapasiteyi sağlayamayacaktır. Fakat tek sıradışı durum; her iki çevrimde de 0°C sabit buharlaştırıcı sıcaklığında R134a akışkanının HSK'sının R12'den büyük çıkmasıdır. R22 yerine klasik sistemde R143a, R125 ve R32 kullanılabilecekken ısı değiştiricili çevrimde R502 akışkanı da kullanılabilecektir. R502 yerine ise klasik ve ısı değiştiricili çevrimde R143a, R125 ve R32 akışkanları kullanılabilecektir.

Klasik ve ısı değiştiricili çevrimler için aynı kalan BO'nun akışkanlara göre aldığı değerler de aynı çizelge ve grafiklerde görülmektedir. İlgili basınç değerleri



Şekil 3.2. Sabit sıcaklık ve ısı değiştiricili çevrimde saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi

yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdaki sıcaklıklara karşı gelen kaynama ya da doyma basınçlarıdır. Sabit buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça basınç oranları düşmektedir. Bu düşmenin nedeni akışkanlar için kaynama noktalarına ait P-T diyagramından gözlenebilmektedir. Bu diyagramlarda KNS yükseldikçe basınç oranlarının düşeceği eğrilerden takip edilebilir. Akışkanların KNS sıralamasına göre de yine BO'larda ilk 3-4 akışkan için ufak karmaşa görülmesine rağmen genel eğilim düşme yönündedir.

Yukarıdaki değerlendirmeleri STK ile ilintili hale getirmek üzere aynı çizelge ve grafiklerde STK/HSK sütünü düzenlenmiştir. Bu sütun birim HSK için akışkanların sahip oldukları STK'ları göstermektedir. Böylece birinin yerine diğerinin kullanılabilme olasılığı için bir iyilik sıralaması ortaya çıkmaktadır. Bu sıralamalar da KNS sırasıyla büyük oranda uyum göstermektedir. Sabit buharlaştırıcı sıcaklığı yükseldikçe akışkanların bu anlamdaki iyilikleri azalmaktadır. Ayrıca KNS sıralaması azalan yönde bu iyiliğin azalması ile örtüşmektedir. Yani kısaca KNS'si yüksek olan akışkanın birim HSK için STK'ları da yüksek veya tersi geçerli olmaktadır. Hatta, KNS'leri birbirine yakın olan R152a, R134a ve R12'nin STK/HSK değerleri de birbirine yakın çıkmaktadır. Bu değerler klasik ve ısı değiştiricili çevrim için hemen hemen aynı kalmakta ve yapılan değerlendirmeler hem klasik hem de ısı değiştiricili çevrim için geçerli olmaktadır.

Kompresör işi de (akışkanın birim kütesine kazandırdığı enerji) aynı çizelge ve grafiklerde gösterilmiştir. İki çevrimde de en az iş R125'te, en fazla iş R290'da harcanmaktadır. Kompresör işinin STK ile ters orantılı bir davranış göstereceği beklenen bir gelişmedir. Fakat en fazla işin R290'da çıkması buharlaşma entalpisi ile açıklanabilir. Çünkü soğutucu akışkanın birim kütesi için hesaplamalar yapılmıştır.

Termodinamiğin 2. Yasası'na dayalı hesaplanan OV ve TT değerleri de aynı çizelge ve şekillerde yer almıştır. Soğutma çevrimi kapalı bir çevrim olması dolayısıyla, OV hesabında entropi değerleri hesaba katılmamaktadır. Dolayısıyla STK'daki akışkanlara göre dağılım aynen OV için de geçerlidir. Yani klasik çevrimde R152a'nın ısı değiştiricili çevrimde de R600a'nın avantajı OV değerlerinde de görülmektedir.

2. Yasaya göre değişim TT'de daha net gözükmemektedir. Klasik çevrimde en fazla tersinmezlik -20°C 'lik buharlaştırıcı sıcaklığı için 22.486 kJ/kg'lık değerle R290'da meydana gelirken bunu 21.282 kJ/kg'lık değerle R32 takip etmekte ve en düşük tersinmezlik 8.239 kJ/kg'lık değerle R12'de gerçekleşmektedir. Bu sıralama farklı değerlerle diğer buharlaştırıcı sıcaklıkları için de geçerlidir. Buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça beklendiği gibi bütün akışkanlarda tersinmezlik azalmaktadır. -20°C ile 0°C arasında tersinmezlikte meydana gelen en büyük azalma %51.9'la R125'te, en küçük azalma da %49.8'le R12'de gerçekleşmektedir. Isı değiştiricili çevrimde ise en fazla tersinmezlik -20°C 'lik buharlaştırıcı sıcaklığı için 30.388 kJ/kg'lık değerle R32'de meydana gelmekte ve bunu aynı sıcaklık için 23.842 kJ/kg'lık değerle R290 takip etmektedir. En düşük değer ise yine aynı sıcaklık için 9.21 kJ/kg'lık değerle R12'ye aittir. -20°C ile 0°C arasında tersinmezlikte meydana gelen en büyük azalma %53.5'le R32'de en küçük azalma da %49.2'yle R125'de gerçekleşmektedir.

Isı değiştiricili çevrimin kullanılması açısından en olumsuz durum R32'de gözükmemekte, çünkü tersinmezlikte %35-40 mertebesinde artma gözlenmektedir. En avantajlı durum ise R125 akışkanı için geçerlidir. Tersinmezlikte az da olsa azalma

bile gözlenmektedir. R32'den sonra R22 akışkanında da %23-30 mertebesinde artma gözlenmektedir.

3.2.2. Karışımların İncelenmesi

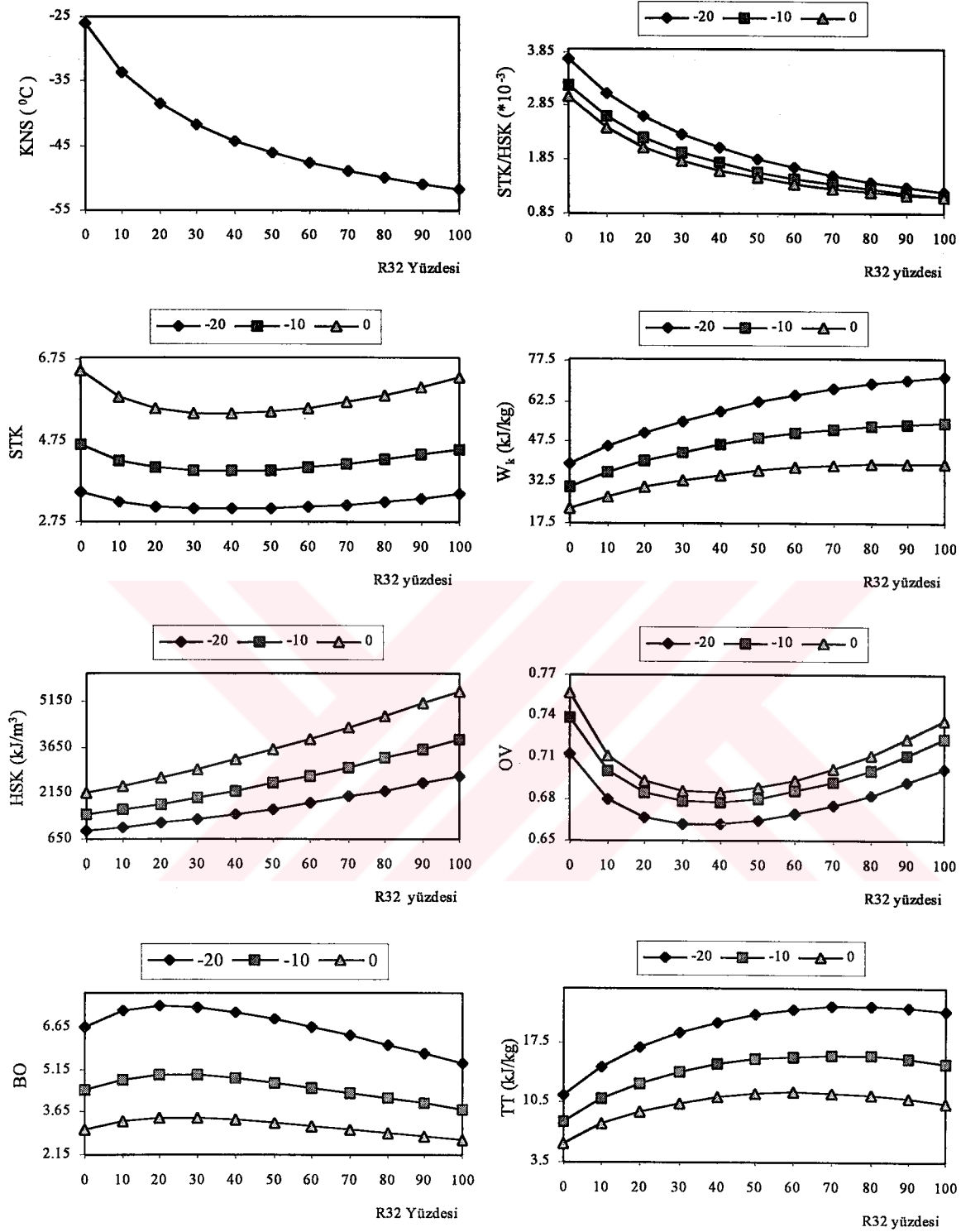
Karışımların kullanılma amacı daha önce açıklanmıştı. Bu alt başlıkta ikili, üçlü ve dördü karışımların klasik ve ısı değiştiricili çevrimde farklı buharlaştırıcı sıcaklıklarında kullanılmalarıyla çevrim için ulaşılacak performans değerleri incelenecektir.

Zeotropik karışımlarda faz değişimi esnasında sıcaklık farkının oluştuğu önceki bölümlerde belirtilmişti. Karışımlara ait KNS değeri olarak doymuş sıvı sıcaklığı alınmıştır. Çünkü ilk buharlaşma doymuş sıvı eğrisinden itibaren başlamaktadır. BO değerleri hem klasik hem de ısı değiştiricili çevrim için aynıdır.

3.2.2.1. R32/R134a Karışımı

R32'nin KNS değerinin R134a'dan daha düşük olduğu daha önce belirtilmişti. Dolayısıyla bu karışıma ait KNS değerleri R32 kütle yüzdesinin artması ile azalmaktadır. (Çizelge Ek 1.2., Şekil 3.3.-3.4.)

Buharlaştırıcı sıcaklığının artmasıyla beklendiği gibi STK değerleri artmaktadır. STK değişimi klasik çevrimde 50/50 oranındaki karışıma kadar azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Isı değiştiricili çevrimde ise bu 60/40 oranından sonra artma gözlenmektedir. Klasik çevrimde en yüksek STK değeri 90/10 oranında, en düşük STK değeri ise 40/60 oranında elde edilmektedir. Isı değiştiricili



Şekil 3.3. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R32/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

çevrimde ise en yüksek değer 10/90 oranındaki karışımda, en düşük değer ise 50/50 oranındaki karışımda elde edilmektedir. STK'nın değişimi KNS'deki değişimden dolayı beklenen sonucu vermemektedir. Isı değiştirgecinin kullanımı 40/60 oranındaki karışıma kadar avantajlı iken 50/50 oranı ve daha sonraki karışımlarda ise bu sağlanamamaktadır.

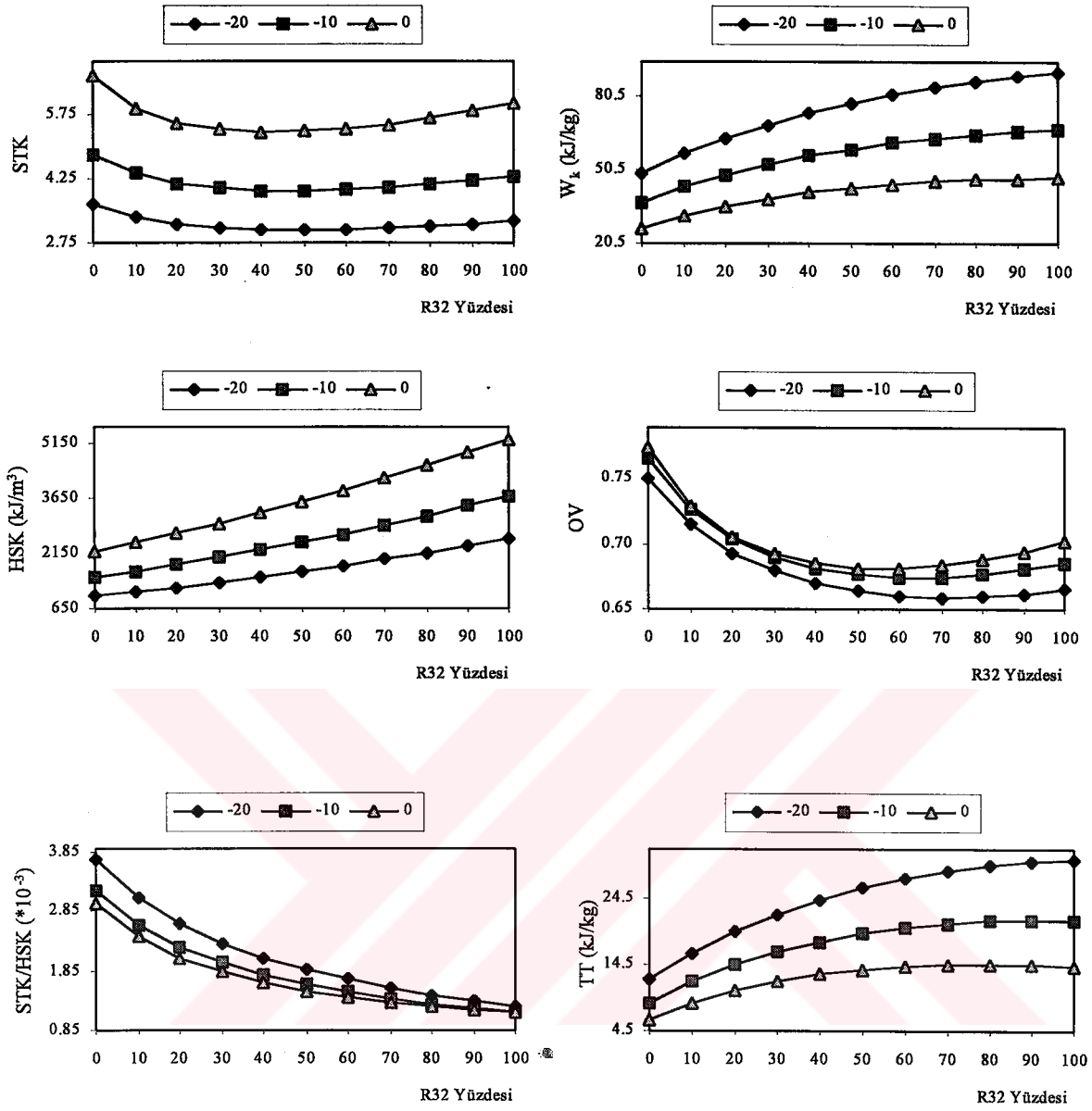
Buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça ve R32 oranı arttıkça HSK değeri artmaktadır. Bu değişim KNS ile uyum içindedir. Isı değiştirgecinin kullanılması ile 40/60 oranındaki karışıma kadar HSK değeri artmakta, daha sonraki oranlarda ise azalmaktadır. Bu durum avantajlı olması bakımından STK için de geçerli idi.

BO değeri ise en yüksek 20/80 oranındaki karışımda elde edilmekte, bundan önceki ve sonraki karışımlarda ise azalmaktadır. BO'nun değişimi ise 20/80 oranındaki karışımdan sonra R32'nin artan yüzdesine paralel olarak KNS ve HSK ile uyum göstermektedir.

STK değişimi beklenenden farklı iken STK/HSK değişimi KNS ve HSK değişimi ile uyum içindedir. Dolayısıyla HSK arttıkça ve KNS düştükçe STK/HSK değişimi de azalmaktadır. Bu durum iki çevrim için de geçerlidir. Genelde ısı değiştiricili çevrimde daha düşük STK/HSK değerleri elde edilmektedir.

Kompresör işi de HSK değişimi gibi R32 yüzdesi arttıkça artmaktadır. Buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça beklendiği gibi kompresör işi azalmaktadır. İki çevrim için de bu durum geçerlidir. Isı değiştiricili çevrimde beklendiği gibi kompresör işi artmaktadır.

OV değişimi genelde STK değişimi ile benzerlik taşımakta, sadece ısı değiştiricili çevrimde en düşük değer 60/40 oranındaki karışımda elde edilmektedir.



Şekil 3.4. Sabit sıcaklık için ısı değıştiricili çevrimde R32/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değışlerinin kütle oranıyla değışimi

Yine STK'daki gibi 40/60 oranındaki karışıma kadar ısı değiştiricili çevrim avantajlı olmaktadır.

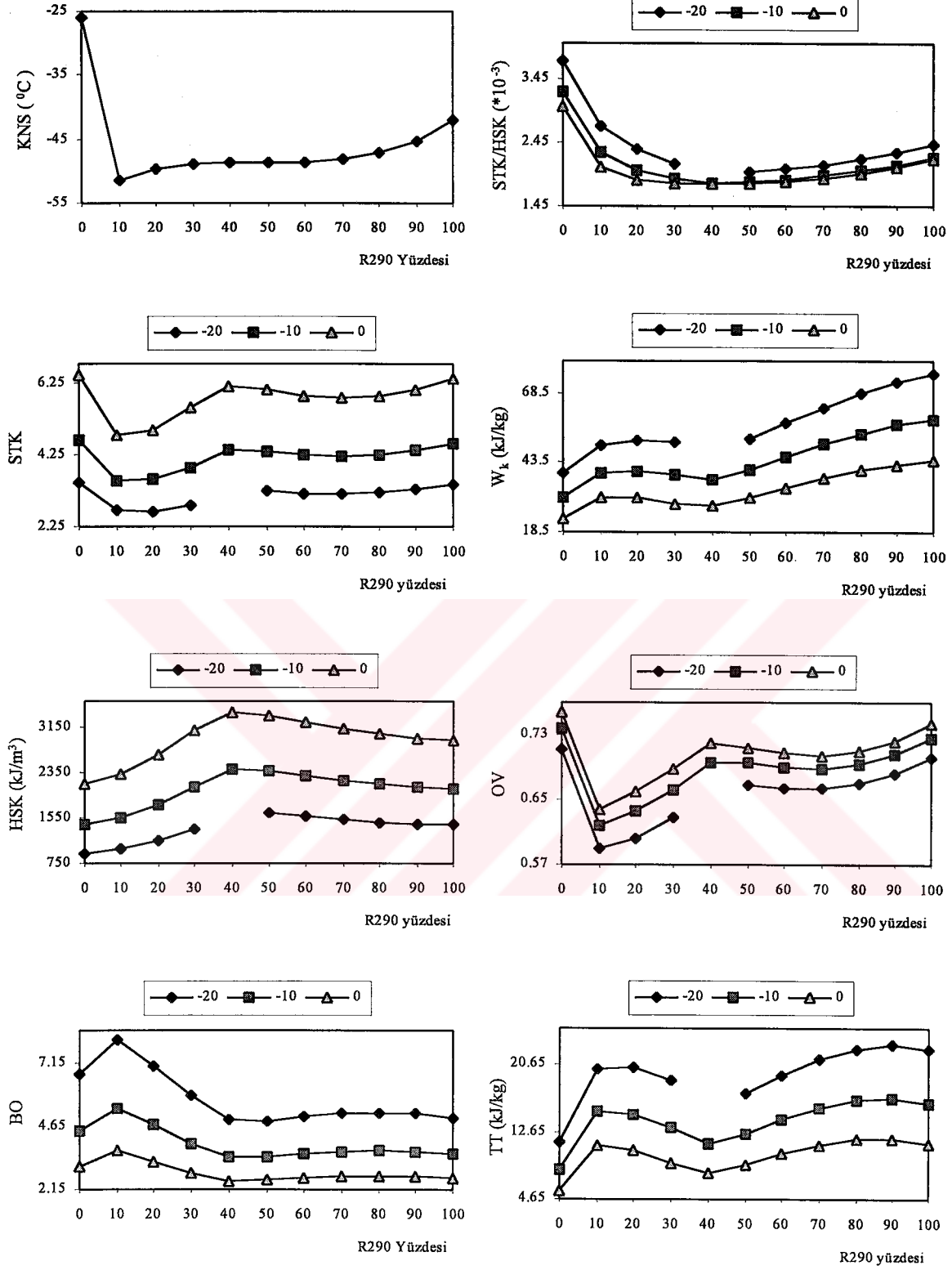
TT değişimi de kompresör işiyle benzerlik arz etmektedir. Yani genel itibariyle R32 oranı arttıkça TT artmaktadır. Fakat klasik çevrimde 70/30 oranındaki karışımdan sonra TT'de azalma gözlenmektedir. Isı değiştirgecinin kullanımı bütün karışımlarda TT'de artışa neden olmaktadır.

Bu ikili karışımın 25/75 ve 30/70 oranındaki karışımları R22 için alternatif karışım olarak teklif edilmektedir.

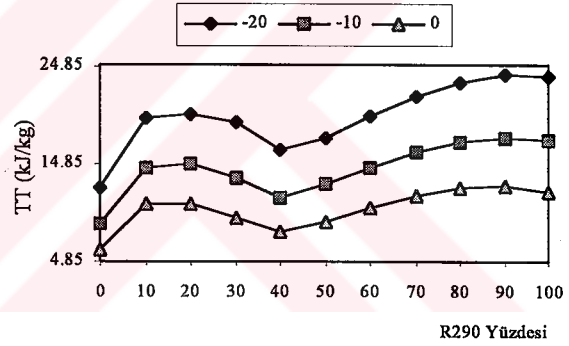
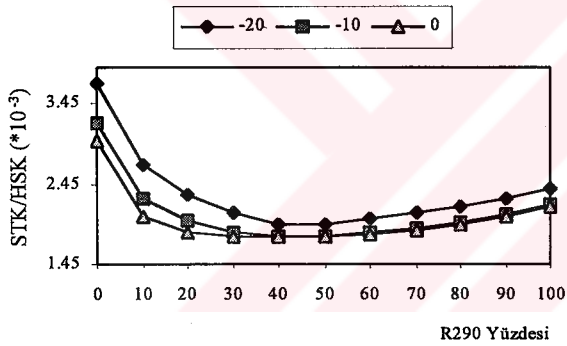
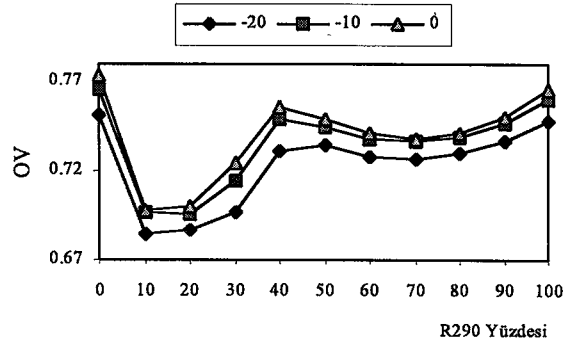
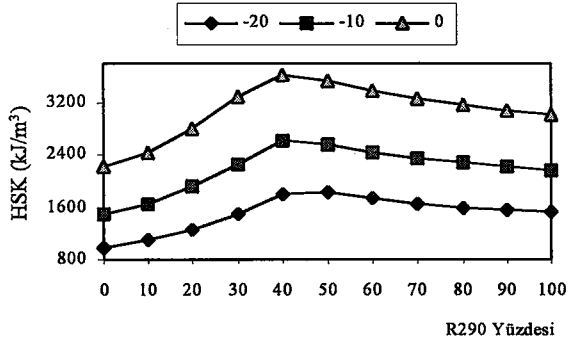
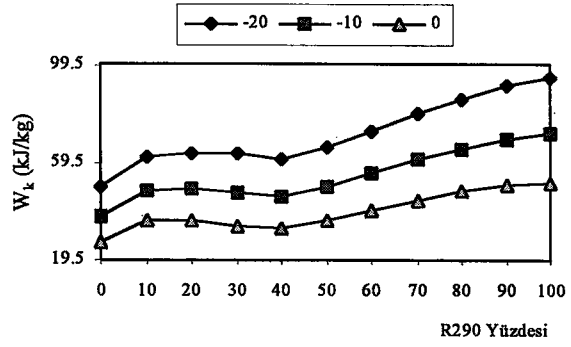
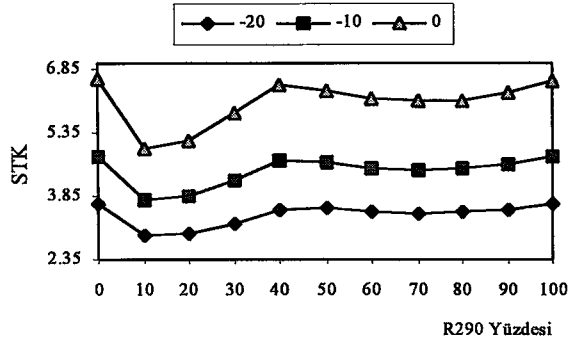
3.2.2.2. R290/R134a Karışımı

R290'nın KNS değeri R134a'dan daha yüksektir. (Çizelge Ek 1.3., Şekil 3.5.-3.6.) Karışıma ait KNS değerleri ise bu iki bileşenin KNS değerleri arasında değişmesi beklenirken R290'nın KNS değerinden daha düşük değerler elde edilmektedir. Bu durum 46/54 oranında karışımın azeotrop bir karışım oluşmasıyla açıklanabilir. En düşük KNS değeri ani bir düşüşle 10/90 oranında elde edilmekte ve daha sonra R290 oranı arttıkça KNS değeri artmaktadır.

Buharlaştırıcı sıcaklığının artması ile STK değerleri belirgin olarak artmaktadır. STK değişimi iki çevrimde de 40/60 oranına kadar artış göstermekte, daha sonra 80/20 oranına kadar azalmakta ve tekrar artış göstermektedir. En yüksek STK değeri 40/60 oranında elde edilmektedir. Dolayısıyla KNS'deki değişime göre beklenen davranış STK'da gerçekteşmemektedir. Isı değiştiricili çevrim tamamiyle avantajlı gözükmemektedir.



Şekil 3.5. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R290/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi



Şekil 3.6. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R290/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

HSK değişimi her iki çevrimde de 40/60 oranına kadar artmakta daha sonra azalmaktadır. Dolayısıyla en yüksek HSK değerine 40/60 oranında ulaşılmaktadır. Isı değiştiricili çevrimde daha yüksek HSK değerleri elde edilmektedir.

BO değişimi 40/60 oranına kadar azalmakta daha sonra az da olsa artış göstermekte, 80/20 oranında sonra tekrar azalmaktadır.

STK/HSK değişimi klasik ve ısı değiştiricili çevrimde 40/60 oranına kadar azalmakta daha sonra artış göstermektedir. Isı değiştiricili çevrimde daha düşük değerler elde edilmektedir.

Kompresör işi buharlaştırıcı sıcaklığının artması ile belirgin bir şekilde artmakta, genel itibariyle R290 oranı arttıkça da artış göstermektedir. Isı değiştiricili çevrimde daha yüksek iş girdisi olmaktadır.

OV değerleri açısından ısı değiştiricili çevrim avantajlıdır. İki çevrimde de STK değişimine benzer değişim elde edilmekte fakat sabit buharlaştırıcı sıcaklıkları arasında STK'da olduğu kadar farklılık olmamaktadır.

Bu ikili karışımın 46/54 oranındaki karışımı R22 için, 5/95 oranındaki karışımı da R12 için alternatif karışım⁽³³⁾ olarak kaynaklarda verilmektedir.

3.2.2.3. R600a/R134a Karışımı

Bu karışımın 18/82 oranında azeotrop bir karışımı söz konusudur ve bu R12 için alternatif bir karışım olarak kaynaklarda verilmektedir. Azeotrop noktaya kadar KNS değeri bileşenlerin KNS değerlerinin altına düşmekte daha sonra R600a oranı arttıkça KNS de yükselmektedir. (Çizelge Ek 1.4., Şekil 3.7.-3.8)

R600a'nın daha önce belirtilen özelliği gereği klasik çevrimde bu ikili karışım hesaplamaya dahil edilmemiştir. Böylece sadece ısı değiştiricili çevrim dikkate alınmıştır.

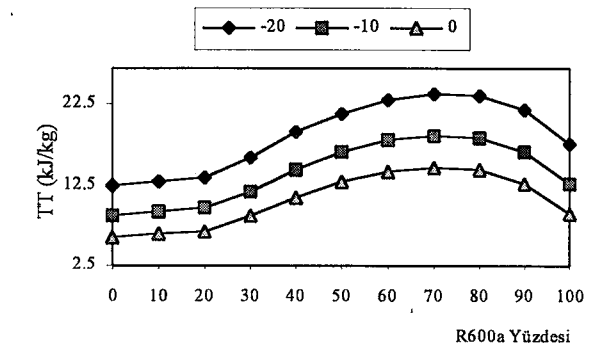
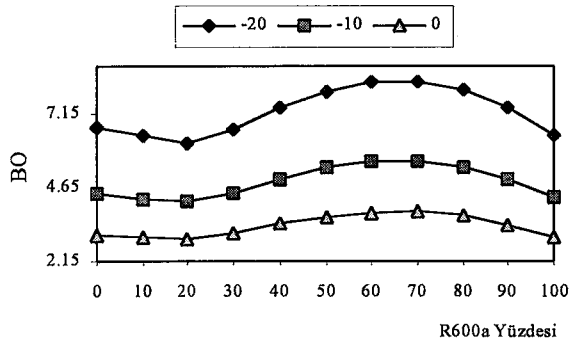
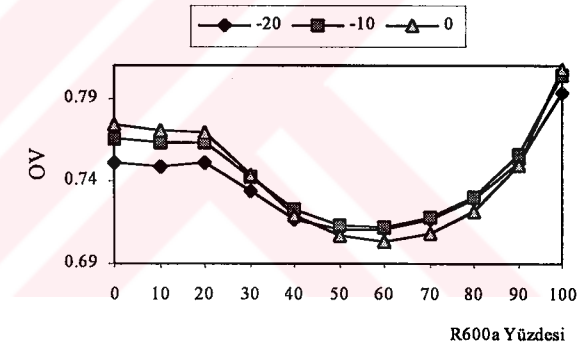
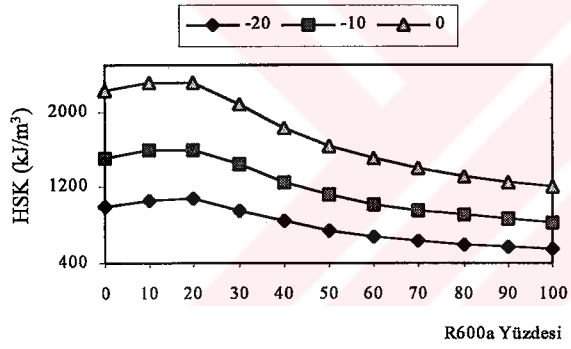
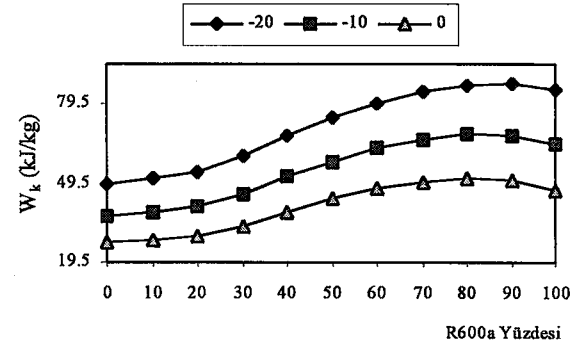
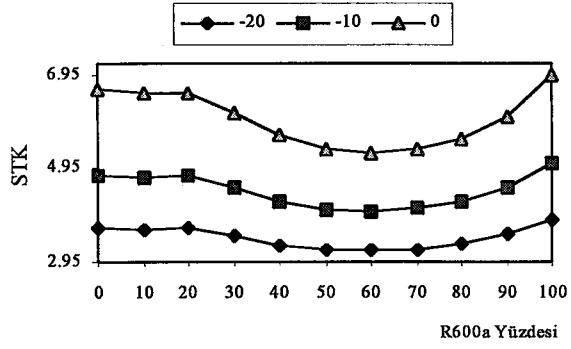
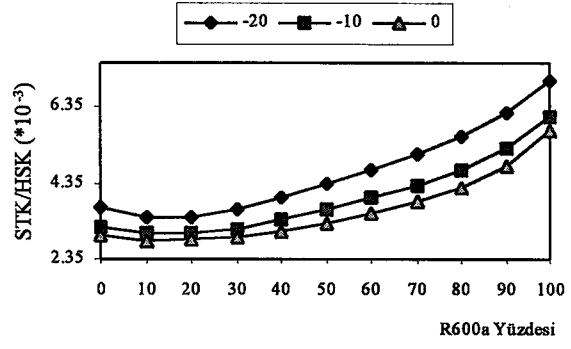
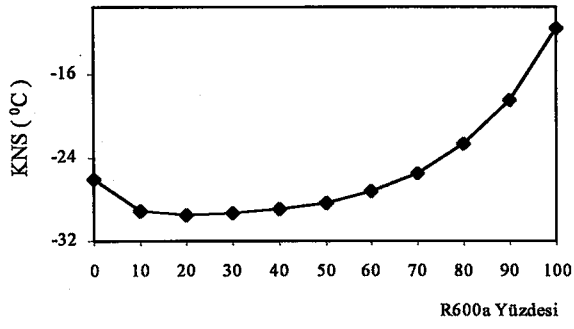
Buharlaştırıcı sıcaklığının düşmesiyle belirgin olarak STK artmaktadır. En yüksek STK değerleri 20/80 oranındaki karışımında elde edilmektedir. R600a'nın daha düşük oranlarında da yakın STK değerleri geçerlidir. 20/80 karışımından sonra R600a'nın %60 oranına kadar STK'da düşme olmakta ve sonra bu oran arttıkça tekrar yükselme görölmektedir. Böylece en düşük STK değerlerine 60/40 oranındaki karışımında ulaşılmaktadır.

HSK değerleri de 20/80 oranındaki karışımında (azeotrop noktaya yakın) en yüksek seviyededir. R600a'nın oranının azalması ve artması ile HSK değeri düşmektedir. Böylece KNS değişimiyle uyumlu bir davranış gözlenmektedir.

BO değişimi ise STK ile uyumlu gözölmektedir. STK'nın yükseldiği yerlerde BO düşmektedir. Kompresör işi, R600a oranının artması ile artmakta, bu artış azeotrop noktadan sonra daha belirgin olmaktadır.

OV değişimi de beklendiği şekilde STK ile benzerlik taşımaktadır. Fakat farklı buharlaştırıcı sıcaklıklarında STK kadar değişiklik olmamaktadır. Ayrıca bazı oranlarda T_b yükseldikçe beklendiğinin aksine OV'de düşme dahi gözlenmektedir.

TT değişimi STK değişimi ile uygunluk arz etmektedir. Buharlaştırıcı sıcaklığının yükselmesi belirgin olarak TT değerleri artmaktadır. STK'nın en düşük olduğu yerde de en yüksek TT değeri elde edilmektedir.



Şekil 3.7. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R600a/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

3.2.2.4. R152a/R134a Karışımı

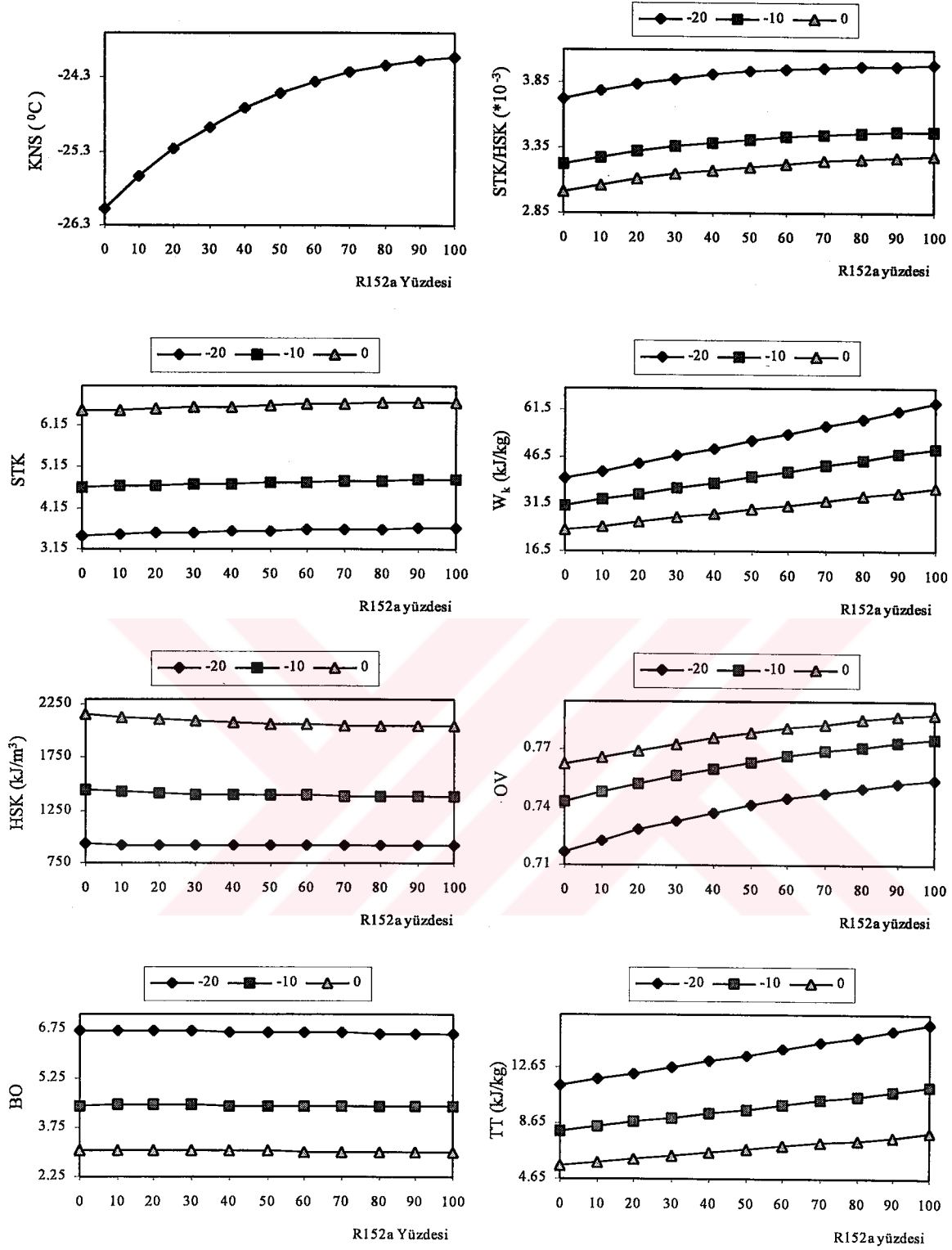
R152a oranının artması ile KNS değeri artmaktadır. Bu durum beklenen bir değişimdir. Çünkü R152a'nın KNS değeri R134a'nın değerinden yüksektir. (Çizelge Ek 1.5., Şekil 3.8.-3.9.)

STK değişimi iki çevrim için de T_b arttıkça artmaktadır. Sabit T_b 'ler için R152a oranının artması ile klasik çevrimde STK az miktarda artmakta, ısı değiştiricili çevrimde ise hemen hemen aynı kalmaktadır. -20 ve -10°C 'lik T_b sıcaklığında genelde ısı değiştiricili çevrim avantajlı iken, 0°C 'lik T_b sıcaklığında klasik çevrim avantajlı gözükmemektedir.

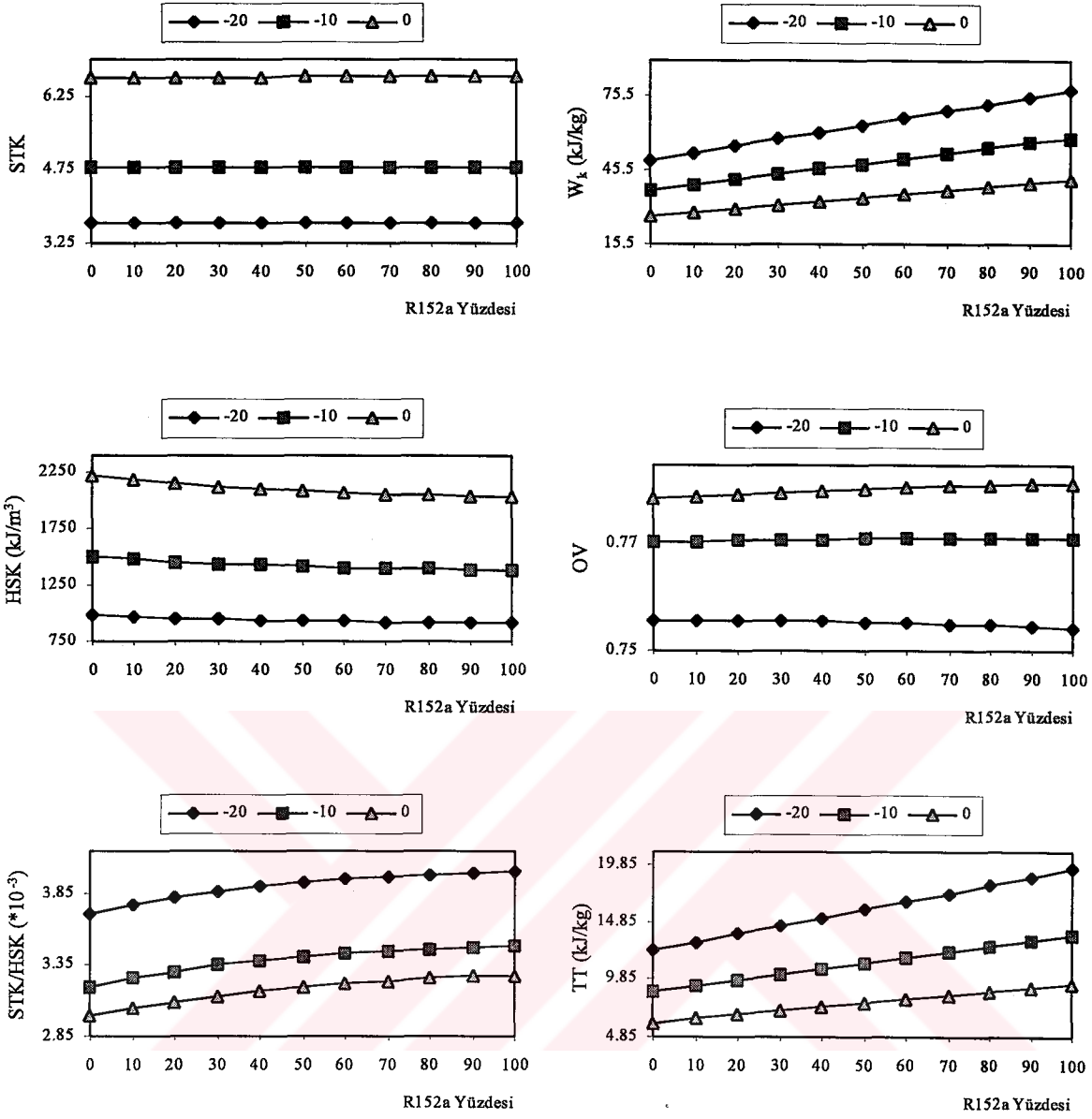
HSK değişimi de STK'da olduğu gibi iki çevrimde de T_b arttıkça artmakta, sabit T_b 'ler için R152a oranının artması ile küçük miktarlarda azalmaktadır. Böylece STK ve HSK değişimleri beklendiği şekilde gerçekleşmektedir.

BO değişimi T_b düştükçe artmakta, sabit T_b için R152a oranı arttıkça az da olmaktadır. W_k ve TT değişimi iki çevrim için de, T_b azaldıkça ve sabit T_b için R152a oranı arttıkça artış göstermektedir. OV değişimi de STK'da olduğu gibi iki çevrimde de T_b arttıkça yükselmektedir. R152a oranının artmasıyla ısı değiştiricili çevrimde OV hemen hemen aynı kalırken, klasik çevrimde artış göstermektedir. Genelde ısı değiştiricili çevrim avantajlı durumdadır.

14/86 oranındaki karışımı, R12 için alternatif karışım olarak teklif edilmektedir.



Şekil 3.8. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R152a/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi



Şekil 3.9. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R152a/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

3.2.2.5. R125/R143a Karışımı

Bileşenlerin KNS'leri birbirine oldukça yakın olduğu için hemen hemen 40/60 oranına kadar azeotropluk söz konusudur. Bu durum KNS değişiminde de gözlenmektedir. Çünkü bu orana kadar karışımın KNS değeri bileşenlerinkinden daha yüksek olmaktadır. (Çizelge Ek 1.6., Şekil 3.10.-3.11.)

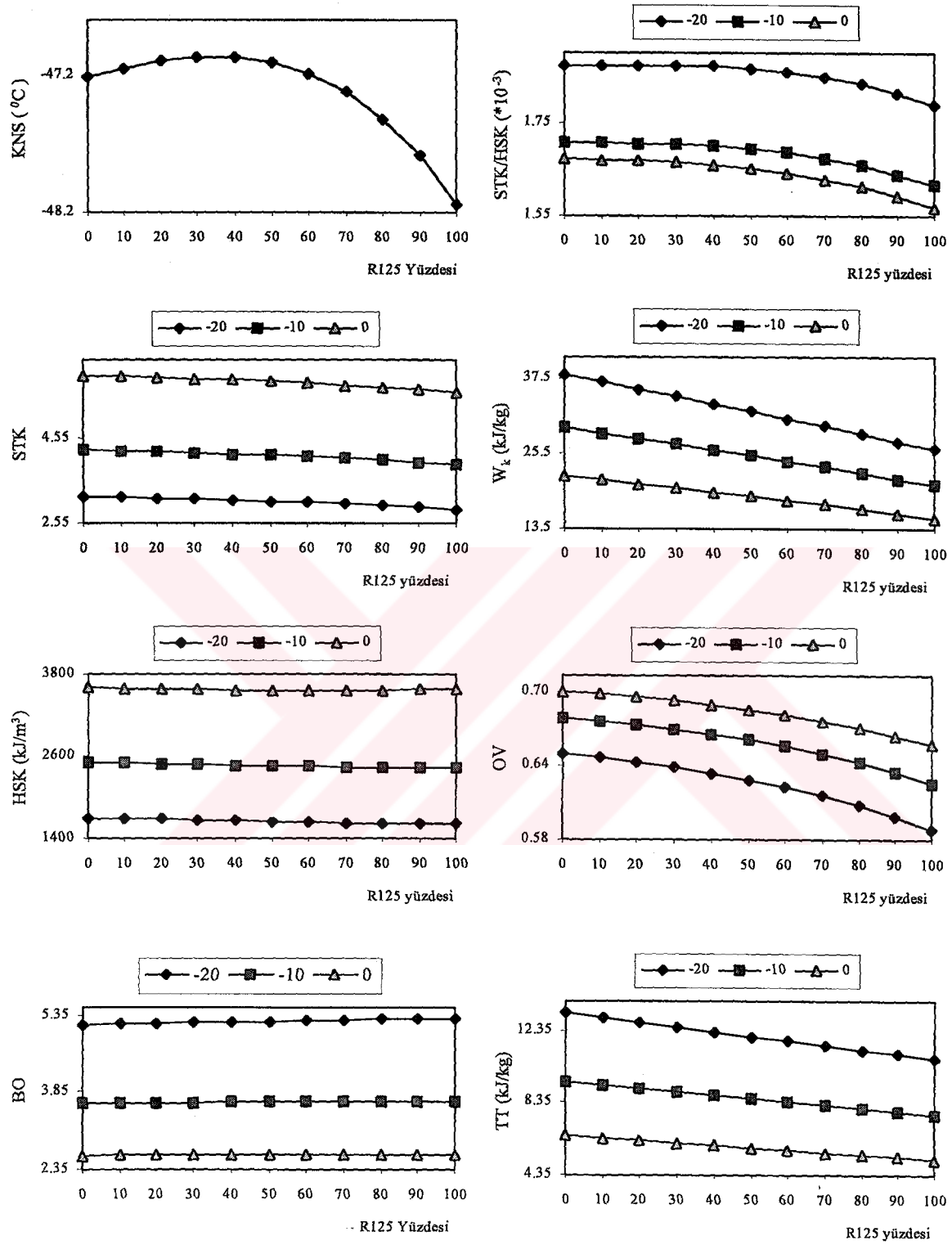
STK değişimi iki çevrim için de T_b arttıkça artmaktadır. Sabit T_b 'ler için R125 oranının artması ile klasik çevrimde STK azalmakta, ısı değiştiricili çevrimde ise hemen hemen aynı kalmaktadır. 10/90 oranındaki karışımda en yüksek STK değerleri elde edilmektedir. Isı değiştiricili çevrim ise her durumda daha yüksek STK değerlerine sahiptir.

HSK değişiminde T_b 'nin etkisi STK'daki gibidir. Sabit T_b 'ler için R125 oranının artması ile klasik çevrimde HSK'lar azalırken, ısı değiştiricili çevrimde ise artmaktadır.

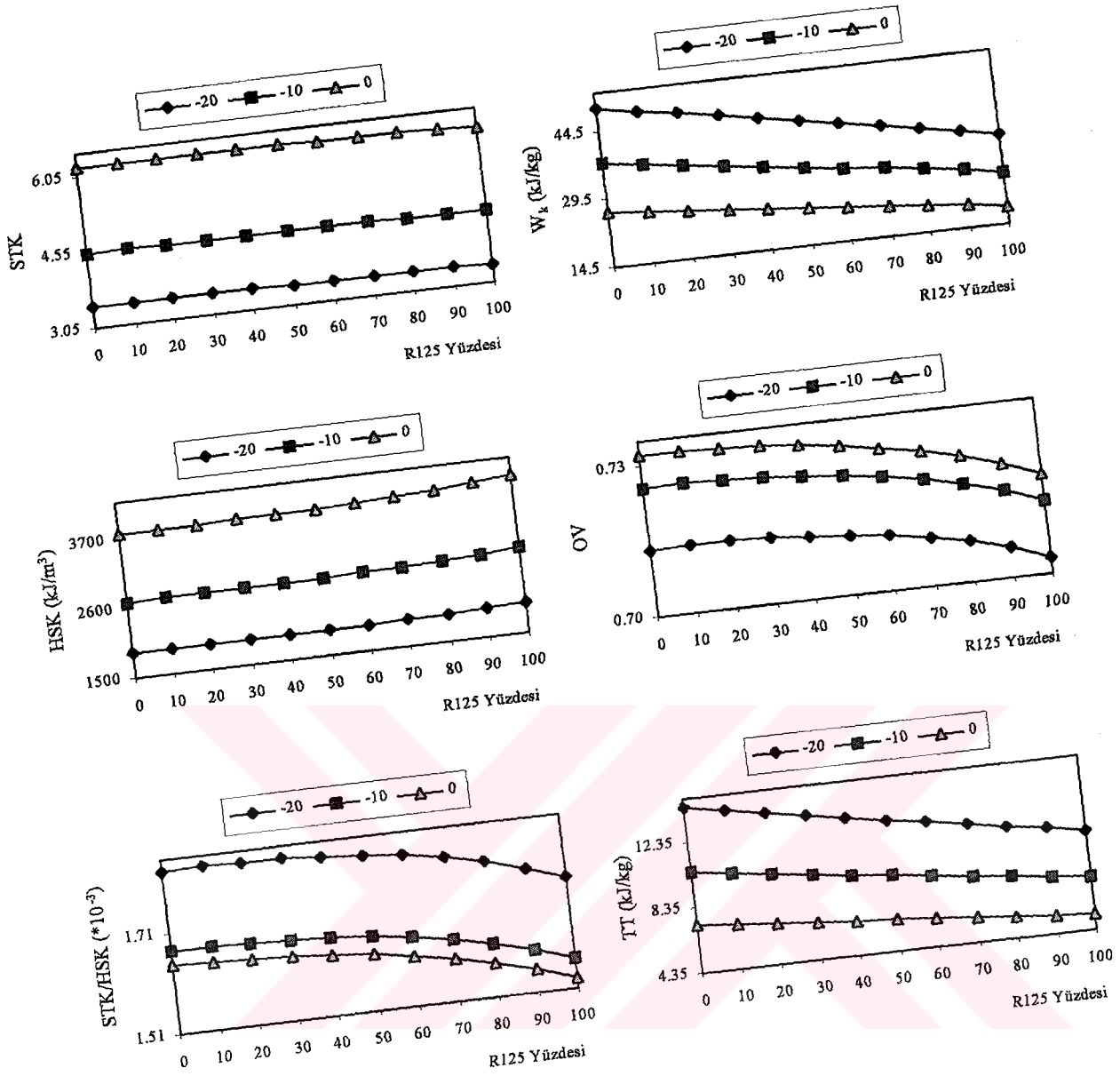
BO değişimi ise beklendiği şekilde T_b 'nin azalması ile ve R125 oranının artması ile artış göstermektedir. W_k ve T_F değişimi iki çevrim için de, T_b ve sabit T_b için R125 oranı azaldıkça artış göstermektedir.

3.2.2.6. R32/R125 Karışımı

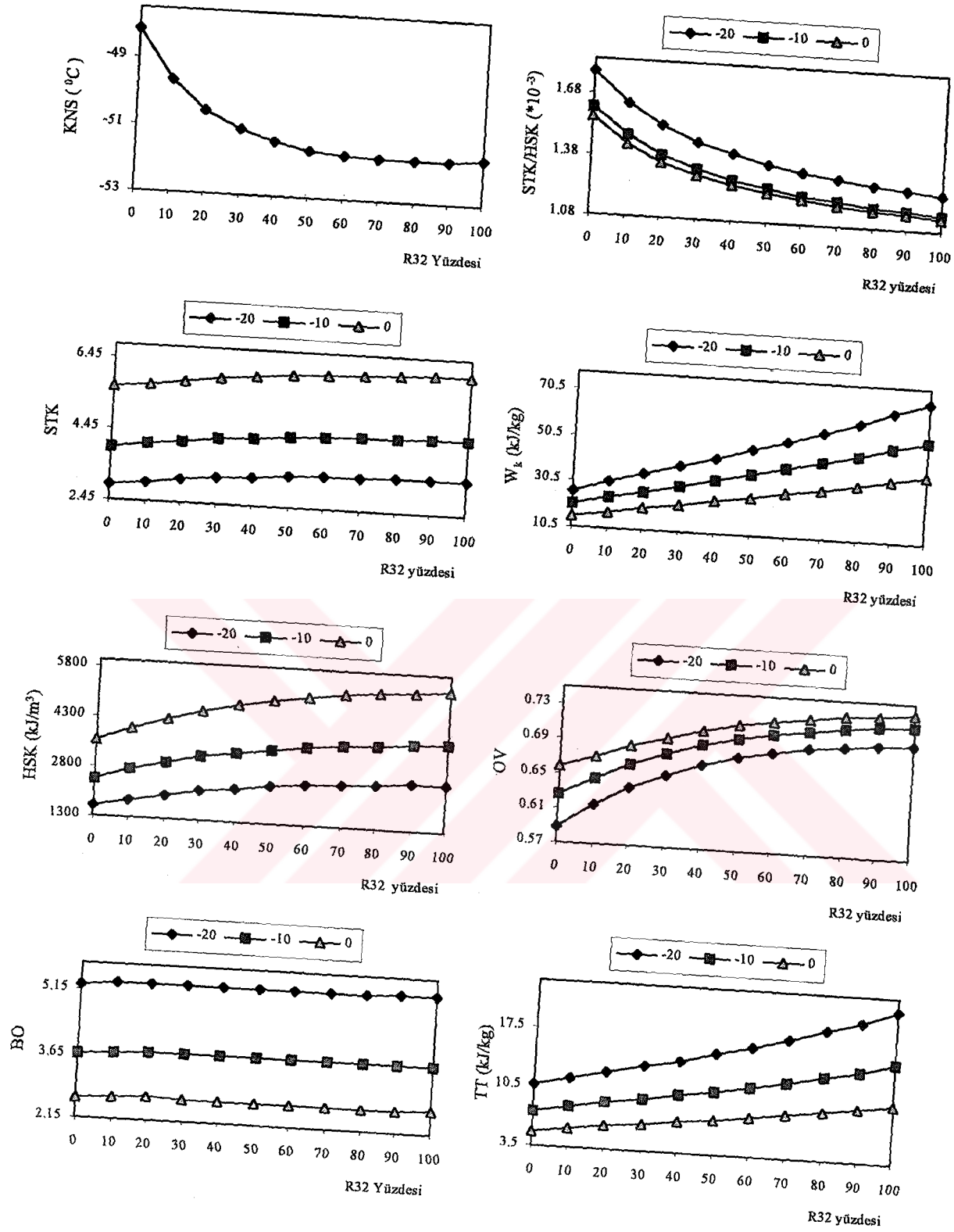
60/40 oranından sonra azeotropluk gözlenmektedir. Dolayısıyla KNS değeri 60/40 oranından sonra iki bileşenin de altında bir değere düşmektedir. 60/40 oranından önce R32 yüzdesinin artmasıyla R32'nin değerine yaklaşarak KNS azalmaktadır. (Çizelge Ek 1.7., Şekil 3.12.-3.13.)



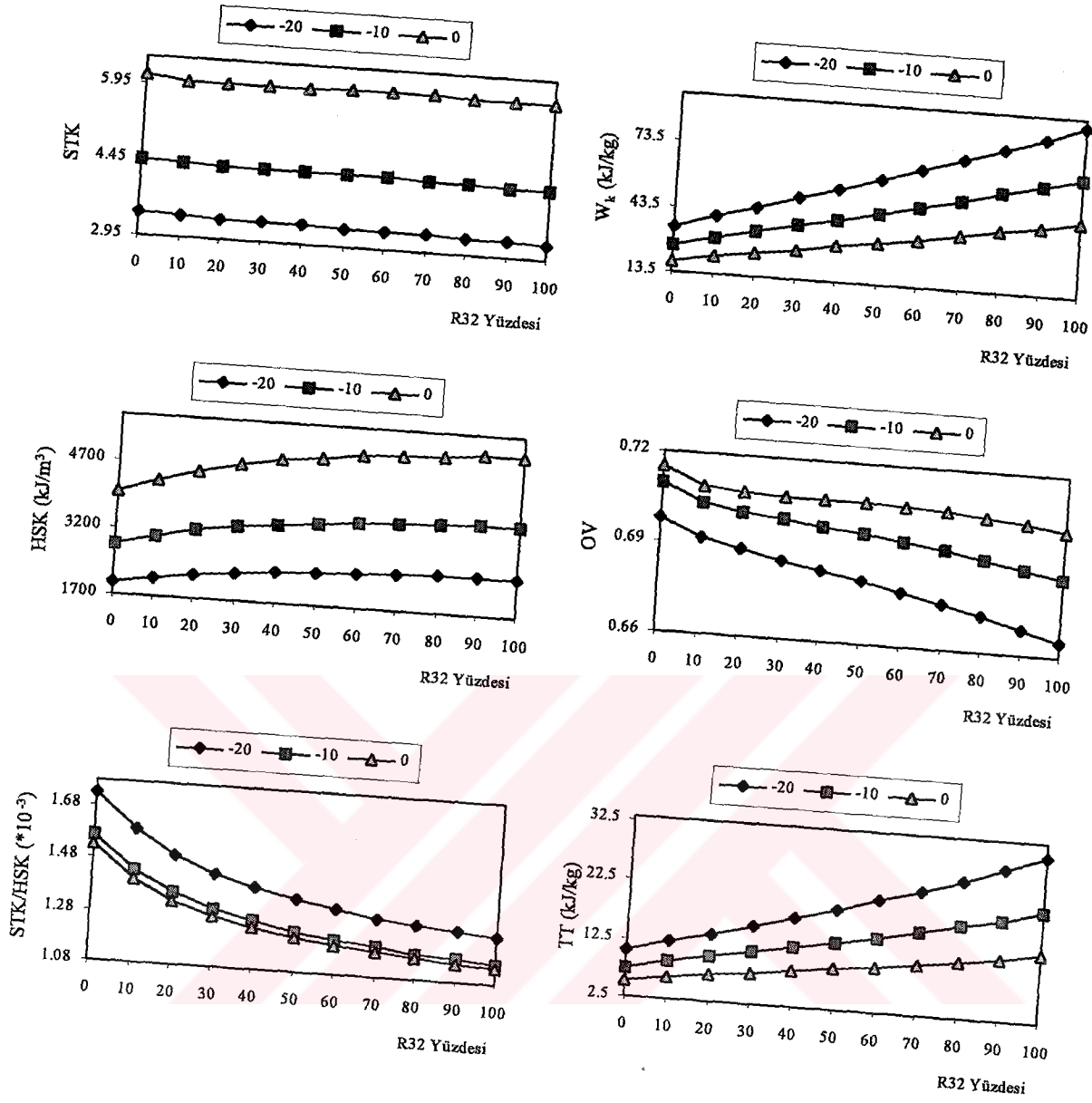
Şekil 3.10. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R125/R143a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi



Şekil 3.11. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R125/R143a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi



Şekil 3.12. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R32/R125 karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi



Şekil 3.13. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R32/R125 karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

STK değişimi iki çevrim için de T_b arttıkça artmaktadır. Sabit T_b 'ler için R32 oranının artması ile klasik çevrimde STK'lar artarken ısı değiştiricili çevrimde azalmaktadır. 50/50 oranına kadar ısı değiştiricili çevrim avantajlı iken R32 oranı %50'yi geçtikten sonra klasik çevrim avantajlı olmaktadır.

HSK değişimi ise iki çevrim için de T_b ve sabit T_b 'ler için R32 oranı arttıkça yükselmektedir. BO değişimi de T_b azaldıkça ve sabit T_b 'ler için R32 oranı arttıkça yükselmektedir. W_k değişimi ise iki çevrimde de BO ile aynı değişime maruz kalmaktadır. OV değişimi STK ile TT değişimi ise W_k ile benzerlik taşımaktadır.

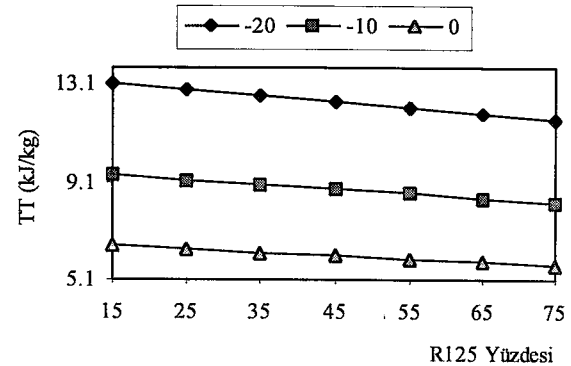
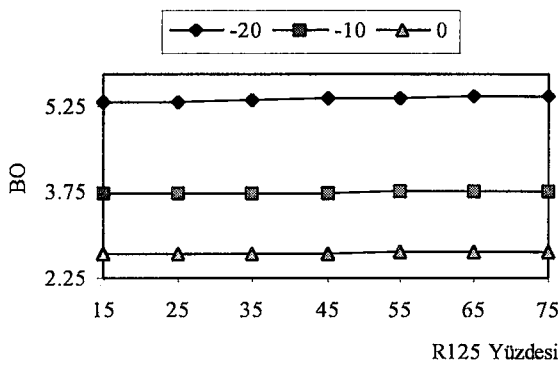
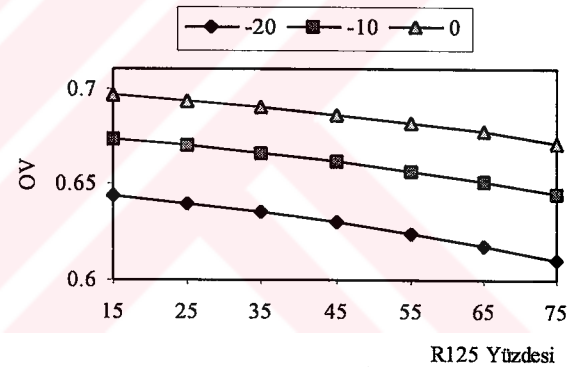
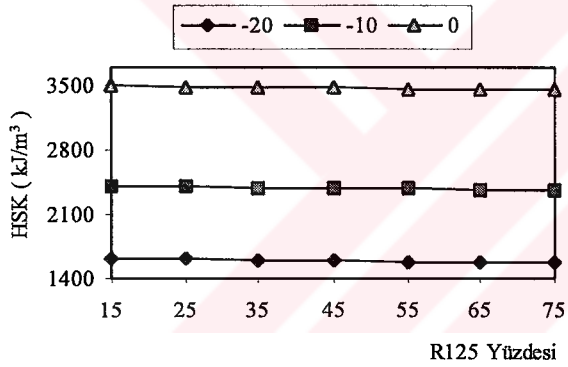
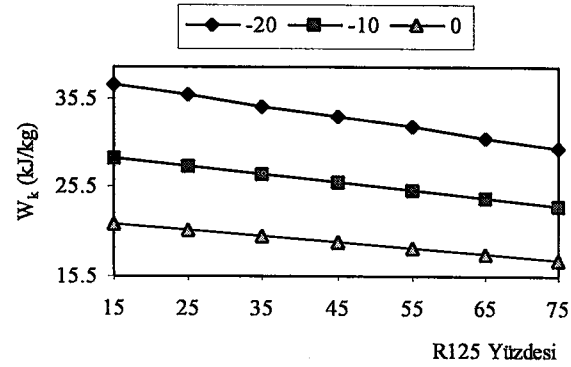
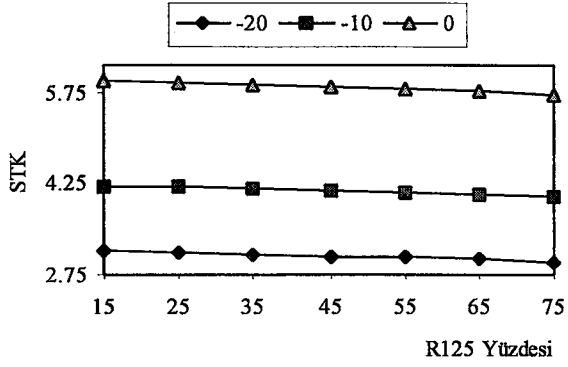
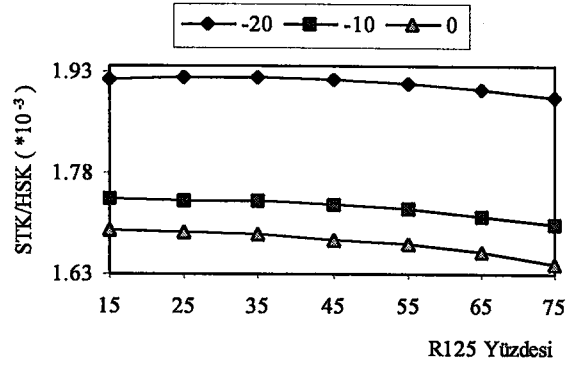
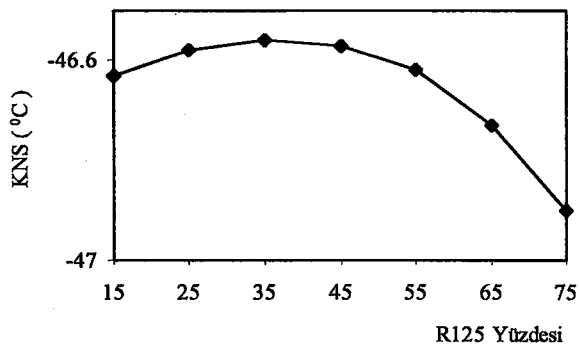
50/50 oranındaki karışımı, R22 için alternatif karışım olarak verilmektedir.

3.2.2.7. R125/R143a/R134a Karışımı

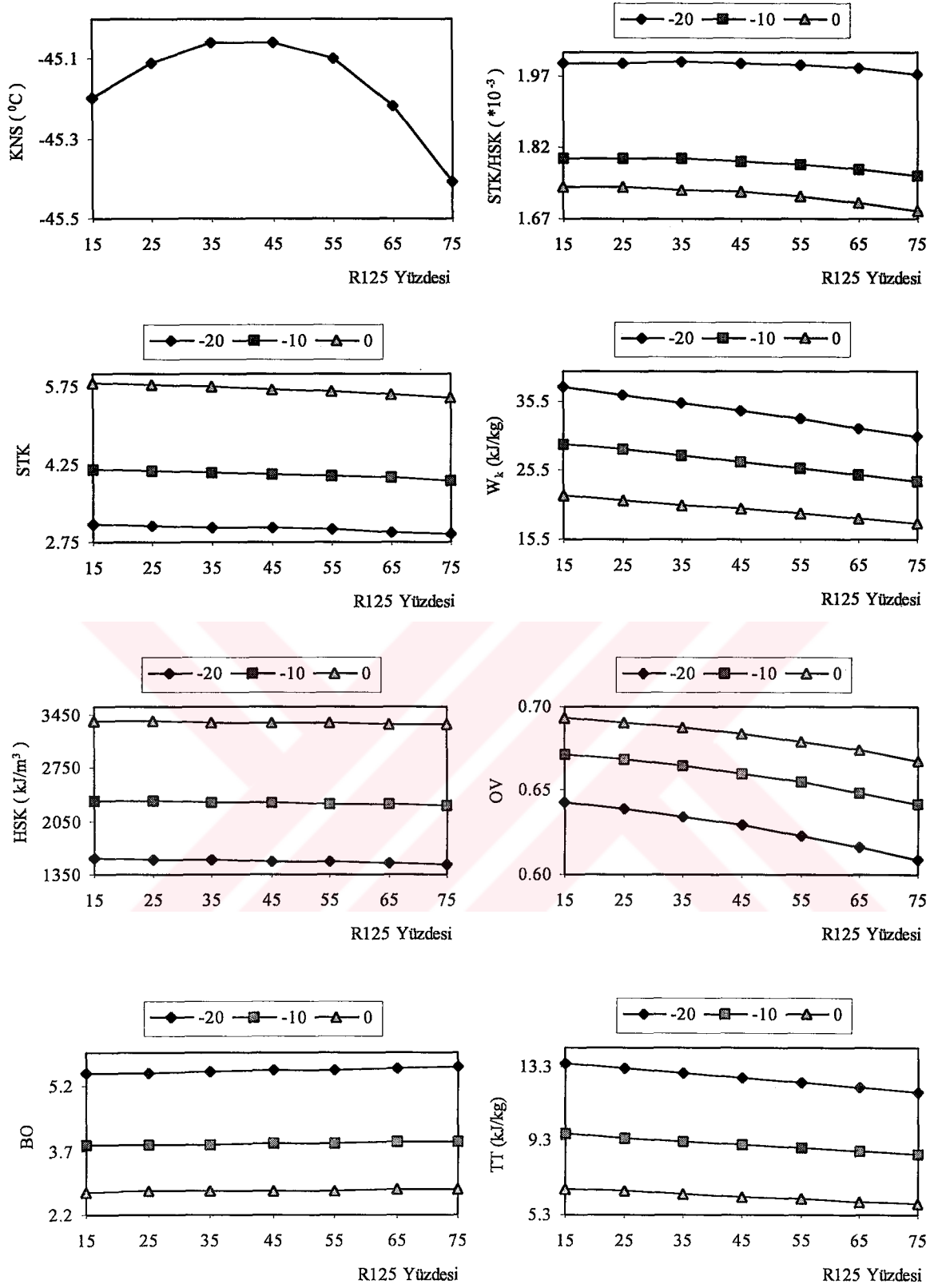
Sabit R134a yüzdeleri için %35'lik R125 oranına kadar KNS değerleri yükselmekte, sonra R125 oranı arttıkça düşmektedir. (Çizelge Ek 1.8., Şekil 3.14.-3.19.)

İki çevrimde de T_b arttıkça STK artmaktadır. Isı değiştiricili çevrim hep avantajlı durumdadır. İki çevrimde de sabit R125 oranı için R134a oranı arttıkça ve sabit R134a oranı için R125 oranı arttıkça STK düşmektedir. Dolayısıyla R125 ve R134a'nın düşük oranları avantajlı olmaktadır.

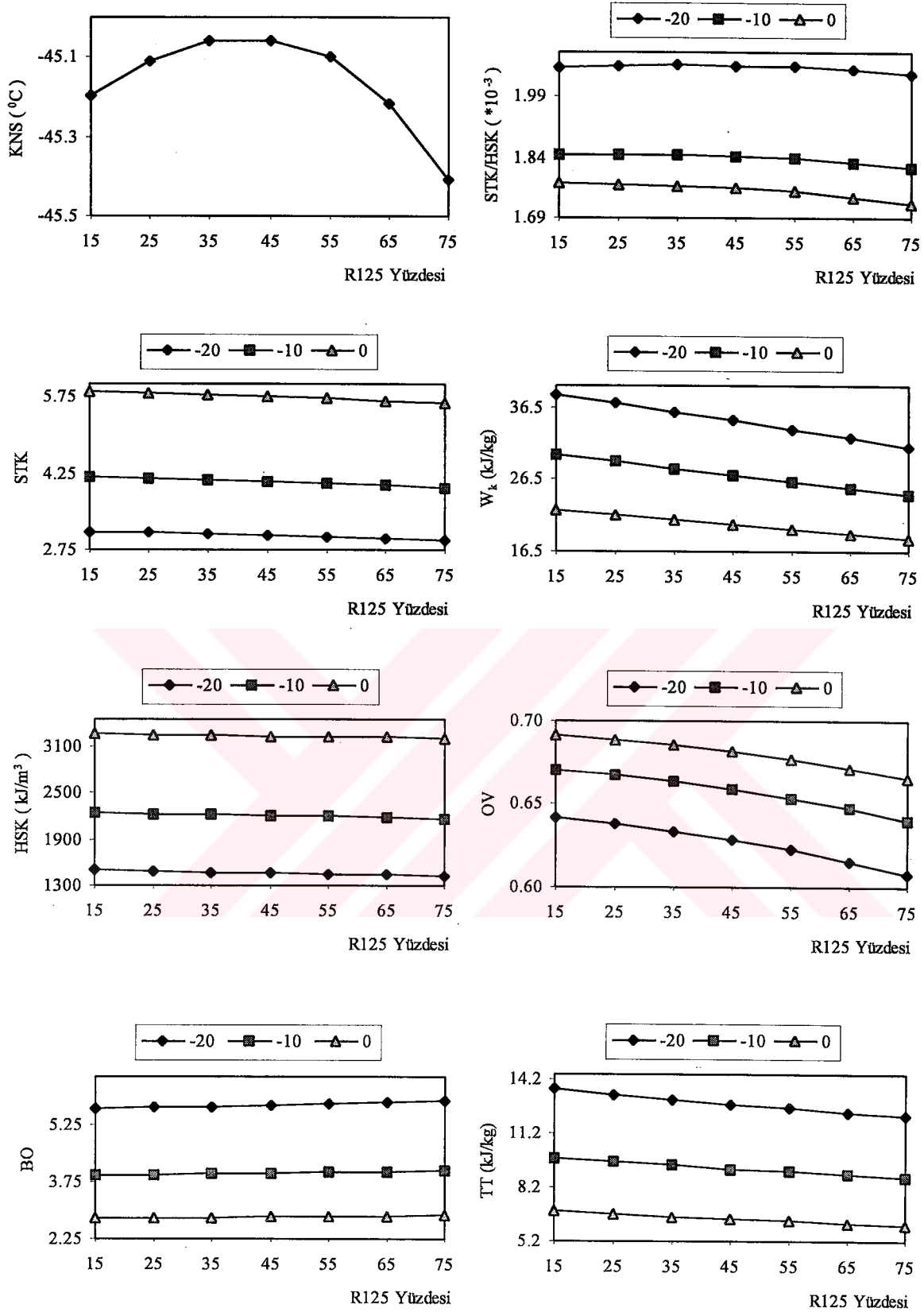
HSK değerleri de ısı değiştiricili çevrimde daha yüksektir. STK'da olduğu gibi iki çevrimde de sabit R125 oranı için R134a oranı arttıkça ve sabit R134a oranı için R125 oranı arttıkça HSK düşmektedir.



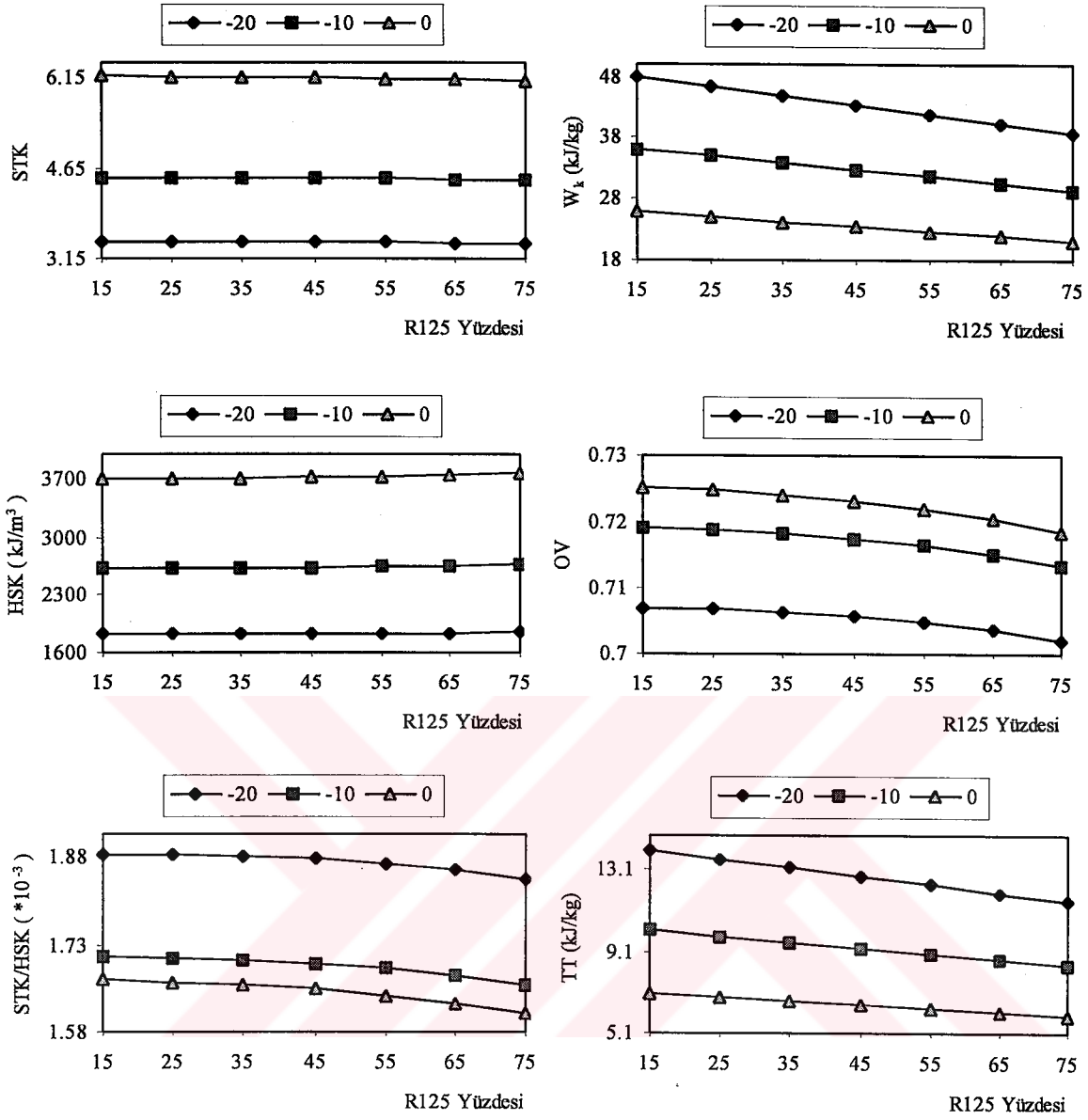
Şekil 3.14. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %5'lik sabit R134a yüzdesi)



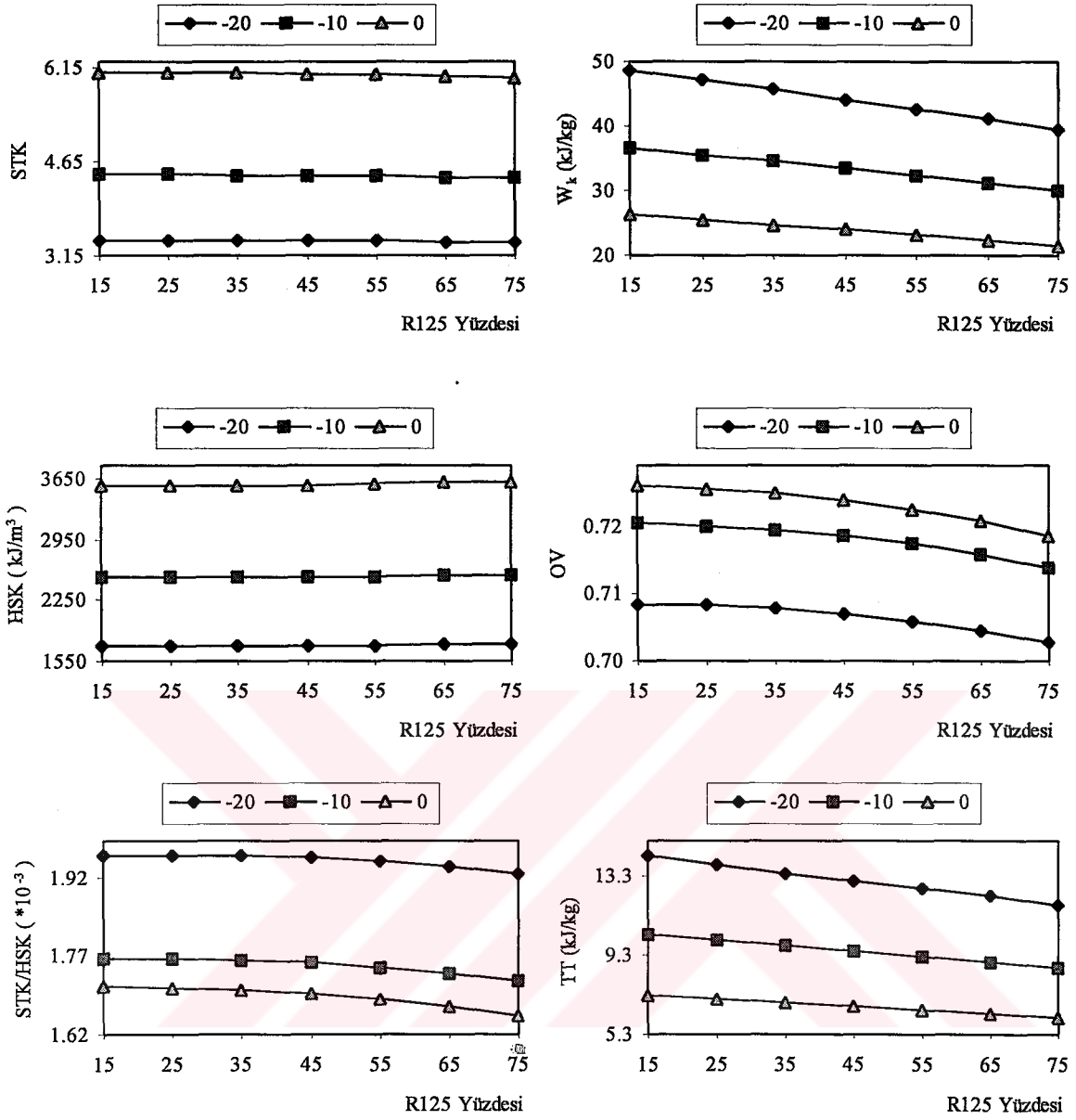
Şekil 3.15. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R134a yüzdesi)



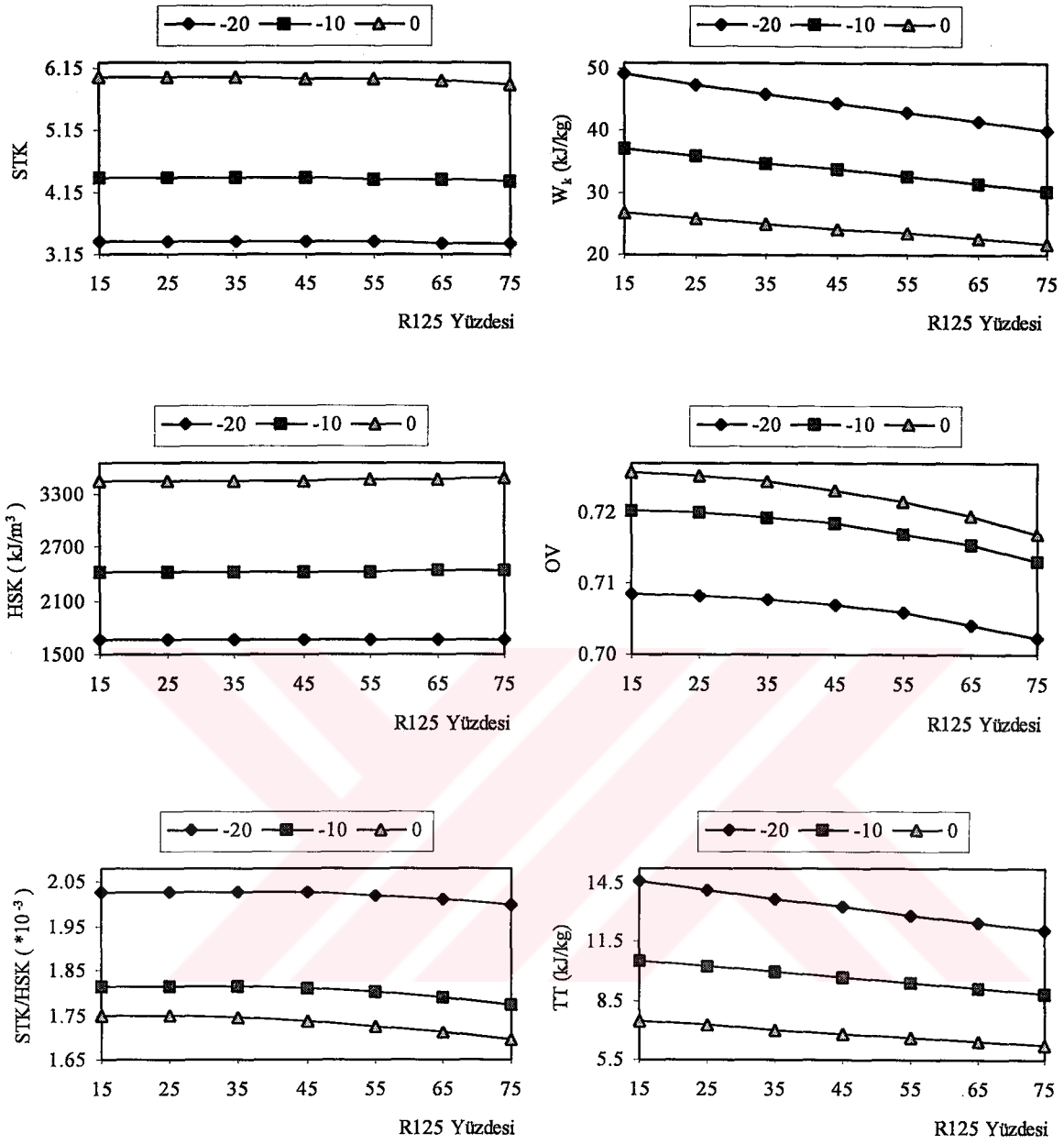
Şekil 3.16. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %15'lik sabit R134a yüzdesi)



Şekil 3.17. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %5'lik sabit R134a yüzdesi)



Şekil 3.18. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R134a yüzdesi)



Şekil 3.19. R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %15'lik sabit R134a yüzdesi)

BO değerleri beklendiği gibi T_b dūştūęe artmaktadır. Ayrıca sabit R125 oranı için R134a oranı arttığa ve sabit R134a oranı için R125 oranı arttığa BO değerleri artmaktadır.

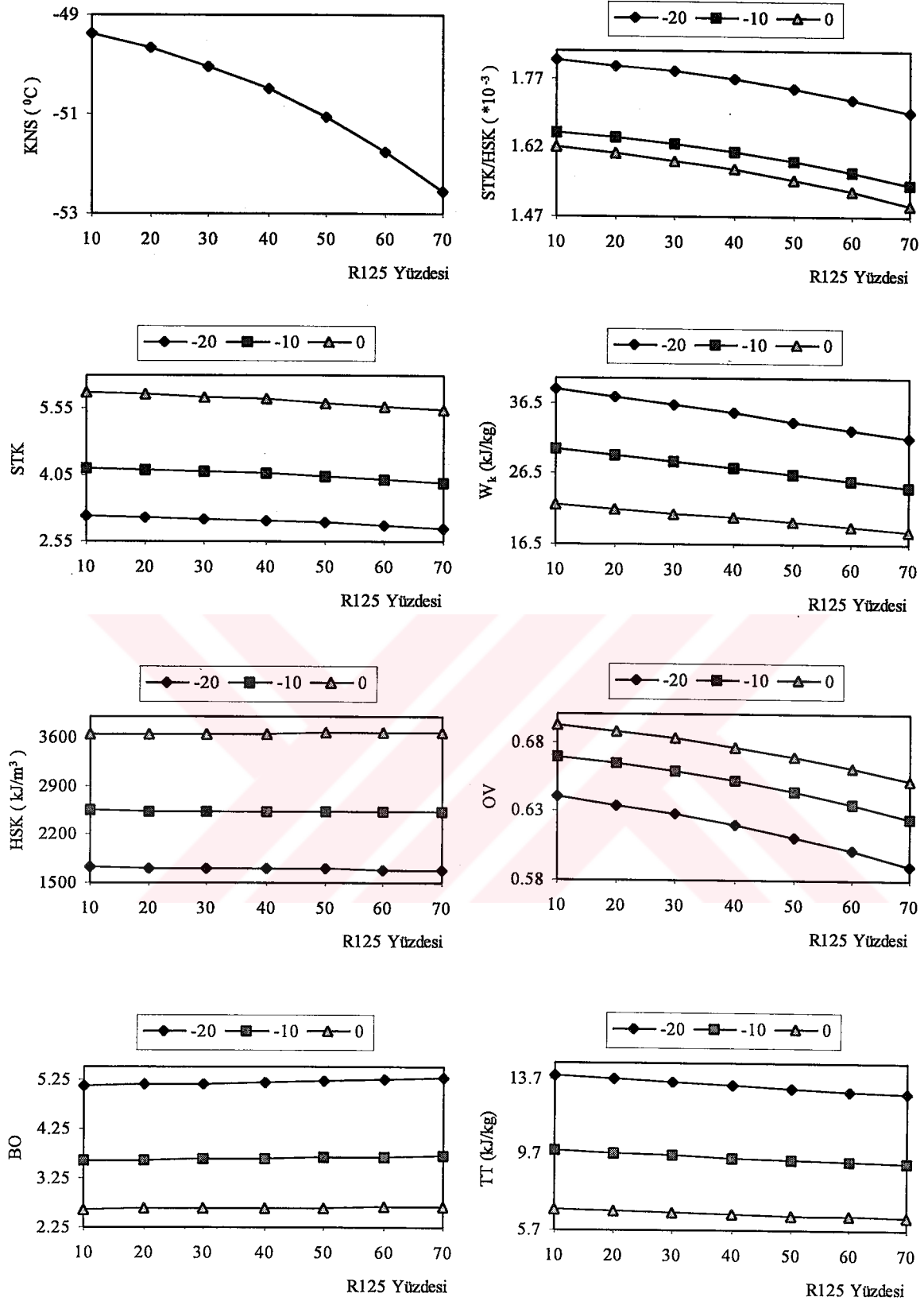
Kompresör işi ısı değiştiricili çevrimde daha yüksek değerler almakta, T_b dūştūęe de beklendiği gibi azalmaktadır. Harcanan iş sabit R125 oranı için R134a oranı arttığa artarken sabit R134a oranı için R125 oranı arttığa azalmaktadır.

OV değişimi STK ile benzer davranış göstermektedir. TT değişimi de bileşen oranları açısından OV ile aynı şekilde değişmekte, T_b açısından ise tam bir ters davranış ortaya çıkmaktadır.

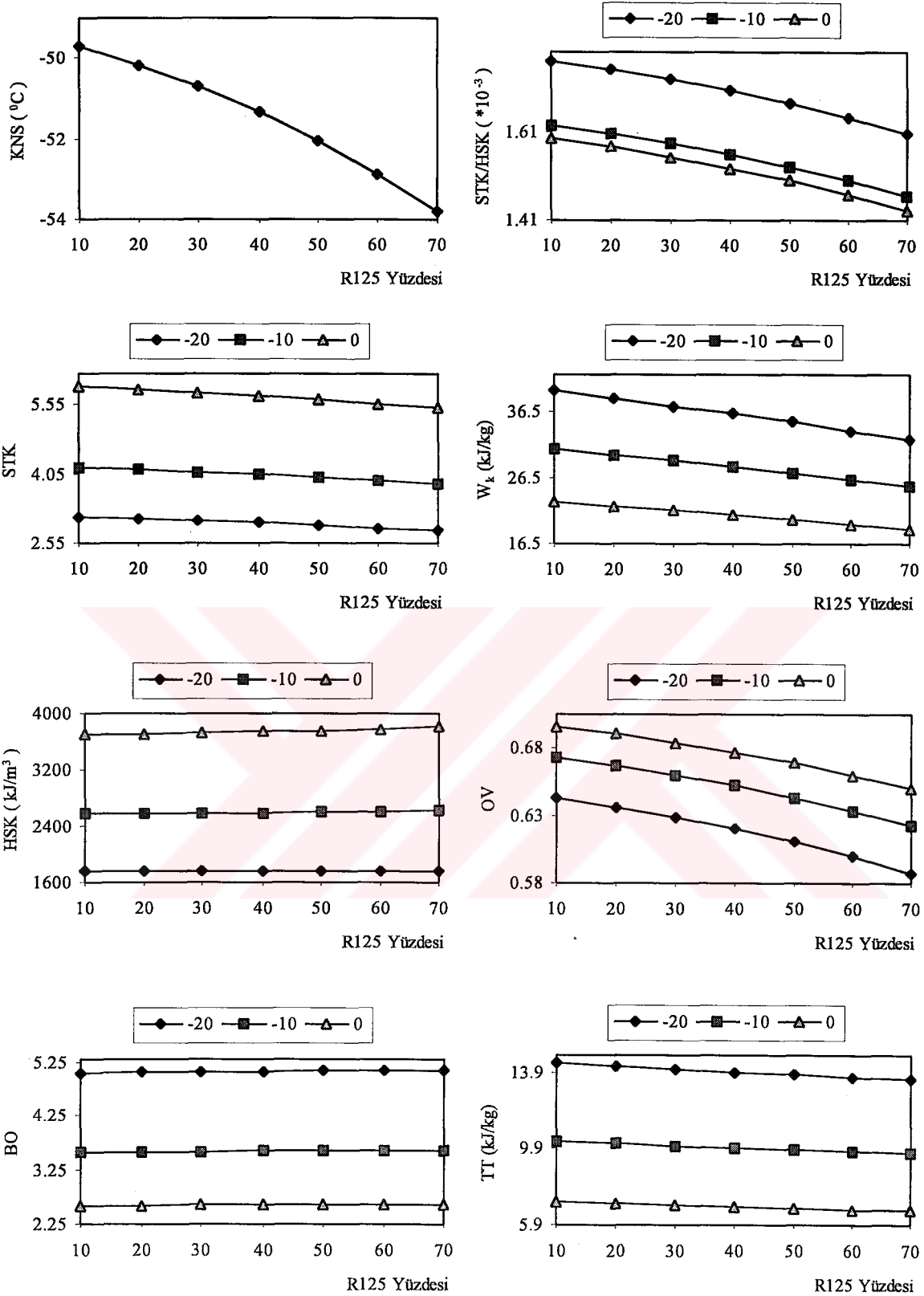
3.2.2.8. R125/R143a/R290 Karışımı

R290 ve R125 oranının azalması ile KNS değerleri yükselmektedir. (Çizelge Ek 1.9., Şekil 3.20.-3.25.)

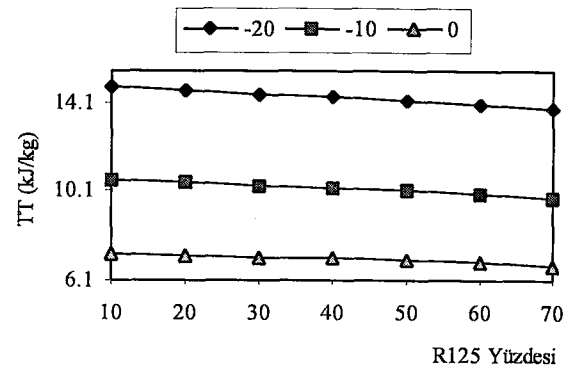
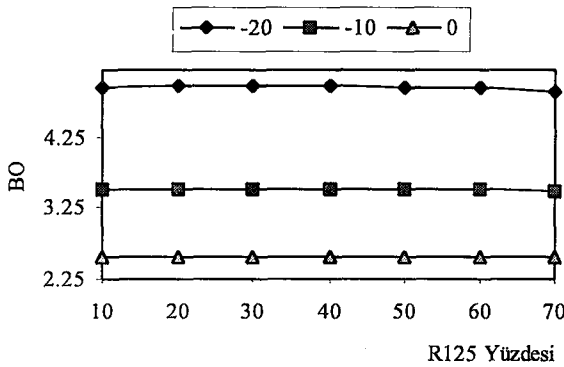
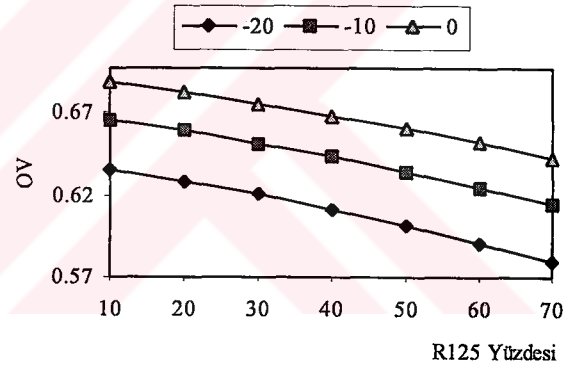
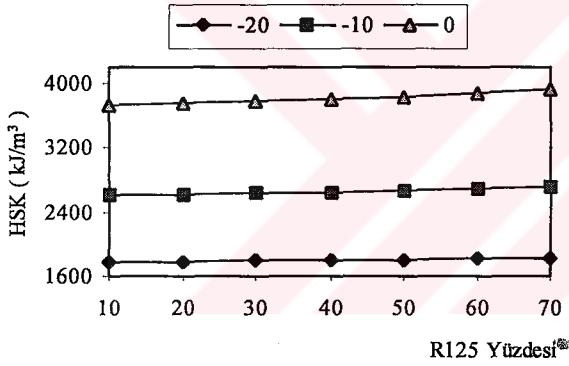
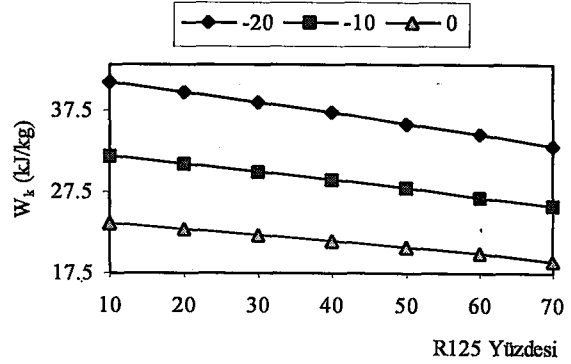
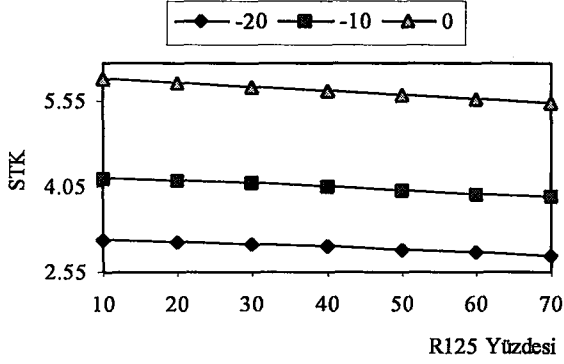
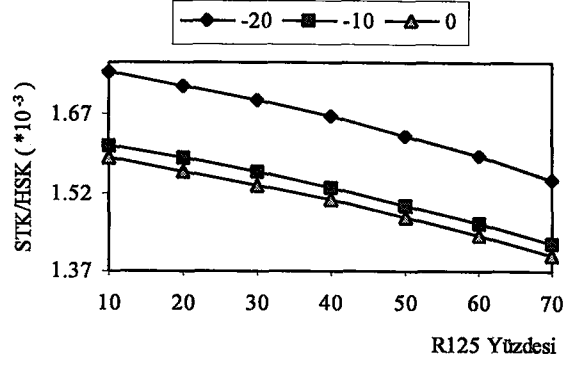
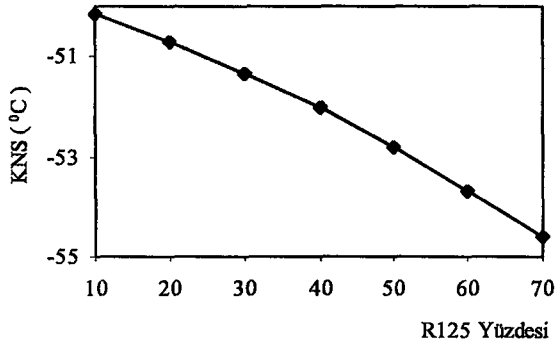
STK değerleri ısı değiştiricili çevrimde daha yüksektir. İki çevrimde de sabit R290 oranı için R125 oranı arttığa STK değerleri düşerken sabit R125 oranı için R290 oranının değişmesi ile STK'nın değişimi açısından belirginlik yoktur. Klasik çevrimde R290'nın %5 ve %15'lik sabit oranlarında hemen hemen aynı STK değerleri elde edilirken %10'luk sabit oranda STK değerleri daha düşük kalmaktadır. Isı değiştiricili çevrimde ise R290'nın %5 ve %10'luk sabit oranlarında STK değerleri birbirine yakın iken %15'lik sabit oranda STK değerleri bir miktar artmış durumdadır. Böylece R125 ve R290'nın düşük oranları avantajlı durumdadır.



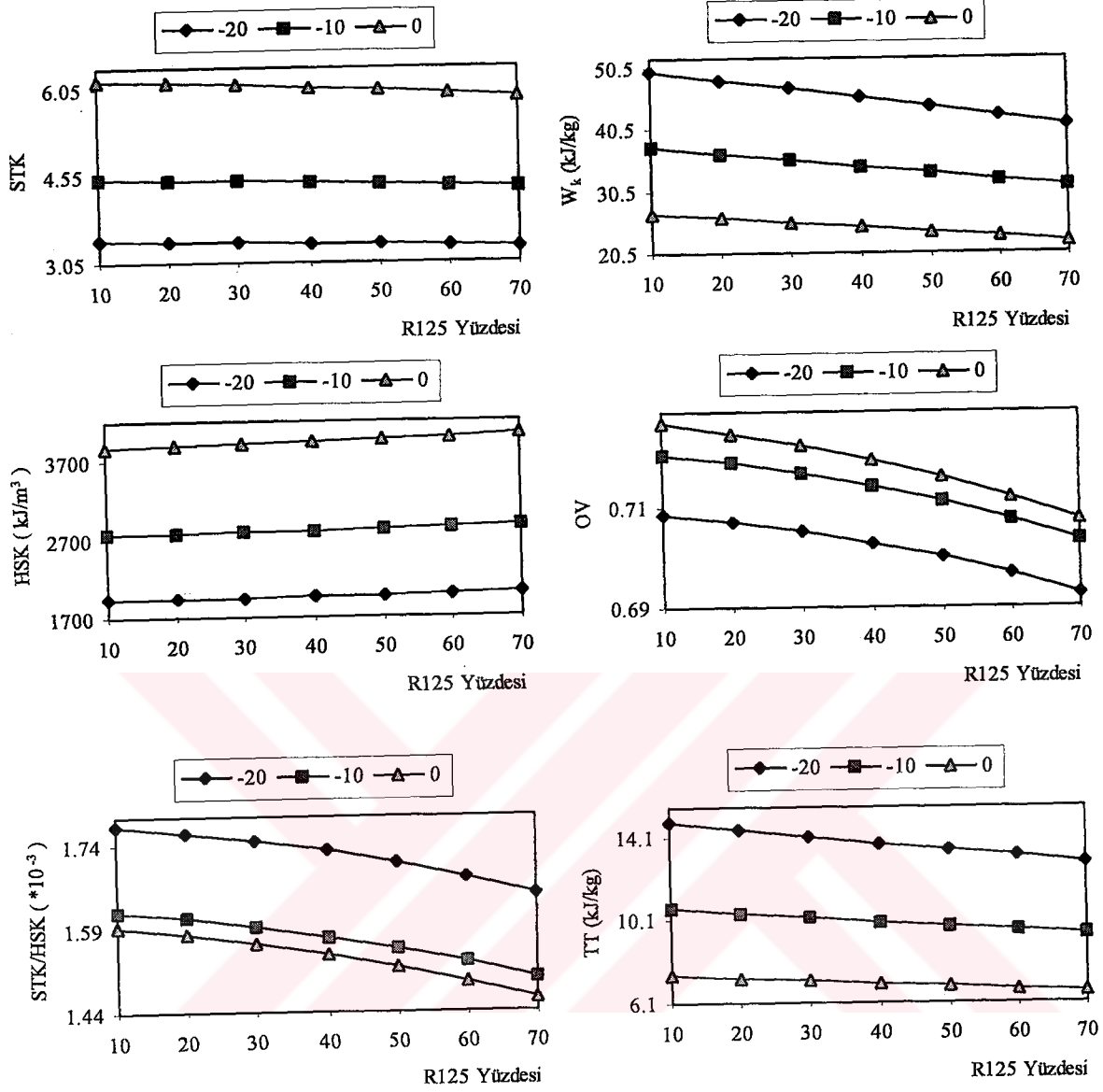
Şekil 3.20. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %5'lik sabit R290 yüzdesi)



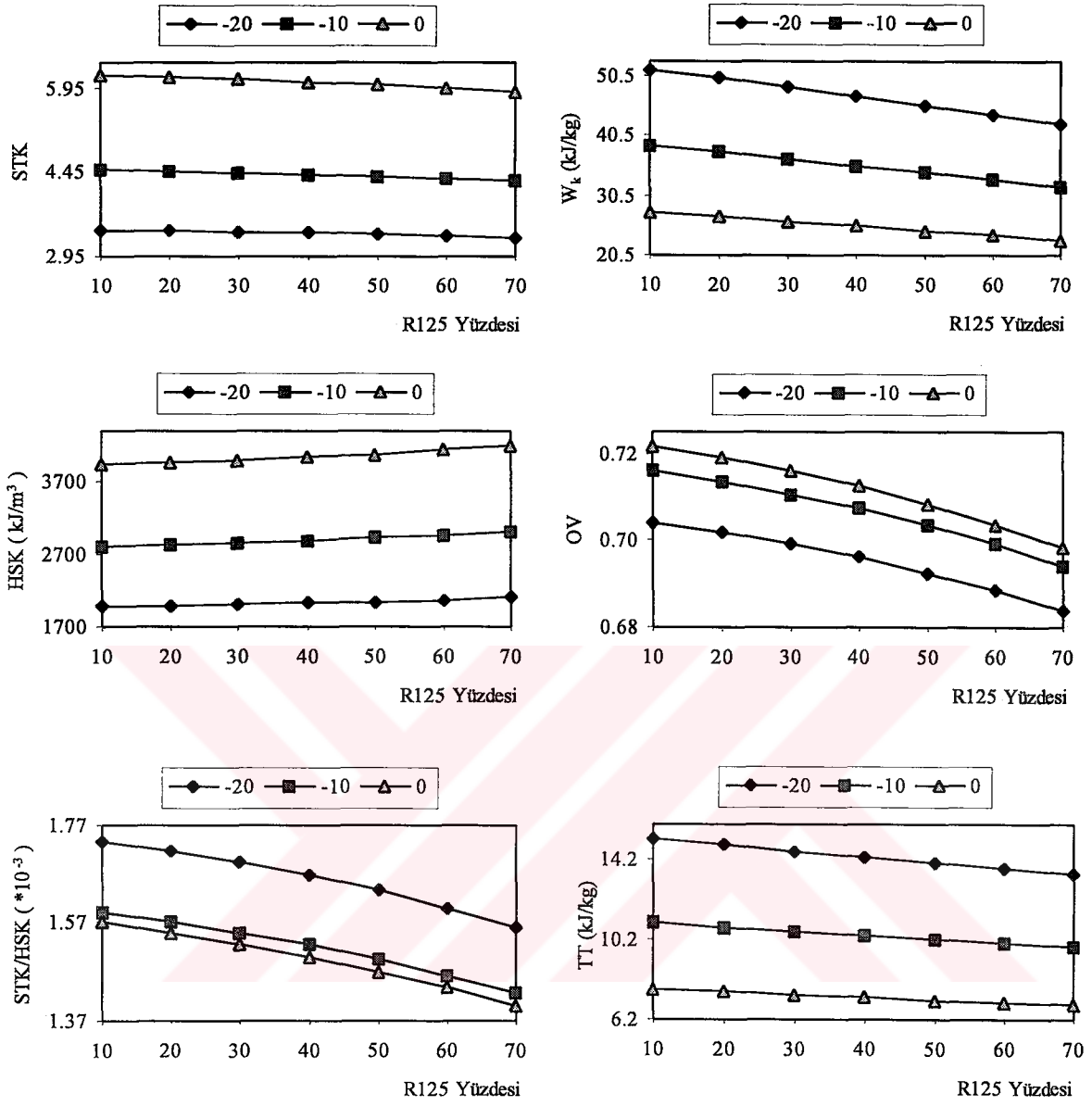
Şekil 3.21. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R290 yüzdesi)



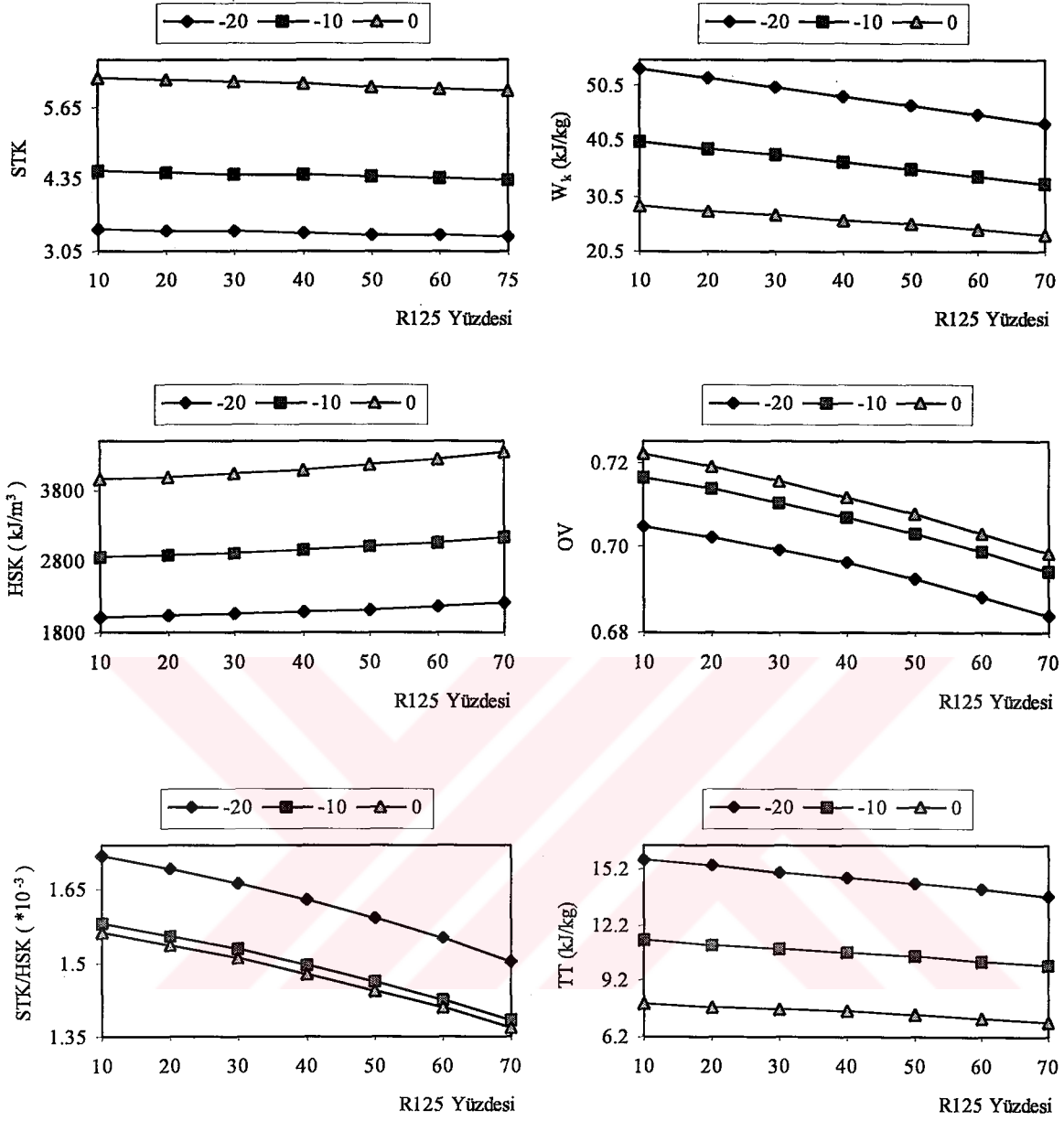
Şekil 3.22. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %15'lik sabit R290 yüzdesi)



Şekil 3.23. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %5'lik sabit R290 yüzdesi)



Şekil 3.24. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R290 yüzdesi)



Şekil 3.25. R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %15'lik sabit R290 yüzdesi)

HSK değişiminde farklı durumlar sözkonusudur. Isı değiştiricili çevrimde daha yüksek HSK değerleri elde edilmektedir. İki çevrimde de sabit R125 oranı için R290 oranı arttıkça HSK değerleri artmaktadır. Isı değiştiricili çevrimde sabit R290 oranı için R125 oranı arttıkça HSK değerleri artarken klasik çevrimde netlik sözkonusu değildir.

Sabit R125 oranı için R290 oranı arttıkça BO değerleri düşerken sabit R290 oranı için R125 oranının değişimiyle BO değişimi belirgin değildir. W_k değerleri beklendiği şekilde ısı değiştiricili çevrimde daha yüksektir. Her iki çevrim için sabit R290 oranında R125 oranı arttıkça ve sabit R125 oranında R290 oranı azaldıkça W_k değerleri artmaktadır. Dolayısıyla R290'nın düşük R125'in de yüksek oranları avantajlı durumdadır.

OV değerleri ısı değiştiricili çevrimde yüksektir. Sabit R290 oranında R125 oranı arttıkça iki çevrimde de OV değerleri azalırken sabit R125 oranında R290 oranının değişmesiyle OV değişiminde düzenli olarak azalma veya artma olmamaktadır.

TT değerleri ısı değiştiricili çevrimde yüksektir ve buharlaştırıcı sıcaklığının artması ile azalmaktadır. Sabit R290 oranı için R125 oranı azaldıkça ve sabit R125 oranı için R290 oranı arttıkça iki çevrimde de TT değerleri artmaktadır.

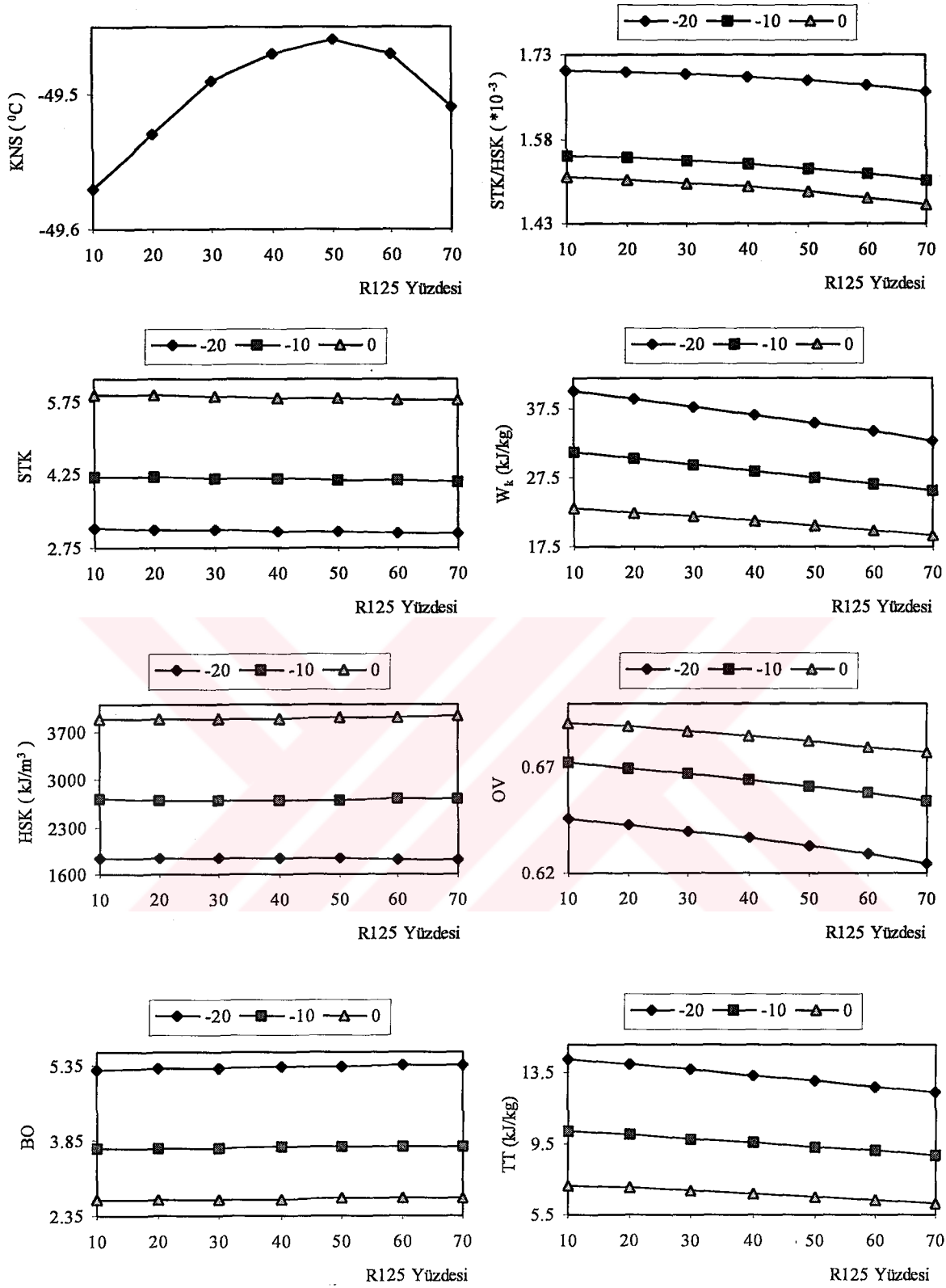
3.2.2.9. R32/R125/R143a Karışımı

R32 oranı azaldıkça ve R125 oranı arttıkça KNS değeri genelde artmaktadır. (Çizelge Ek 1.10., Şekil 3.26.-3.31.) Klasik çevrimde sabit R125 oranında R32 oranı arttıkça ve sabit R32 oranında R125 oranı azaldıkça STK değerleri artmaktadır. Isı değiştiricili çevrimde sabit R32 oranında R125 oranının değişmesiyle STK değerleri yaklaşık aynı kalmaktadır. Özellikle %10'luk R32 oranında ve -20°C 'lik buharlaştırıcı sıcaklığında STK hiç değişmemektedir. Sabit R125 oranında ise R32 oranının artması ile az da olsa STK değerleri düşmektedir. Isı değiştiricili çevrim her durumda avantajlıdır. Klasik çevrimde 30/10/60 oranındaki karışım, ısı değiştiricili çevrimde 10/70/20 oranındaki karışım en yüksek STK değerlerini almaktadır.

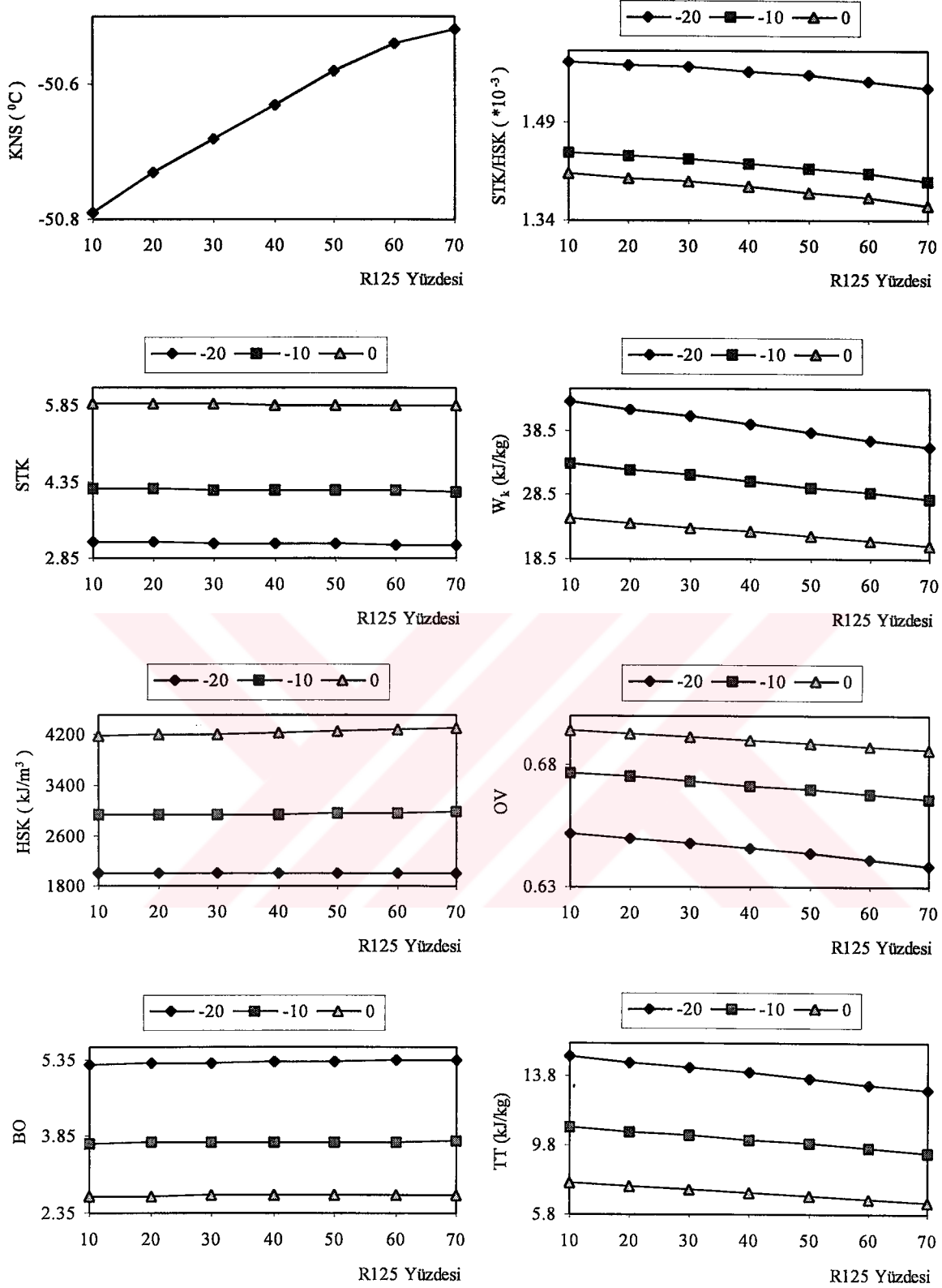
Her iki çevrimde, sabit R125 oranı için R32 oranı arttıkça ve sabit R32 oranı için R125 oranı arttıkça HSK değerleri artmaktadır. Sabit R32 oranı için R125 oranı arttıkça BO değerleri artmaktadır. %20'luk sabit R32 oranında, sabit %10 ve %30 oranına göre daha yüksek BO değerleri elde edilmektedir.

İki çevrimde de sabit R32 oranı için R125 oranı azaldıkça ve sabit R125 oranı için R32 oranı arttıkça W_k değerleri artmaktadır. Beklendiği gibi ısı değiştiricili çevrimde daha fazla iş girdisi olmaktadır.

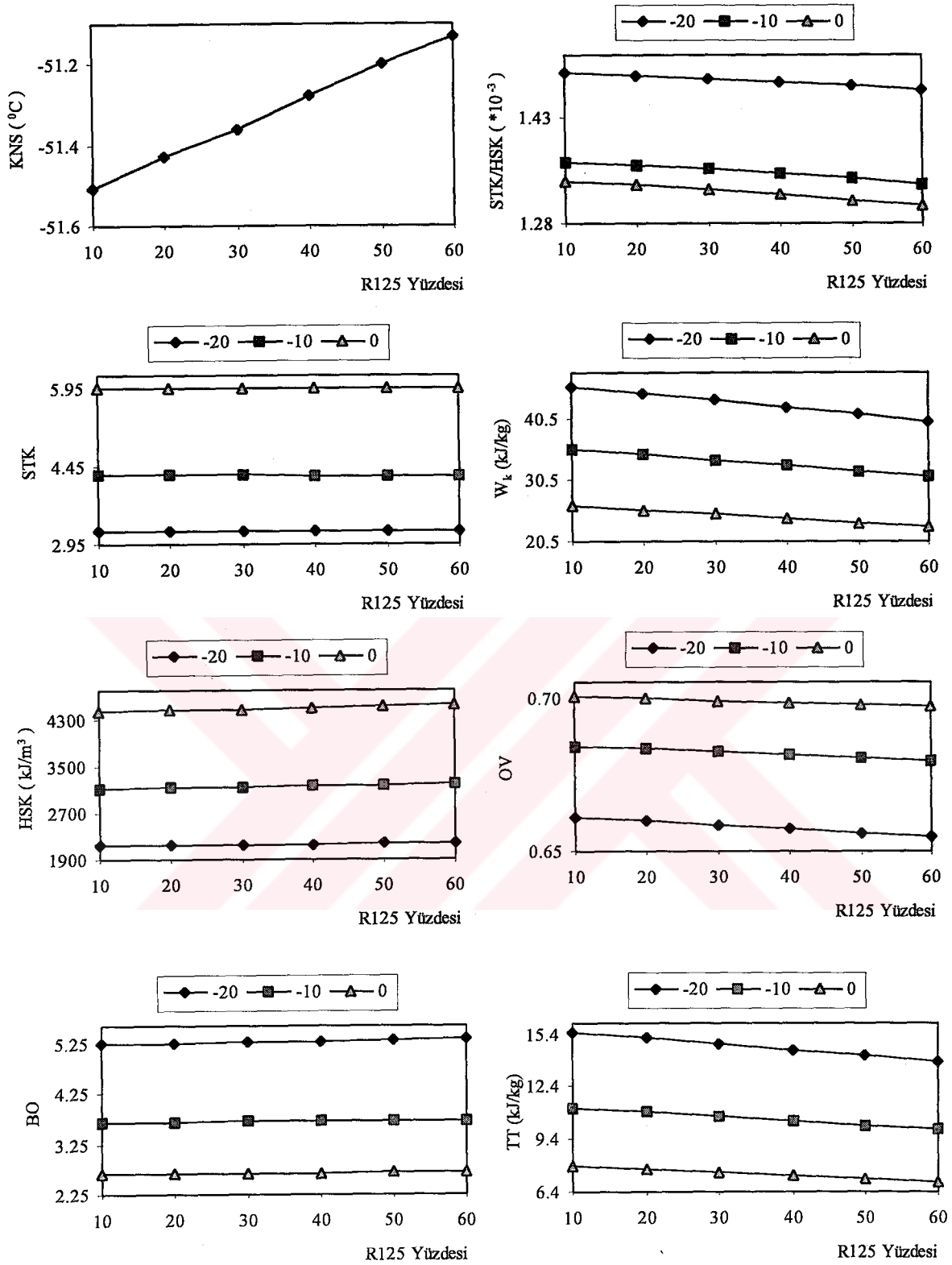
Sabit R125 oranında R32 oranının artması ile klasik çevrimde OV değerleri artarken ısı değiştiricili çevrimde azalmaktadır. Sabit R32 oranında R125 oranı arttıkça klasik çevrimde OV azalırken, ısı değiştiricili çevrimde ise çok yakın değerler elde edilmektedir. Benzer durum STK değişiminde de gözlenmiştir. Isı değiştiricili çevrimde OV değerleri daha yüksektir. TT değişimi W_k değişimi ile paralellik taşımaktadır.



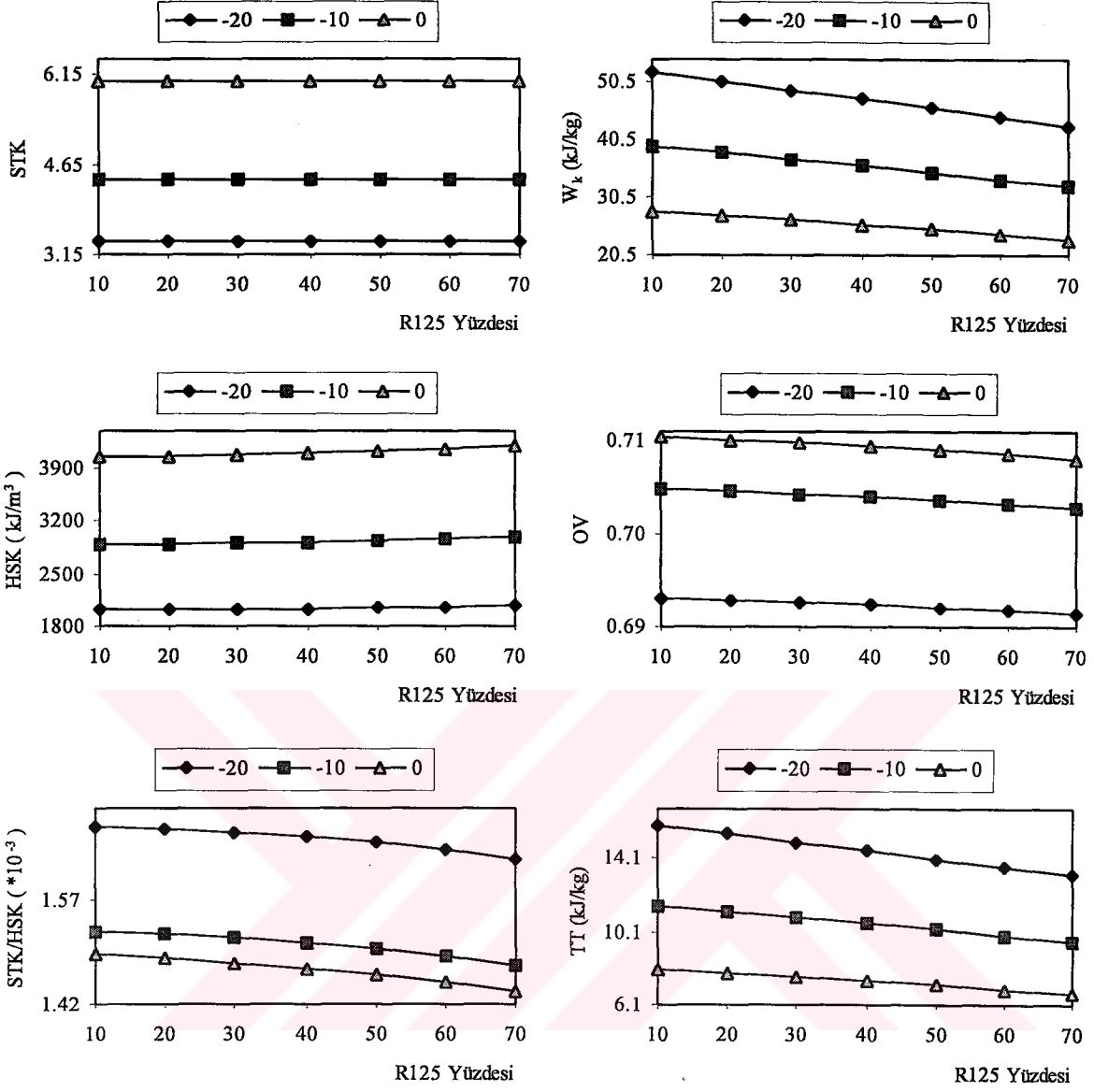
Şekil 3.26. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R32 yüzdesi)



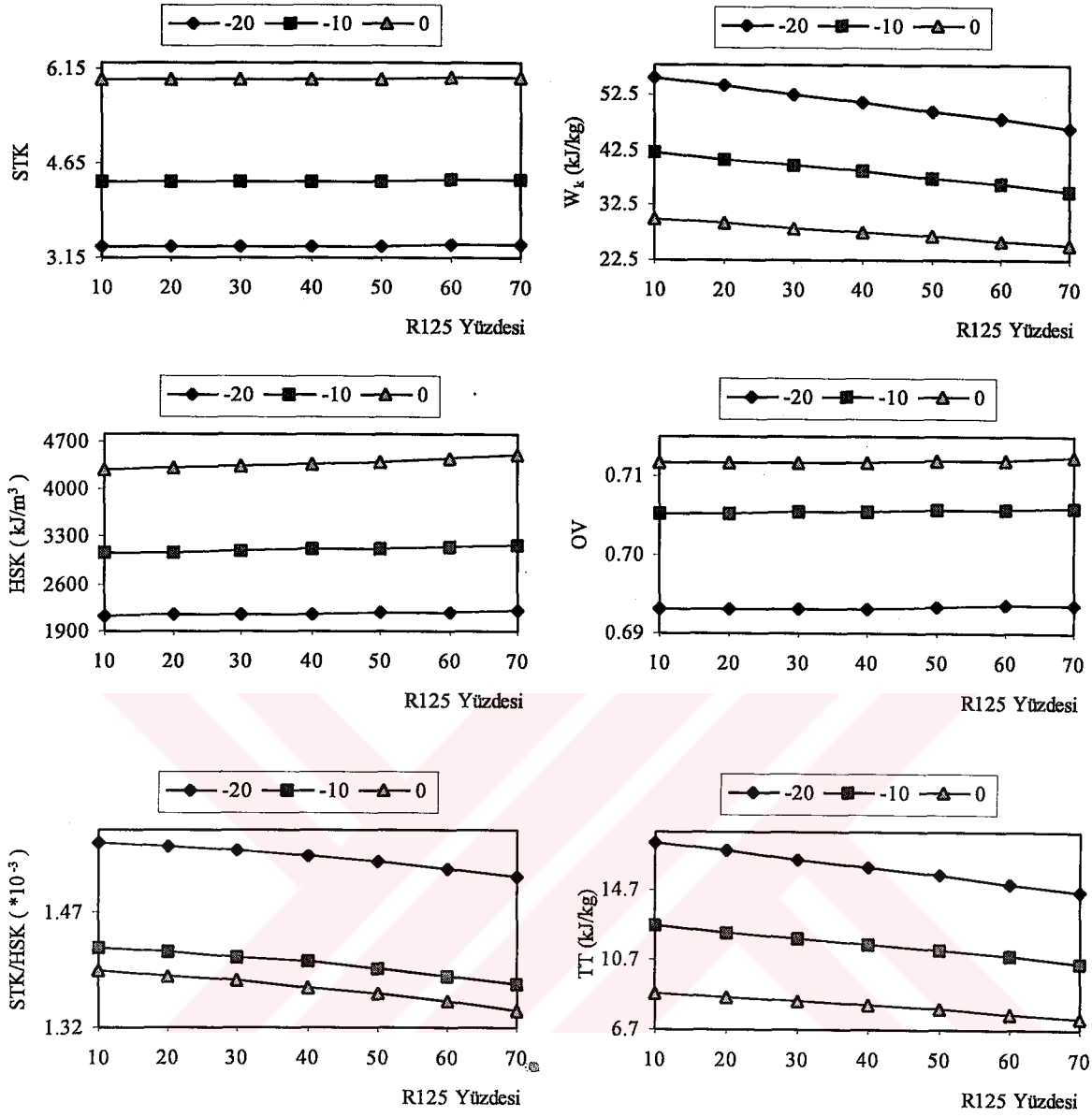
Şekil 3.27. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %20'lik sabit R32 yüzdesi)



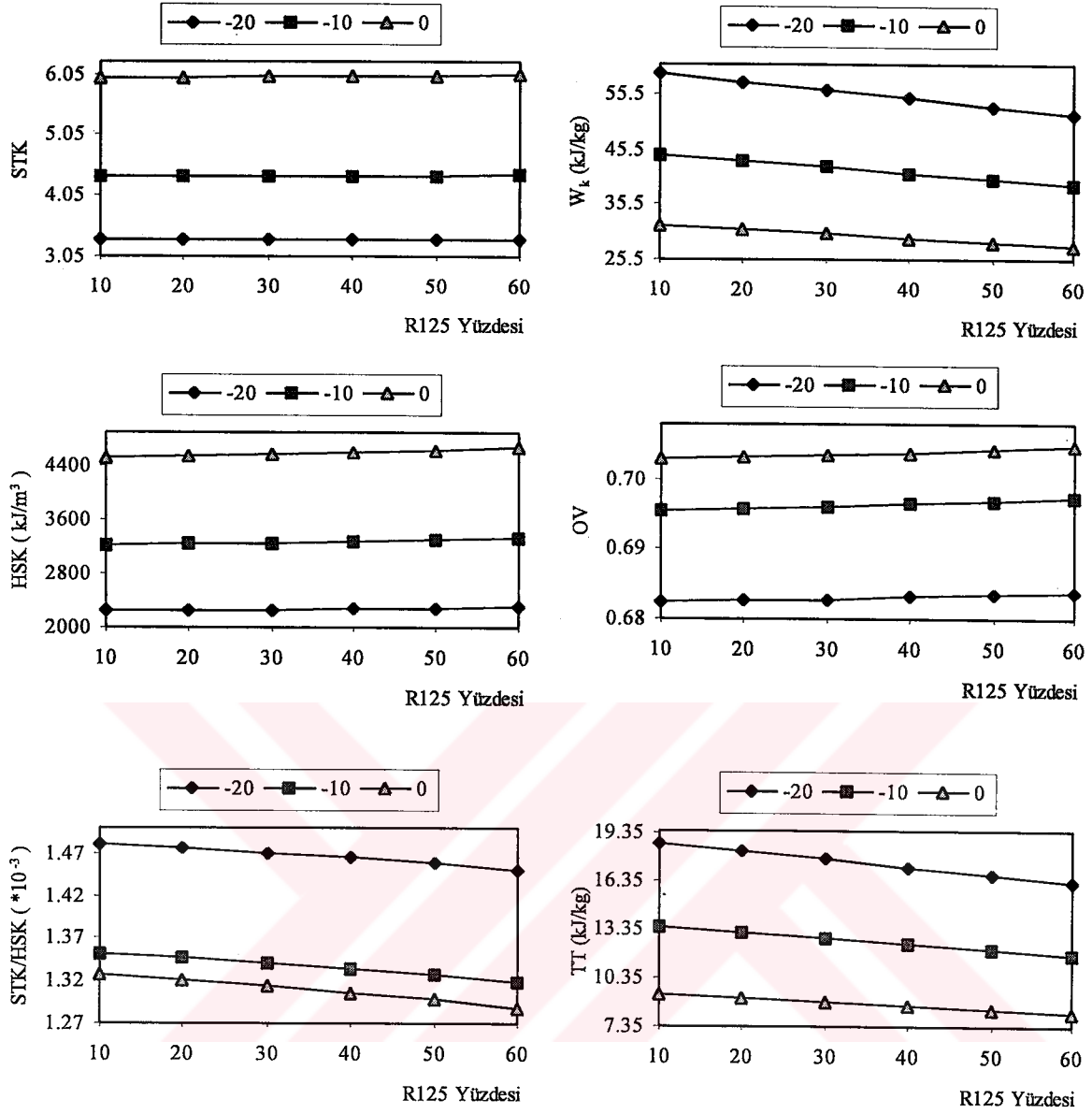
Şekil 3.28. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %30'luk sabit R32 yüzdesi)



Şekil 3.29. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R32 yüzdesi)



Şekil 3.30. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %20'lik sabit R32 yüzdesi)



Şekil 3.31. R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %30'luk sabit R32 yüzdesi)

3.2.2.10. R32/R125/R134a Karışımı

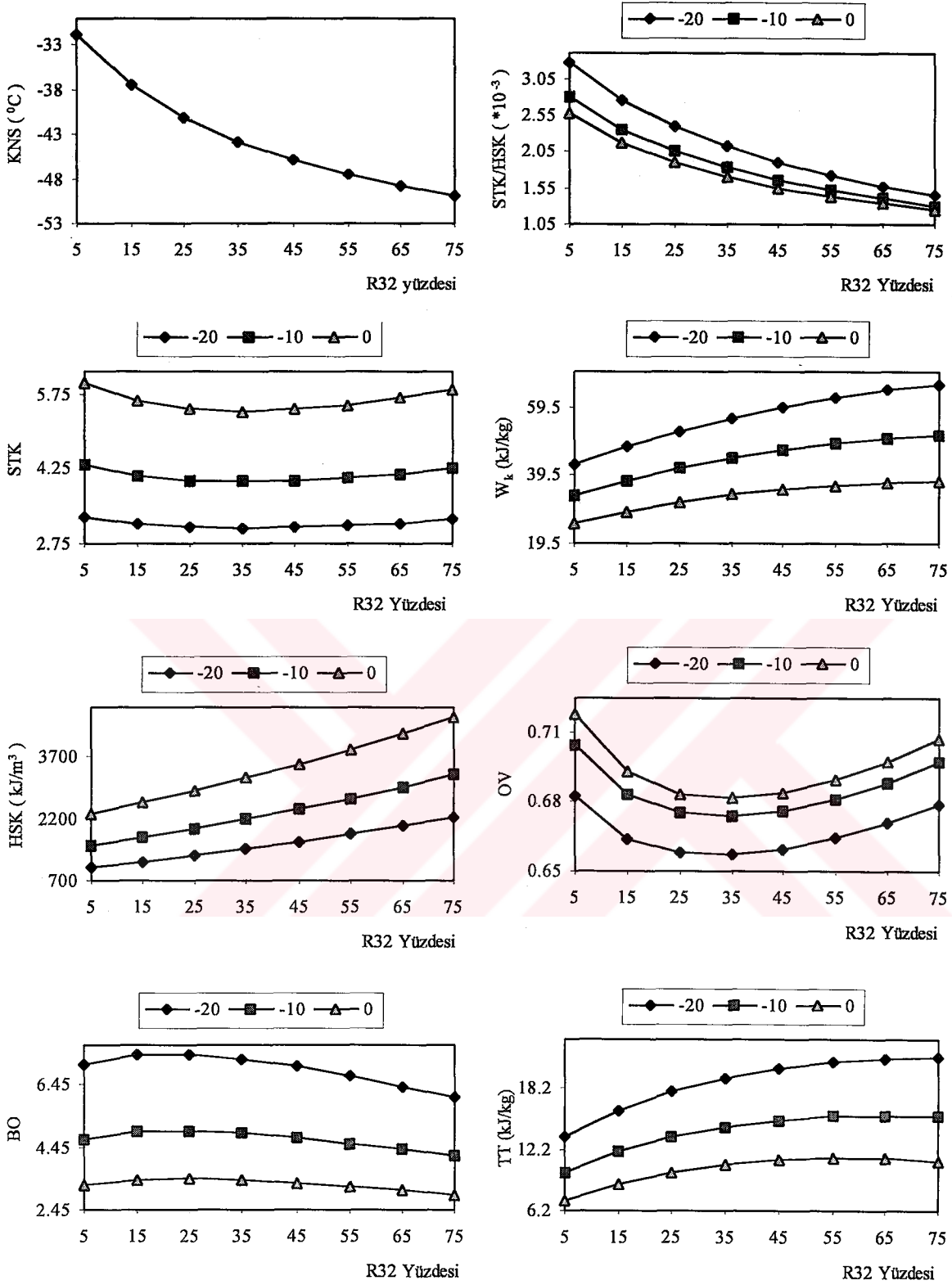
Sabit R32 oranında R125 oranı arttıkça ve sabit R125 oranında R32 oranı arttıkça KNS değerleri düşmektedir. (Çizelge Ek 1.11., Şekil 3.32.-3.37.)

Sabit R32 oranı için R125 oranı arttıkça iki çevrimde de STK değerleri azalmaktadır. Sabit R125 oranında ise R32'nin %35 veya %45'lik oranına kadar STK düşmekte daha sonra R32 oranının artışıyla STK da artmaktadır. Bu durum genelde iki çevrim için de geçerlidir. Klasik çevrimde 75/15/10 oranında, ısı değiştiricili çevrimde 5/5/90 oranında en yüksek STK değerlerine ulaşılmaktadır.

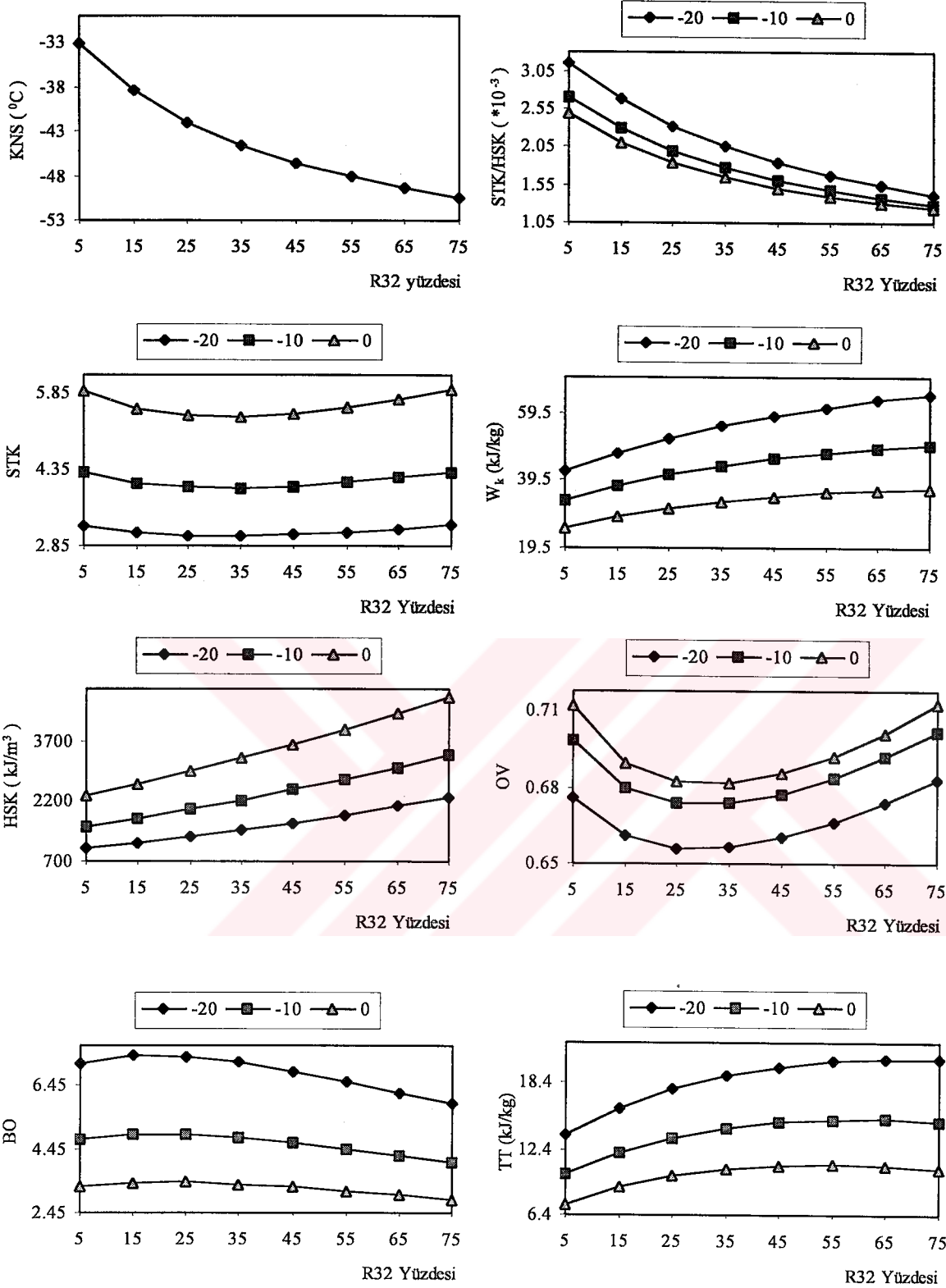
Sabit R32 oranı için R125 oranı arttıkça ve sabit R125 oranı için R32 oranı arttıkça HSK değerleri artmaktadır. Bu değişimi genelde STK ile uyumlu gözükmektedir. Benzer şekilde BO değişimi de HSK değişimi ile paralellik arz etmektedir.

Herbir çevrim için sabit R125 oranında R32 oranı arttıkça ve sabit R32 oranında R125 oranı azaldıkça harcanan iş azalmaktadır. Beklendiği üzere ısı değiştiricili çevrimde daha yüksek değerler elde edilmektedir.

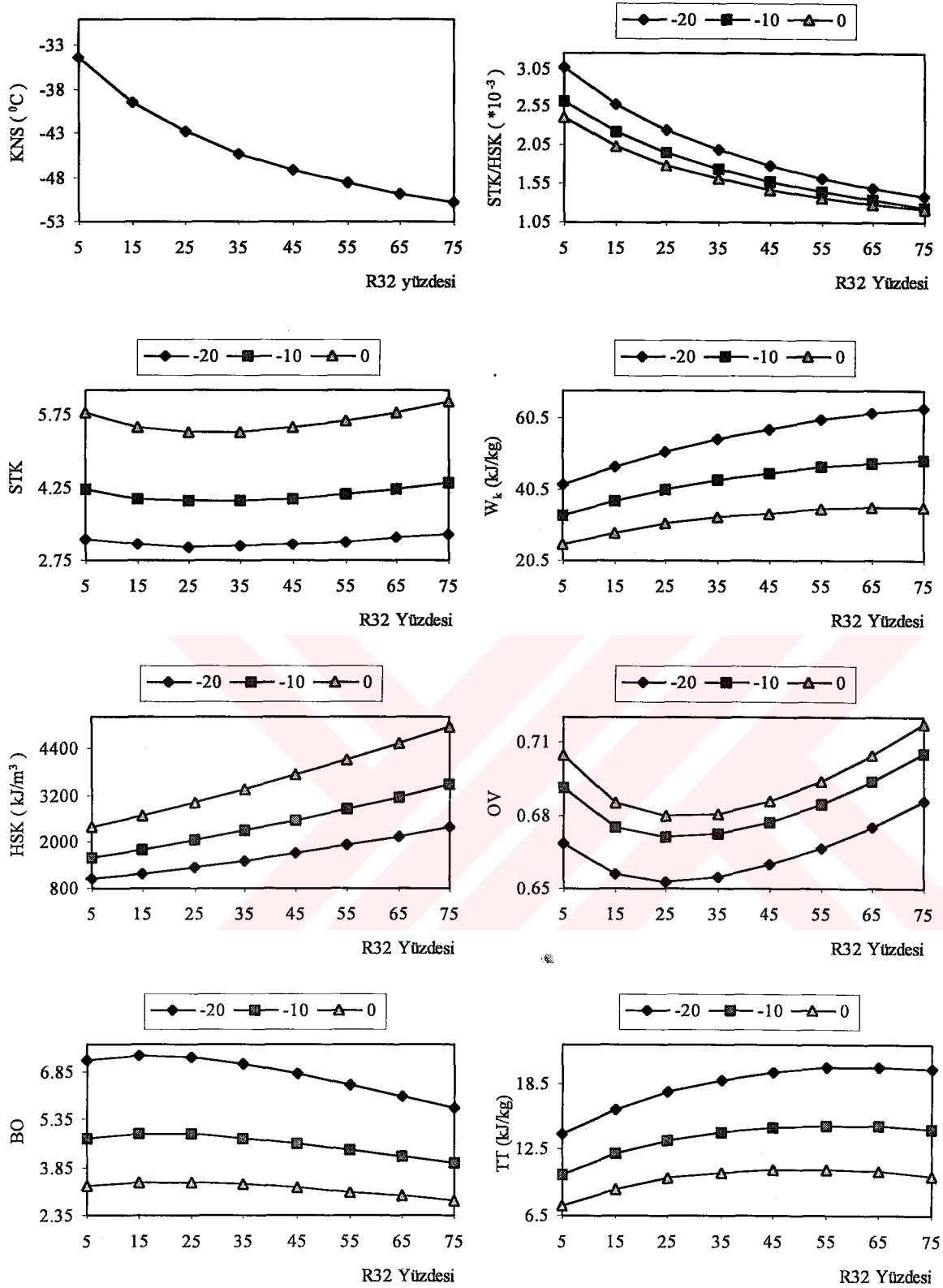
OV değişimi ısı değiştiricili çevrimde birkaç nokta hariç genel olarak STK değişimiyle paralellik taşımaktadır. TT değişimi iki çevrimde de sabit R125 oranında R32 oranı arttıkça ve sabit R32 oranında R125 oranı arttıkça artmaktadır. İlk durum W_k değişimiyle uyumlu iken sonraki durum beklenin tersine gerçekleşmektedir.



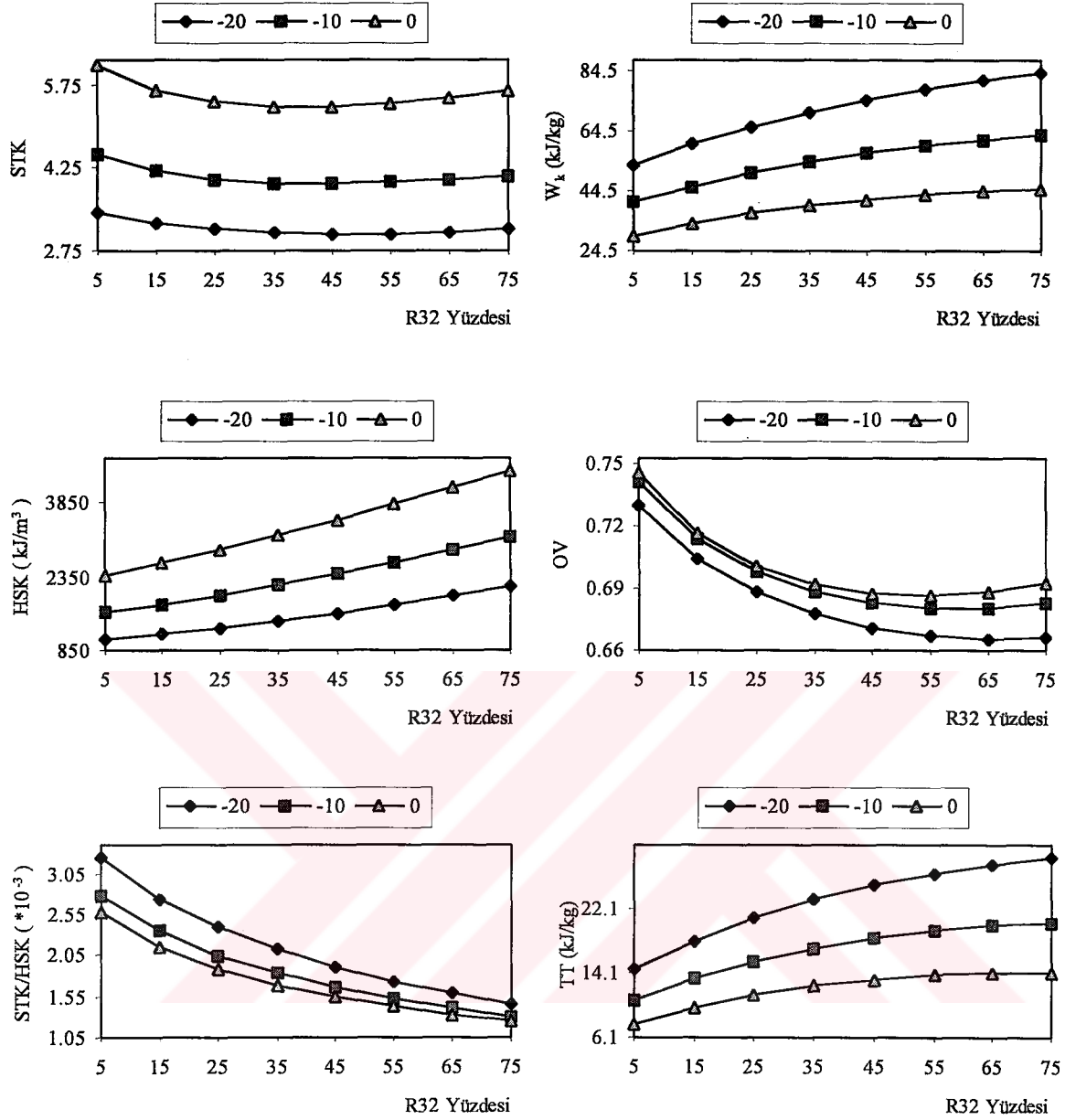
Şekil 3.32. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %5'lik sabit R125 yüzdesi)



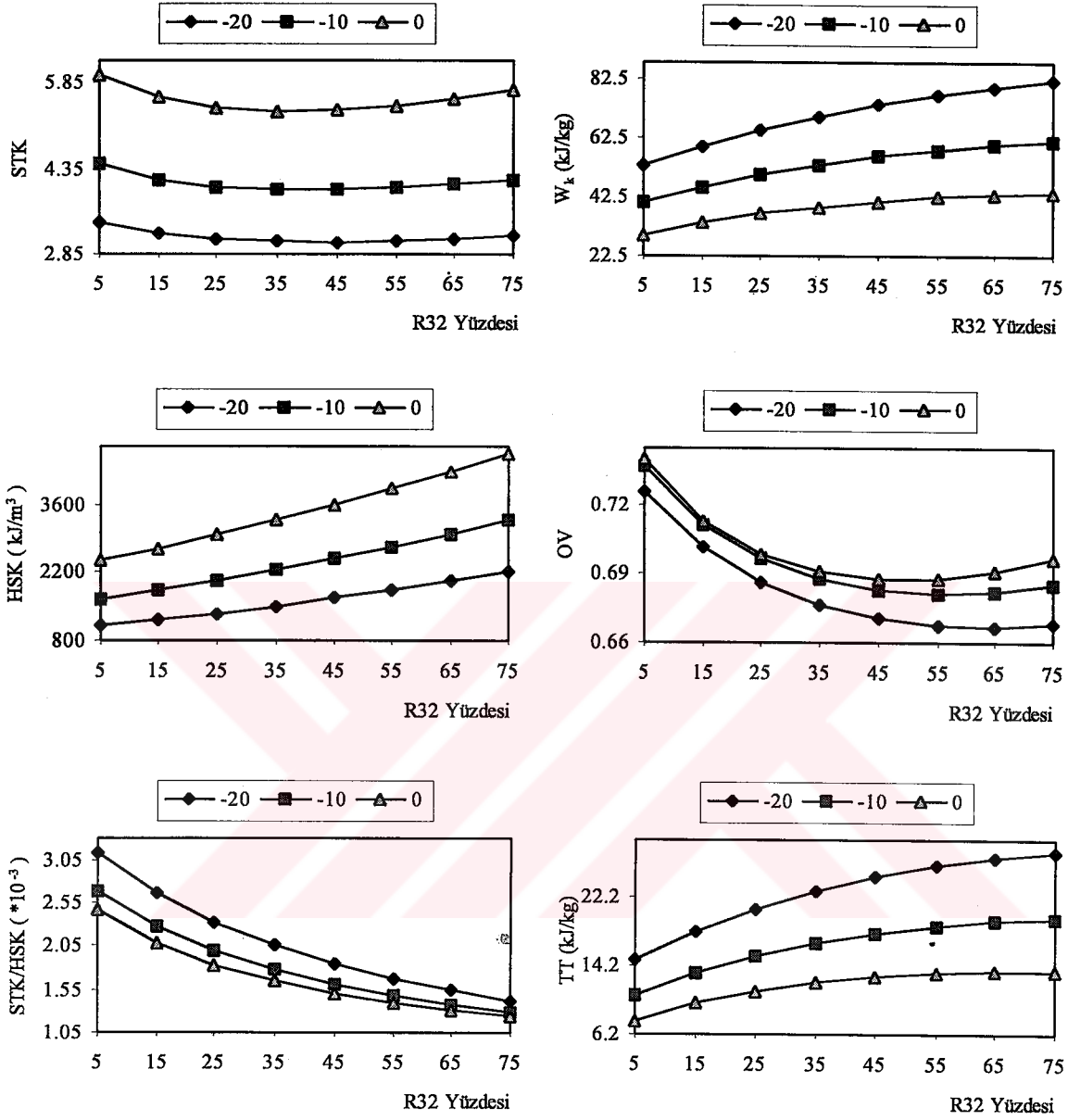
Şekil 3.33. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %10'luk sabit R125 yüzdesi)



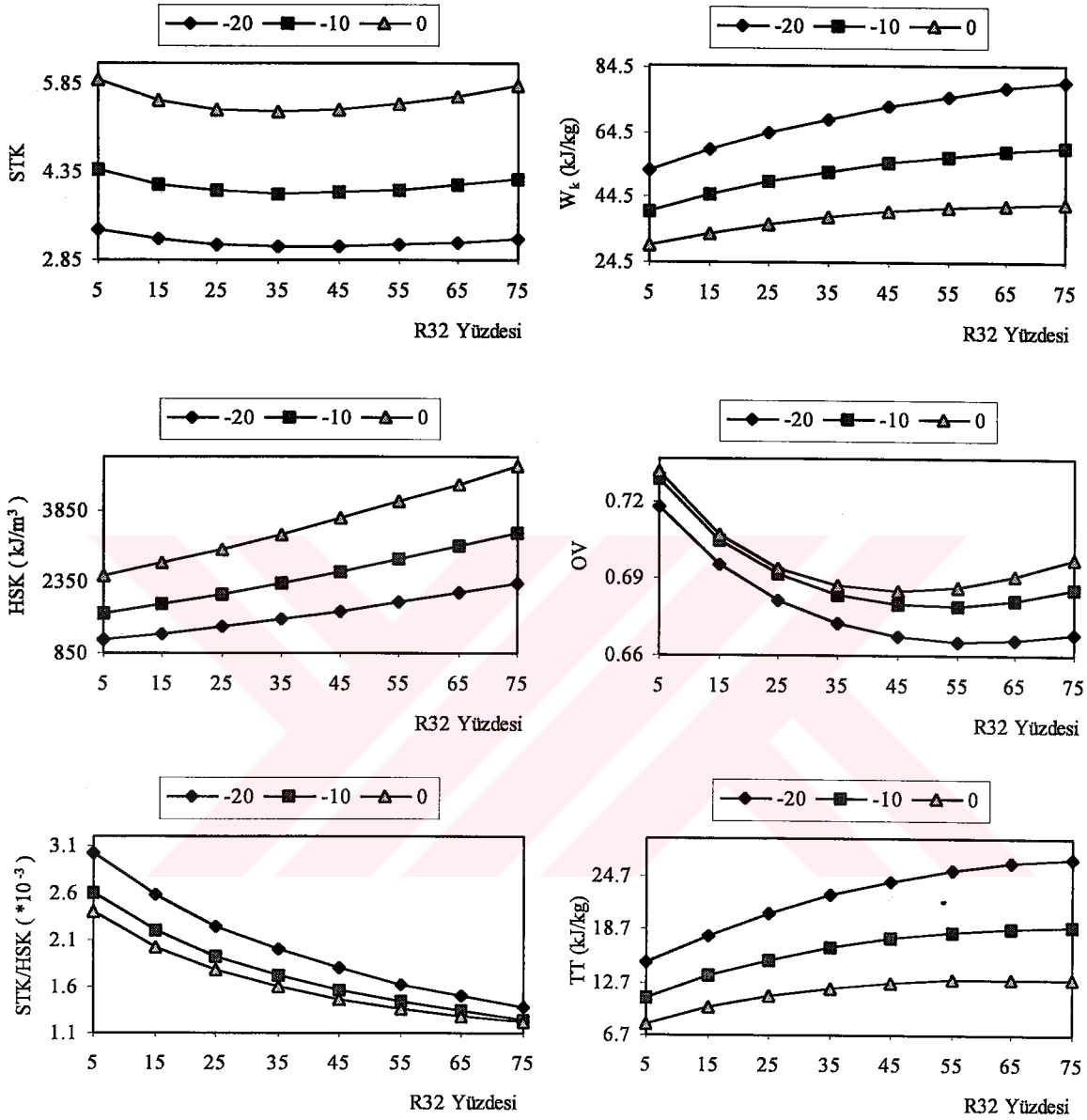
Şekil 3.34. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim, %15'lik sabit R125 yüzdesi)



Şekil 3.35. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %5'lik sabit R125 yüzdesi)



Şekil 3.36. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R125 yüzdesi)



Şekil 3.37. R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %15'lik sabit R125 yüzdesi)

3.2.2.11. R125/R290/R134a Karışımı

R290 ve R125 oranlarının artması ile KNS değerleri azalmaktadır. (Çizelge Ek 1.12., Şekil 3.38.-3.43.)

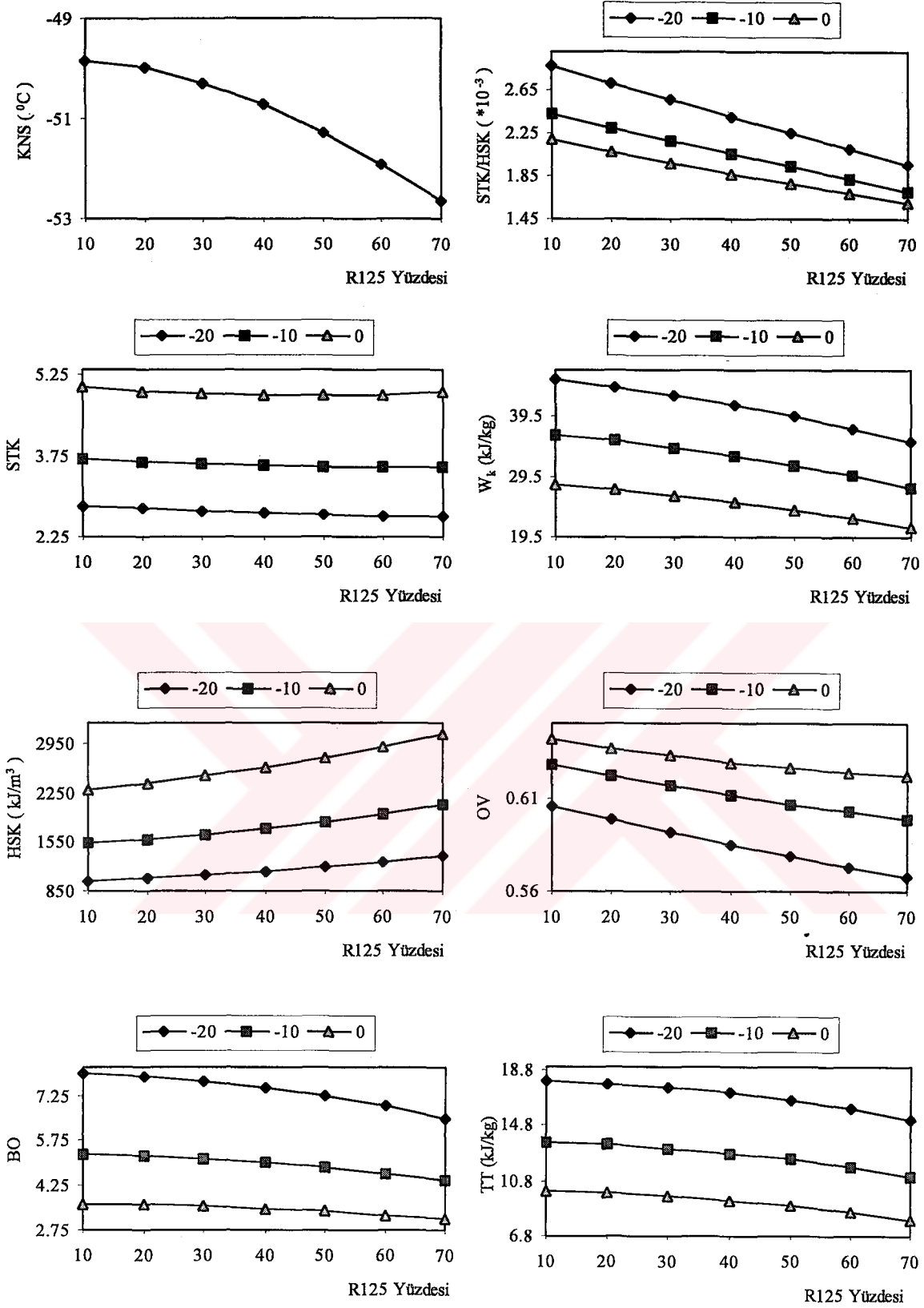
Sabit R125 oranında R290 oranı arttıkça iki çevrimde de STK değerleri azalmaktadır. Sabit R290 oranında ise R125 oranının değişmesiyle düzenli bir değişim gözlenmemektedir. Klasik çevrimde 10/5/85 oranında ($T_b=0^{\circ}\text{C}$ hariç), ısı değiştiricili çevrimde 70/15/15 oranında en yüksek STK değerleri elde edilmektedir.

Sabit R125 oranında R290 oranı arttıkça ve sabit R290 oranında R125 oranı arttıkça HSK değişimi artmaktadır. Bu durum düzenli olarak iki çevrimde de geçerlidir. BO değişimi ise beklendiği üzere HSK ile ters yönde gelişmektedir.

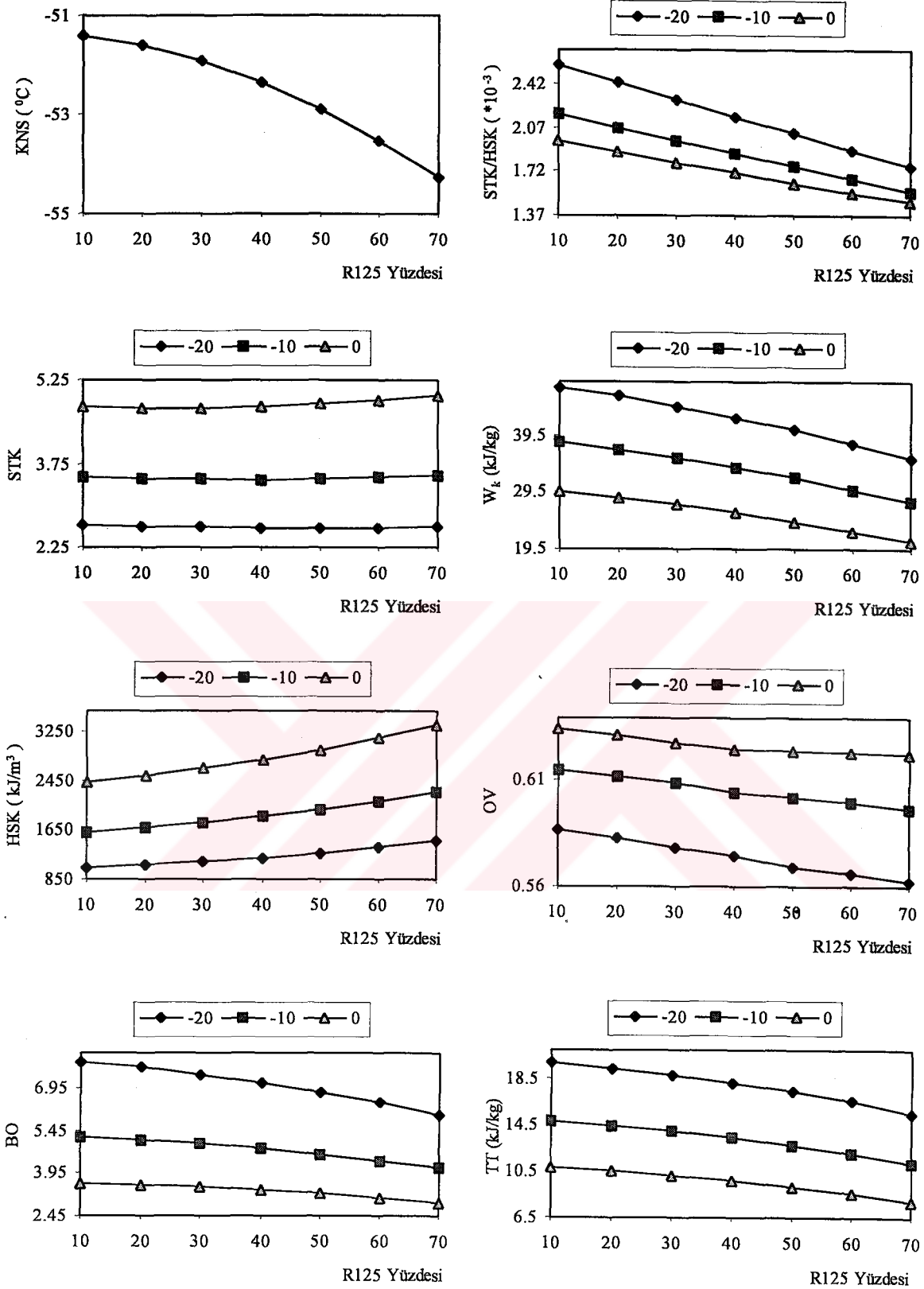
W_k değişimi ise sabit R125 oranında R290 oranı arttıkça artarken sabit R290 oranında R125 oranı arttıkça azalmaktadır. İki çevrim için de bu durum geçerlidir.

Isı değiştiricili çevrimde sabit R125 oranında R290 oranı arttıkça OV değerleri azalmaktadır. Bu durum için klasik çevrimde düzenli bir azalma sözkonusu değildir. Sabit R290 oranı için R125 oranının değişmesiyle de düzenli bir azalma veya artma gözlenmemektedir.

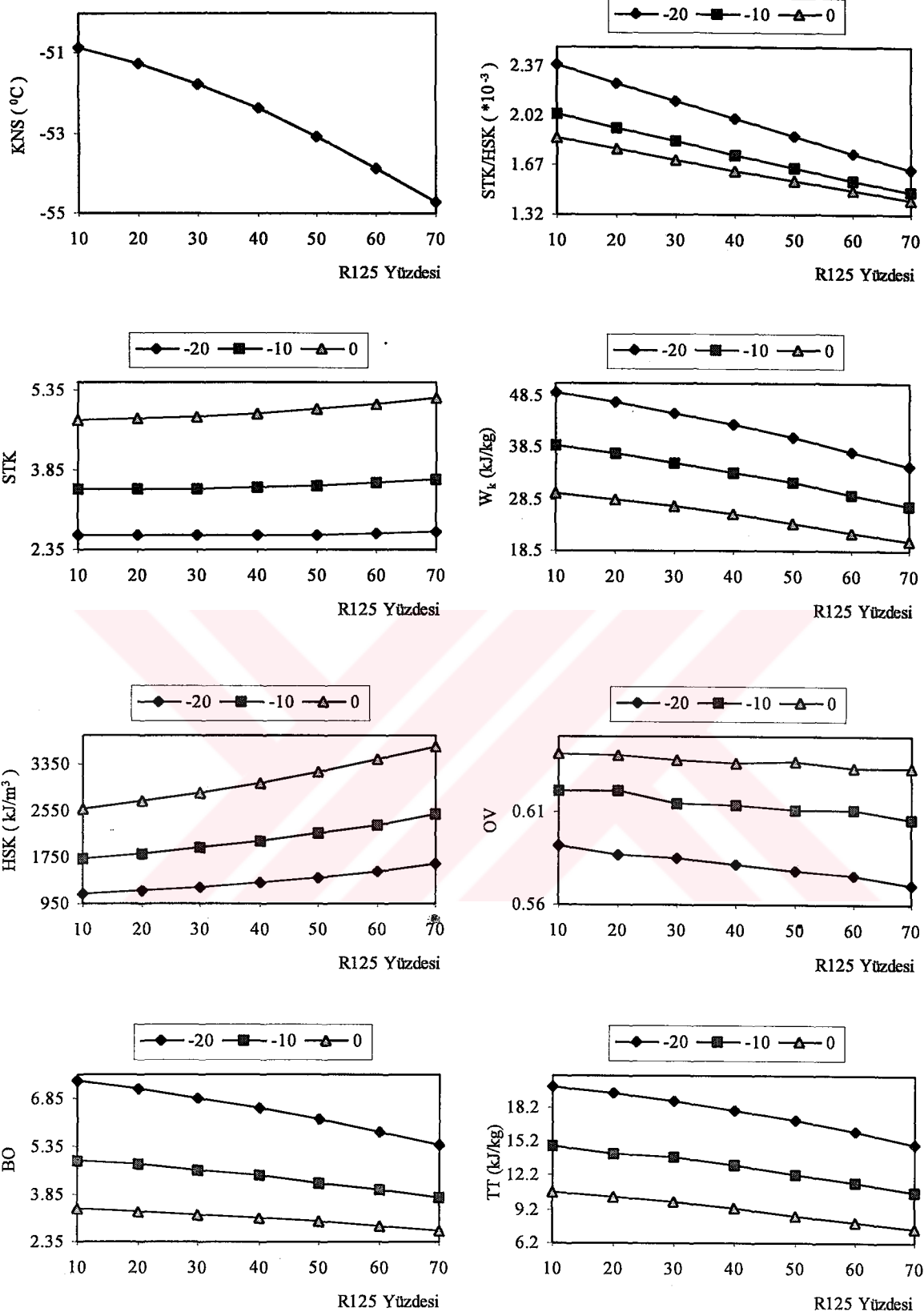
OV değişimi düzenli değilken TT değişiminde bir kararlılık sözkonusudur. Sabit R125 oranında R290 oranı arttıkça ve sabit R290 oranında R125 oranı azaldıkça TT değerleri artmaktadır. Bu durum iki çevrim için de geçerlidir.



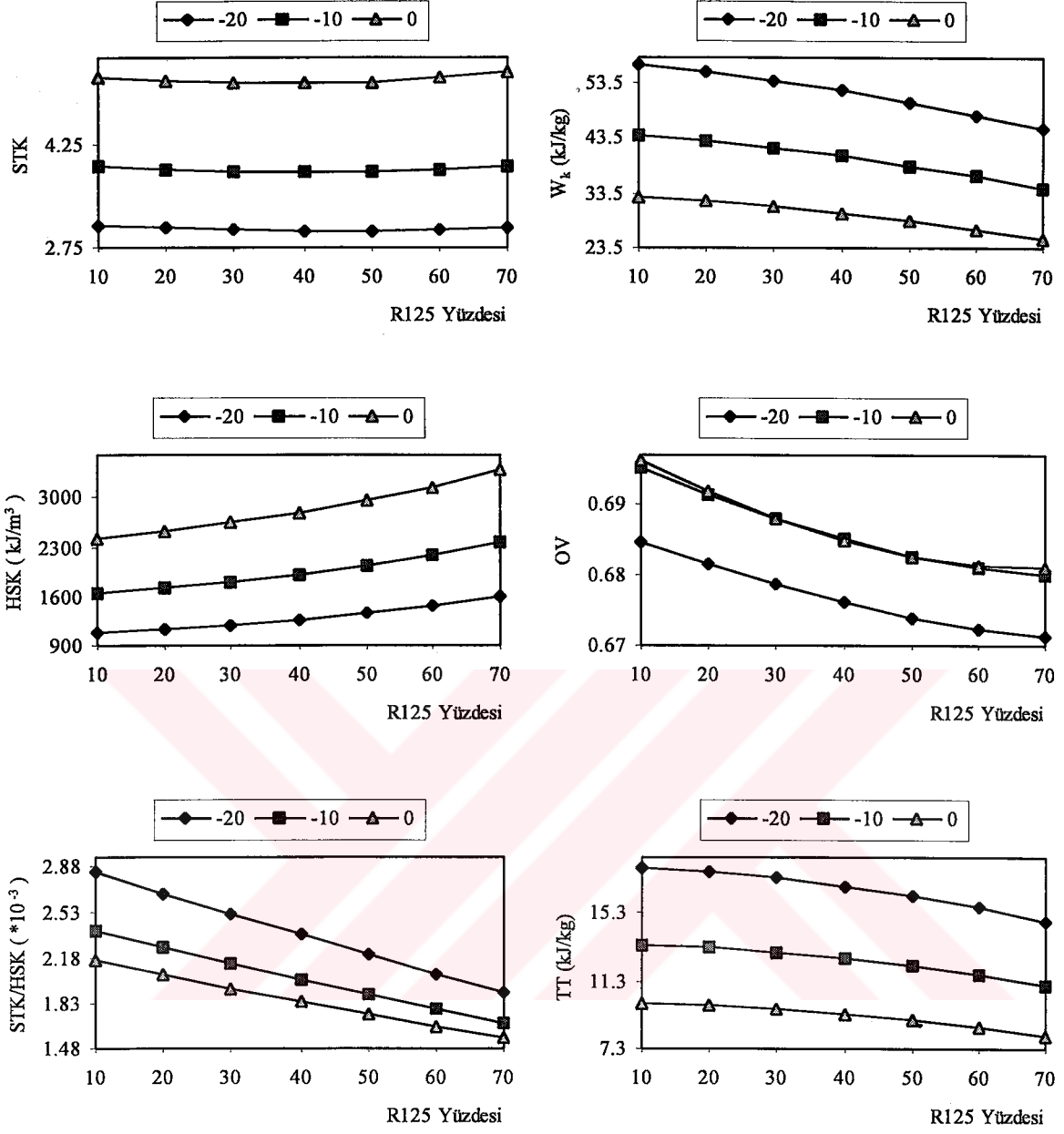
Şekil 3.38. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim %5'lik sabit R290 yüzdesi)



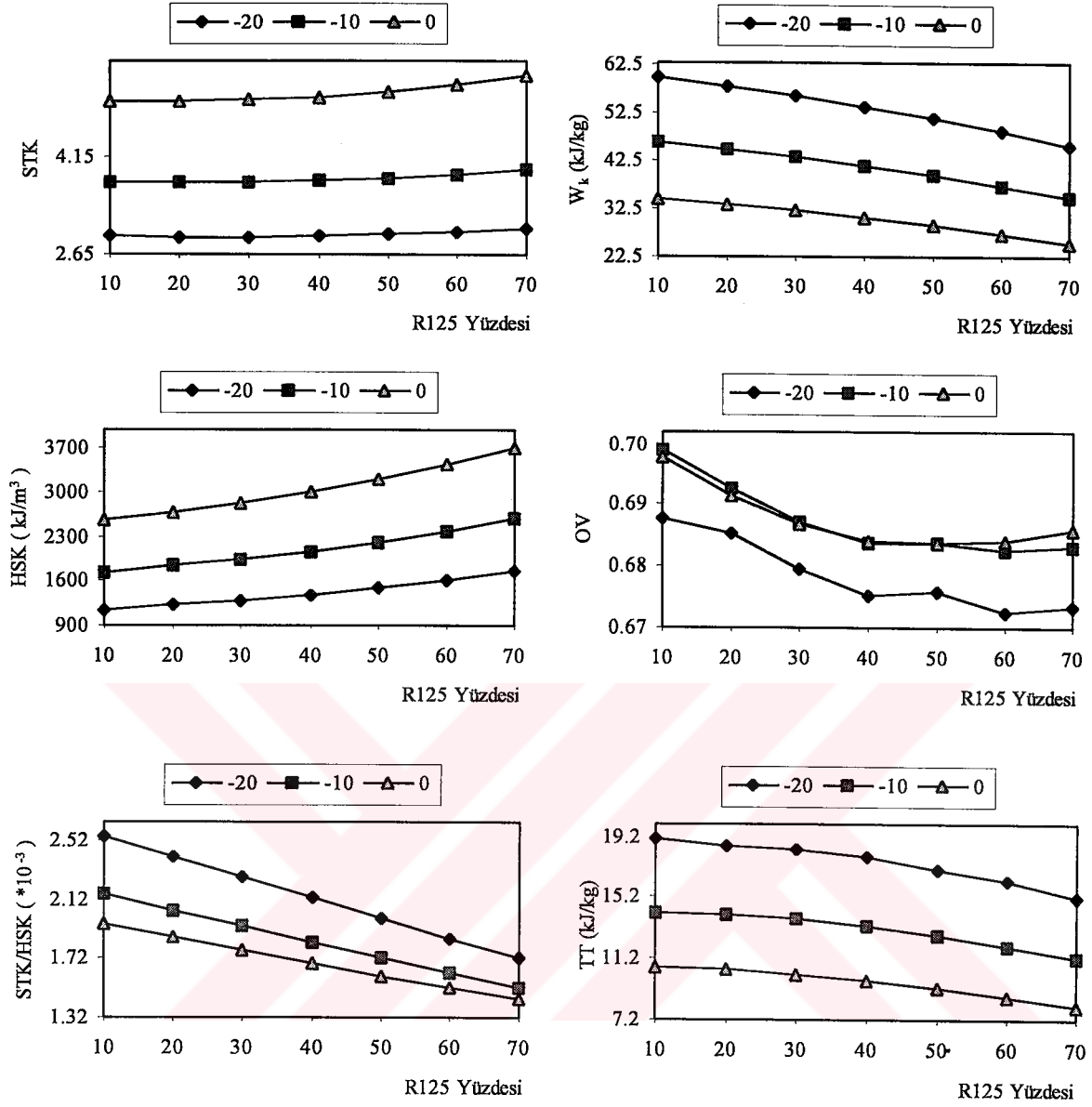
Şekil 3.39. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim %10'luk sabit R290 yüzdesi)



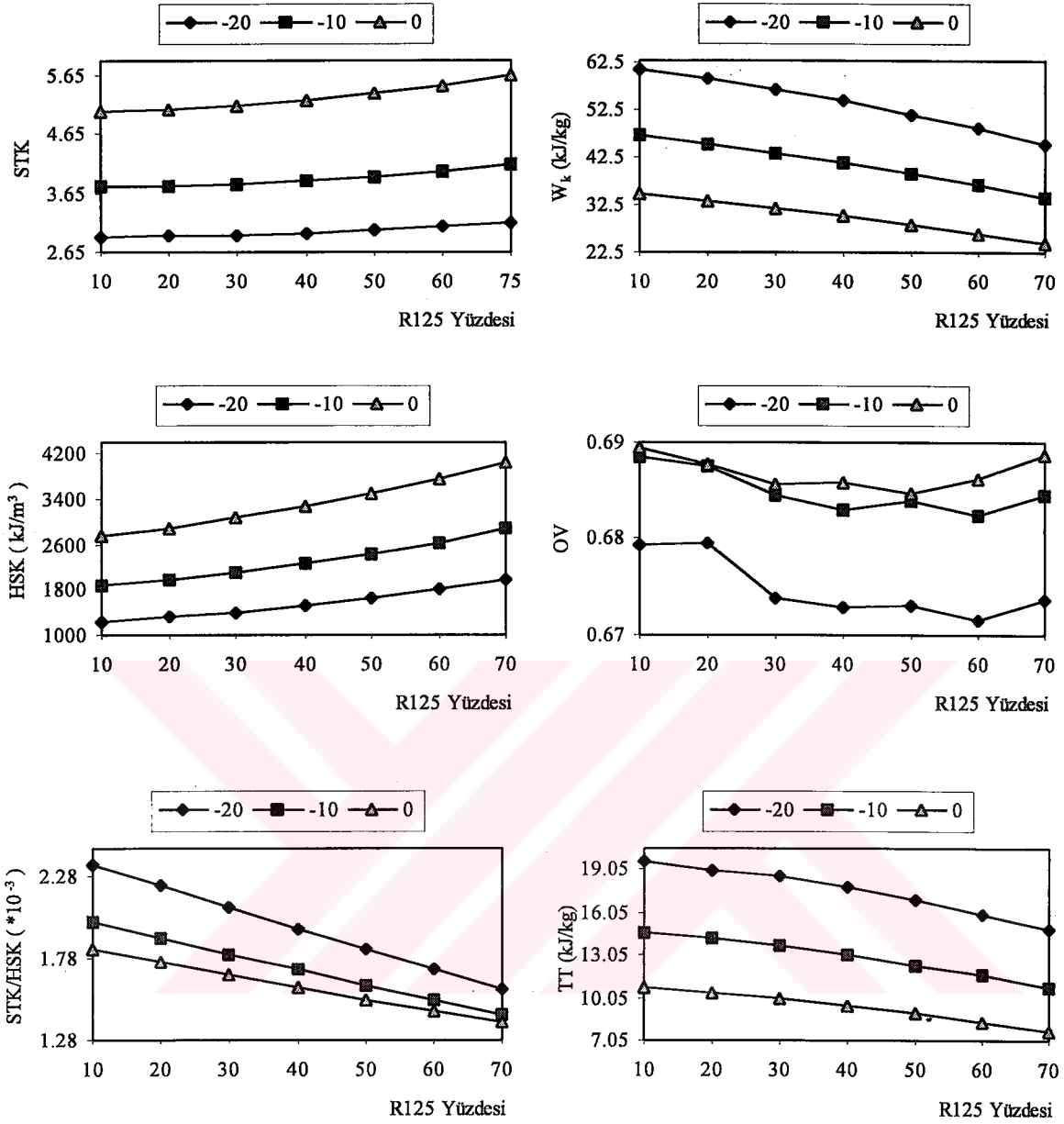
Şekil 3.40. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, klasik çevrim %15'lik sabit R290 yüzdesi)



Şekil 3.41. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %5'lik sabit R290 yüzdesi)



Şekil 3.42. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %10'luk sabit R290 yüzdesi)



Şekil 3.43. R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi (Sabit sıcaklık, ısı değiştiricili çevrim, %15'lik sabit R290 yüzdesi)

3.2.2.12. R32/R125/R290/R134a Karışımı

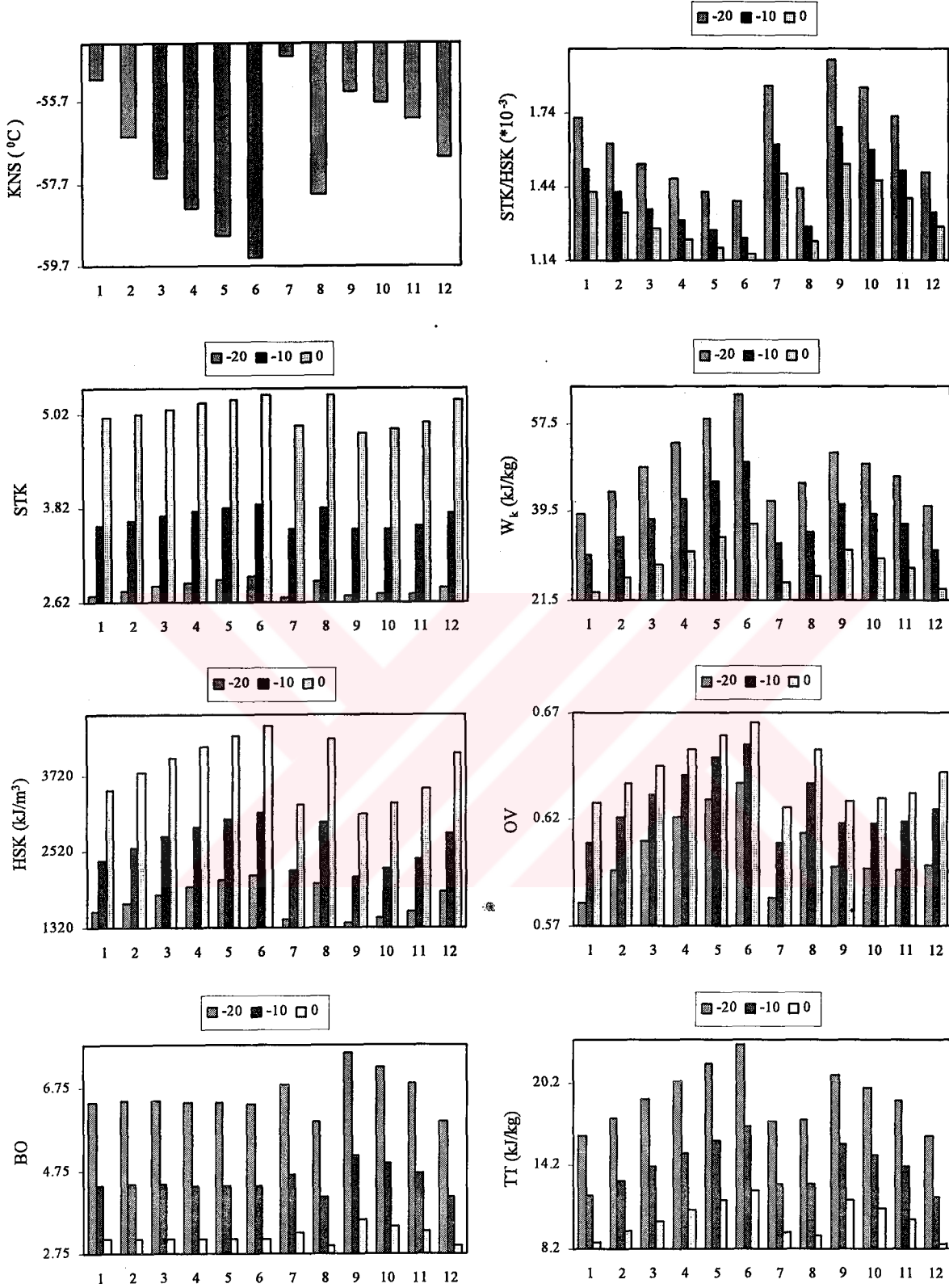
Bu karışımda R290 oranı %5'de sabit tutulmuş, R290'la birlikte ayrı ayrı diğer bir bileşenin oranı sabit tutularak geri kalan diğer iki bileşenin oranı değiştirilmiştir. (Çizelge Ek 1.13., Şekil 3.44.-3.45.)

Sabit R290 ve R134a oranında R32 oranının artması ile, sabit R125 ve R290 oranında R32 oranının artması ile, sabit R32 ve R290 oranında da R125 oranının artması ile KNS'de düşme gözlenmektedir. KNS ile uyumlu olarak sözü edilen 3 durumda (sabit R290 ve R134a oranında R32 oranının artması ile, sabit R125 ve R290 oranında R32 oranının artması ile, sabit R32 ve R290 oranında da R125 oranının artması ile) klasik çevrimde STK artmaktadır. Isı değiştiricili çevrimde sabit R290 ve R134a oranında R32 oranının artması ile STK azalırken diğer durumlarda klasik çevrime benzer davranış söz konusudur. Isı değiştiricili çevrimde daha yüksek STK değerleri elde edilmiştir. Klasik çevrimde 60/15/5/20 oranında ($T_b=0^{\circ}\text{C}$ hariç), ısı değiştiricili çevrimde 20/65/5/10 oranında en yüksek STK değerleri elde edilmektedir.

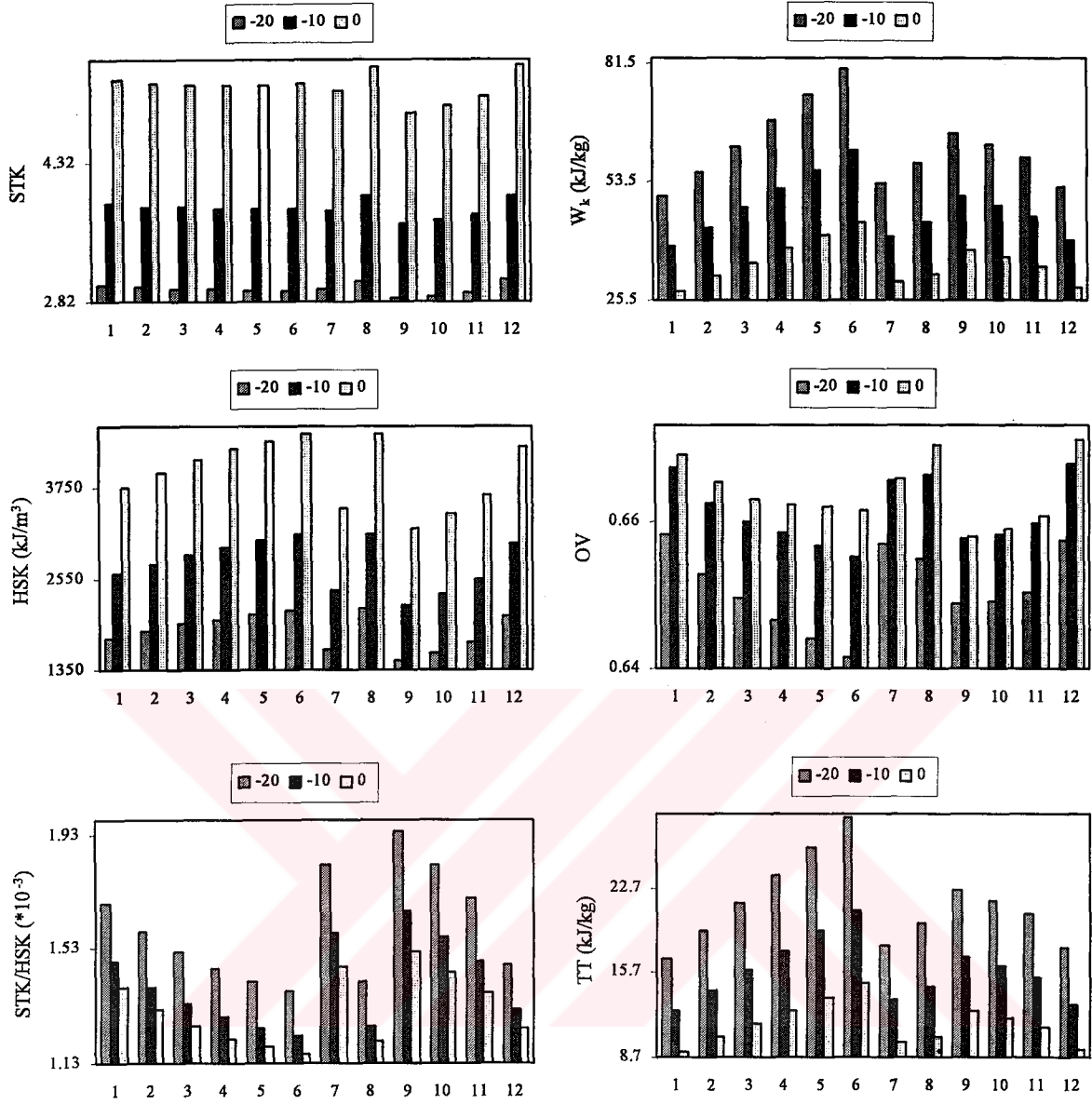
KNS değişiminde akışkanların oranıyla ilgili verilen durumlar için iki çevrime ait HSK değerlerinde de artış gözlenmektedir. Aynı şartlarda BO değişimi ise genel itibariyle azalma eğilimindedir.

İki çevrimde de akışkan oranlarına ait verilen ilk iki durum için W_k değerleri artarken, son durum için azalmaktadır. Klasik çevrimde bu üç durum için OV değerleri artarken ısı değiştiricili çevrimde ise ilk durum için azalma olmakta, diğer iki durum içinse klasik çevrimdeki gibi artmaktadır.

TT değişimi ise W_k değişimi ile paralel bir davranış sergilemektedir.



Şekil 3.44. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R32/R125/R290/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi



Şekil 3.45. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R32/R125/R290/R134a karışımına ait termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

3.2.3. R12, R22, R502 ve Alternatif Karışımlarının İncelenmesi

Alternatif karışımlar için şekildeki numaralandırmada, ilgili çizelgelerde verilen karışım numaralandırması esas alınmıştır. Çizelgedeki sıralamalar KNS'nin azalması yönündedir ve şekillerdeki numaralandırma için çizelgelere bakılmalıdır.

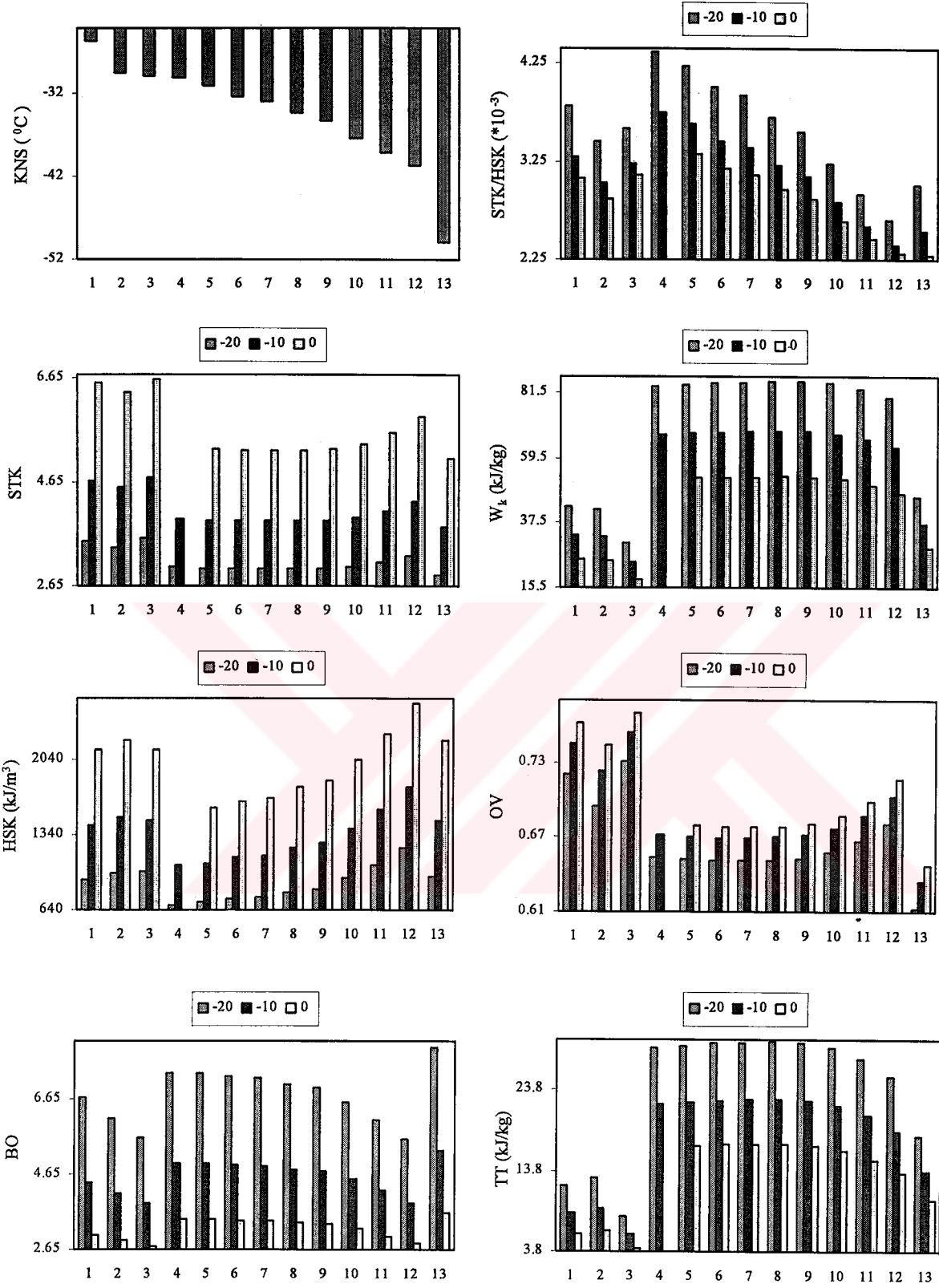
3.2.3.1. R12 ve Alternatif Karışımları

Alternatif olarak 12 tane karışım kaynaklardan^(30,38,40,43,49) alınmıştır. Bunlardan 9 tanesi R290/R600a'nın farklı oranlarda karışımıdır. (Çizelge Ek 1.14. Şekil 3.46.-3.47.)

STK değişimi genel itibariyle KNS'nin azalmasıyla düşmektedir. Bütün durumlarda en yüksek STK değerleri R12'ye aittir. Böylece kaynaklarda verilen alternatif karışımların STK'ları R12'ninkinin altında kalmaktadır. Genelde bütün durumlar için STK açısından R12'ye en yakın karışım R152a/R134a karışımıdır. Isı değiştiricili çevrimde daha yüksek STK değerleri elde edilmektedir.

HSK sıralaması KNS ile tam uyum içinde değildir. Mevcut sistemlerde R12'nin yerine kullanılacak karışımlar, R600a/R134a (klasik çevrimde -20°C hariç), R290/R600a (80/20, 90/10) ve R290/R134a (-20°C hariç)'dir. STK ve HSK beraberce düşünüldüğünde mevcut sistemlerde R600a/R134a karışımının kullanılması avantajlı olmaktadır.

Kompresör işi genelde STK ile uyumlu değişmekte, en az iş girdisi R12'de gerçekleşmektedir. Isı değiştiricili çevrimde daha fazla iş girdisi olmaktadır.



Şekil 3.46. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R12 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi

OV değerleri de en fazla R12'de elde edilmekte, R12'yi genelde R152a/R134a karışımı takip etmektedir. TT değişimi ise genel itibariyle W_k değişimiyle benzerlik taşımaktadır. Dolayısıyla en az tersinmezlik R12'de elde edilmektedir.

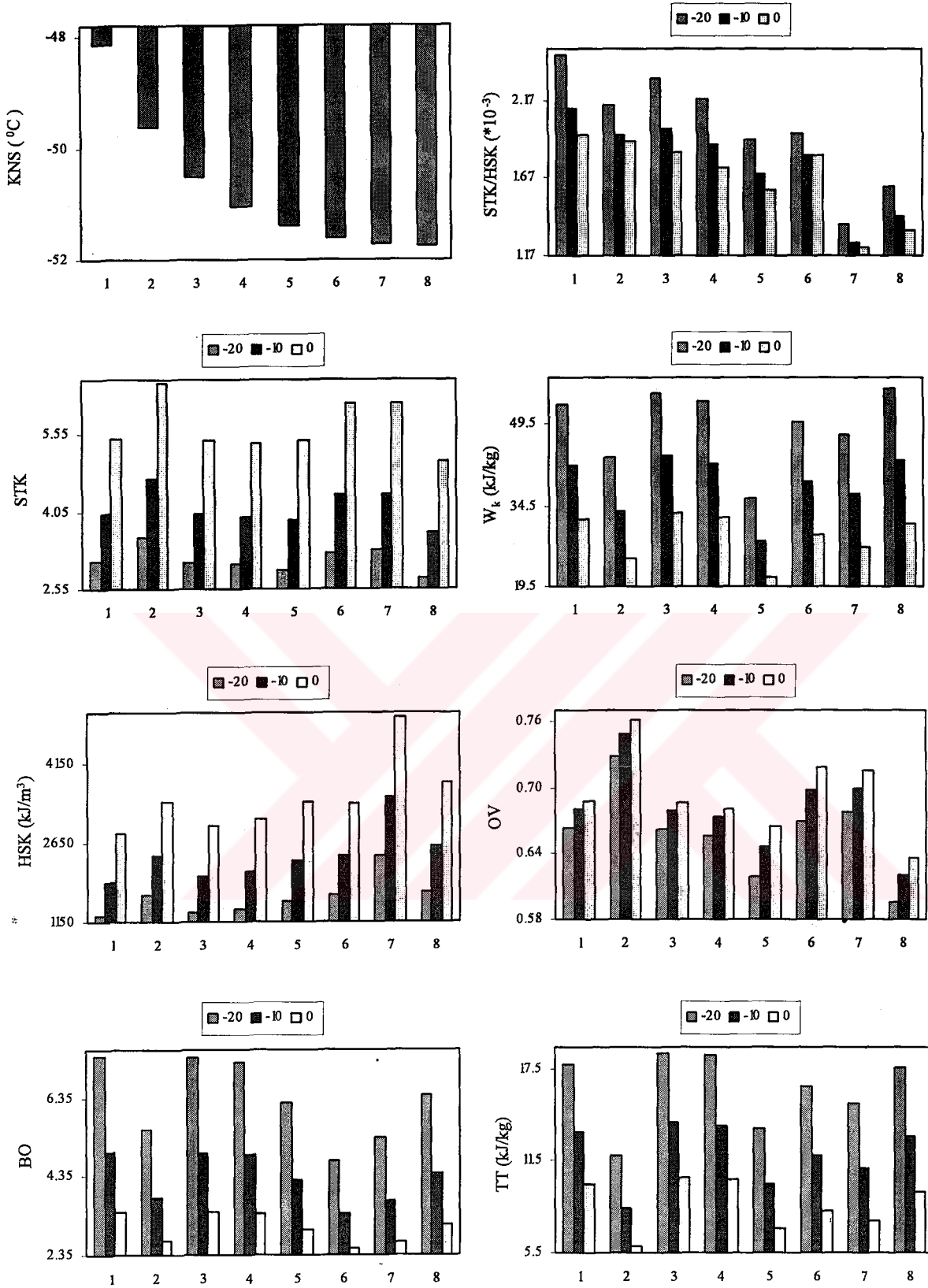
3.2.3.2. R22 ve Alternatif Karışımları

Alternatif olarak 8 tane karışım kaynaklardan^(8,33,34) alınmıştır. (Çizelge Ek 1.15., Şekil 3.48.-3.49.)

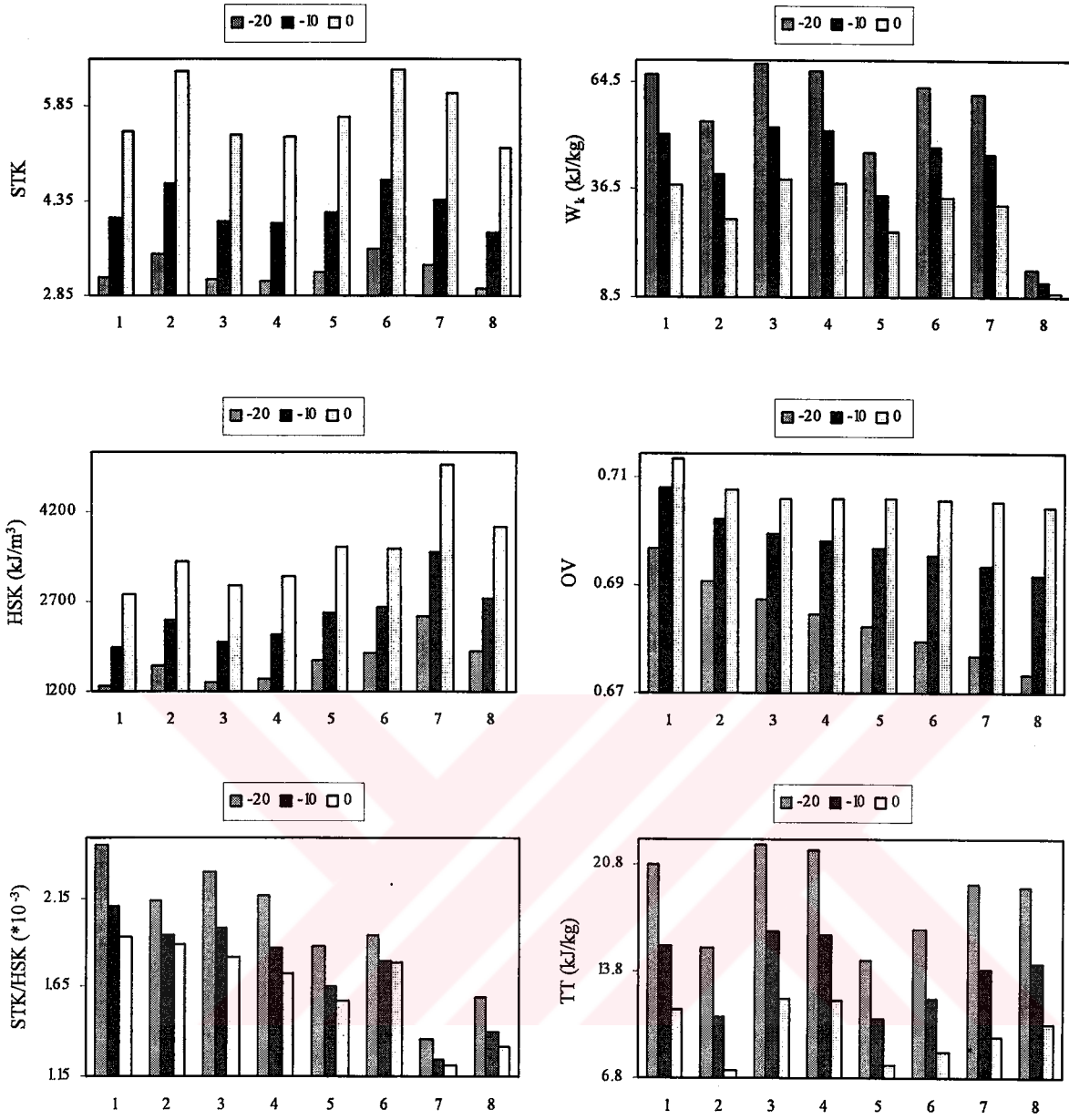
STK değişimi KNS ile uyumlu değildir. En yüksek STK değeri R22'de elde edilmektedir. Isı değiştiricili çevrim bazı karışımlarda olumsuz gözükmektedir. R22'ye en yakın STK değerleri klasik çevrimde R32/R125 (50/50) karışımında elde edilmektedir. Isı değiştiricili çevrimde R290/R134a (46/54) oranında en yüksek STK değerleri elde edilmektedir. Bu karışımı R22 takip etmektedir.

HSK değişimi de beklendiği şekilde değildir. Mevcut sistemlerde R32/R125 (50/50), R32/R125/R290/R134a ve R290/R134a (46/54) (ısı değiştiricili çevrimde) karışımları R22 yerine kullanılabilir. STK değerleri ile beraber düşünüldüğünde klasik çevrimde R32/R125 karışımı, ısı değiştiricili çevrimde R290/R134a karışımı avantajlı olmaktadır.

En düşük BO değeri R290/R134a karışımında en yüksek değer ise R32/R134a (25/75) karışımında elde edilmektedir. STK değeri itibariyle 2.sırada olan bu karışım beklenmedik bir şekilde en yüksek BO değerine sahip olmaktadır.



Şekil 3.48. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R22 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi



Şekil 3.49. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R22 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi

W_k değişimi de beklendiği şekilde değildir. STK değeri oldukęa dūřuk olan R32/R125/R134a (10/70/20) karışımı, klasik ęevrimde en az iř girdisine sahiptir. Isı değiştiricili ęevrimde ise en az iř girdisi 4'lü karışımda gerekmektedir.

OV değerleri ağısından klasik ęevrimde R22 en iyi durumda iken, ısı değiştiricili ęevrimde R32/R134a (25/75) karışımı daha avantajlıdır. TT değişiminde OV'de olduğu gibi klasik ęevrim için R22 avantajlıdır. Isı değiştiricili ęevrimde ise R290/R134a karışımı da dūřuk TT değerlerine sahiptir.

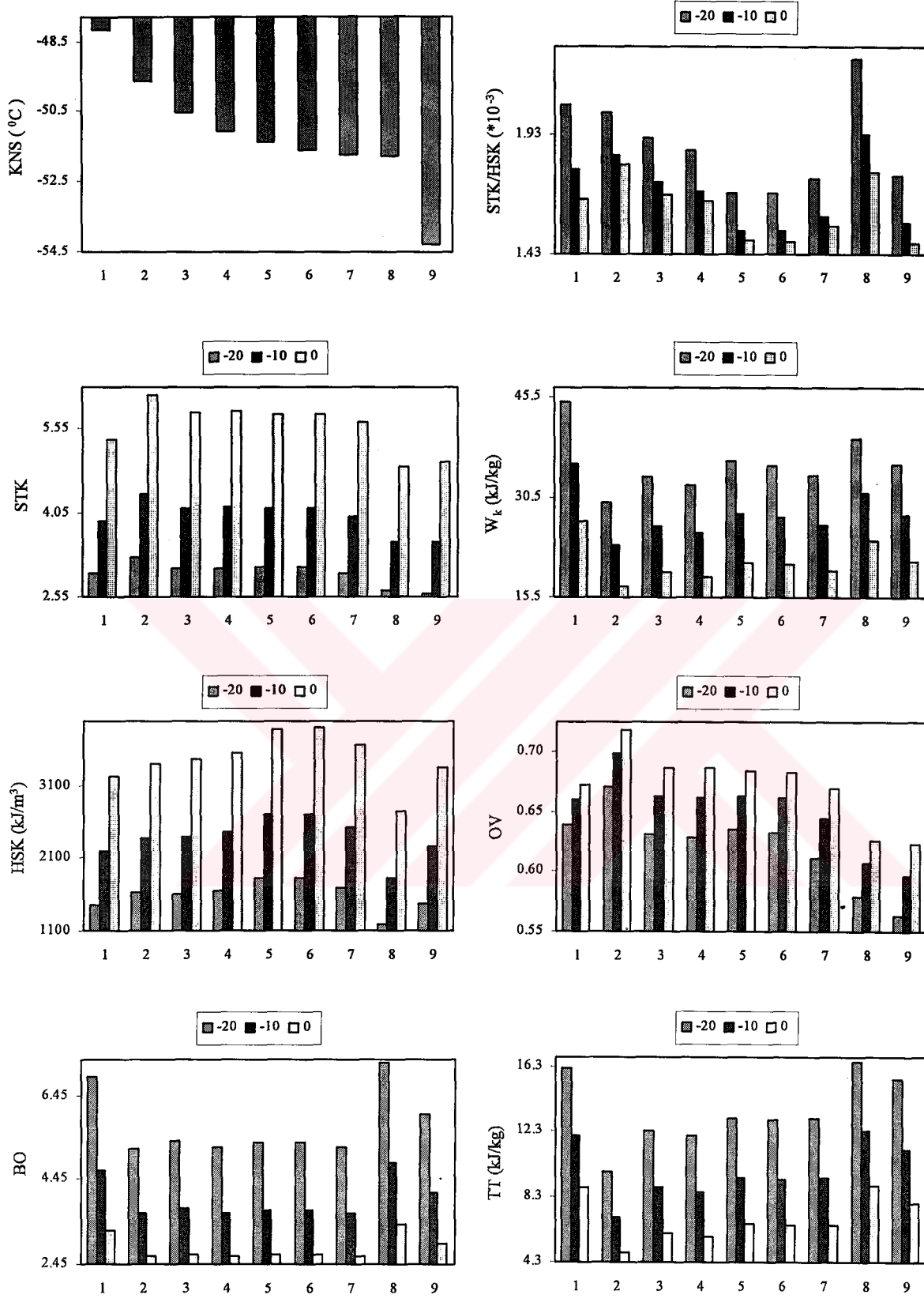
3.2.3.3. R502 ve Alternatif Karışımları

Alternatif 9 karışım literatürden^(38,40) alınmıştır. (izelge Ek 1.16., şekil 3.50.-3.51.)

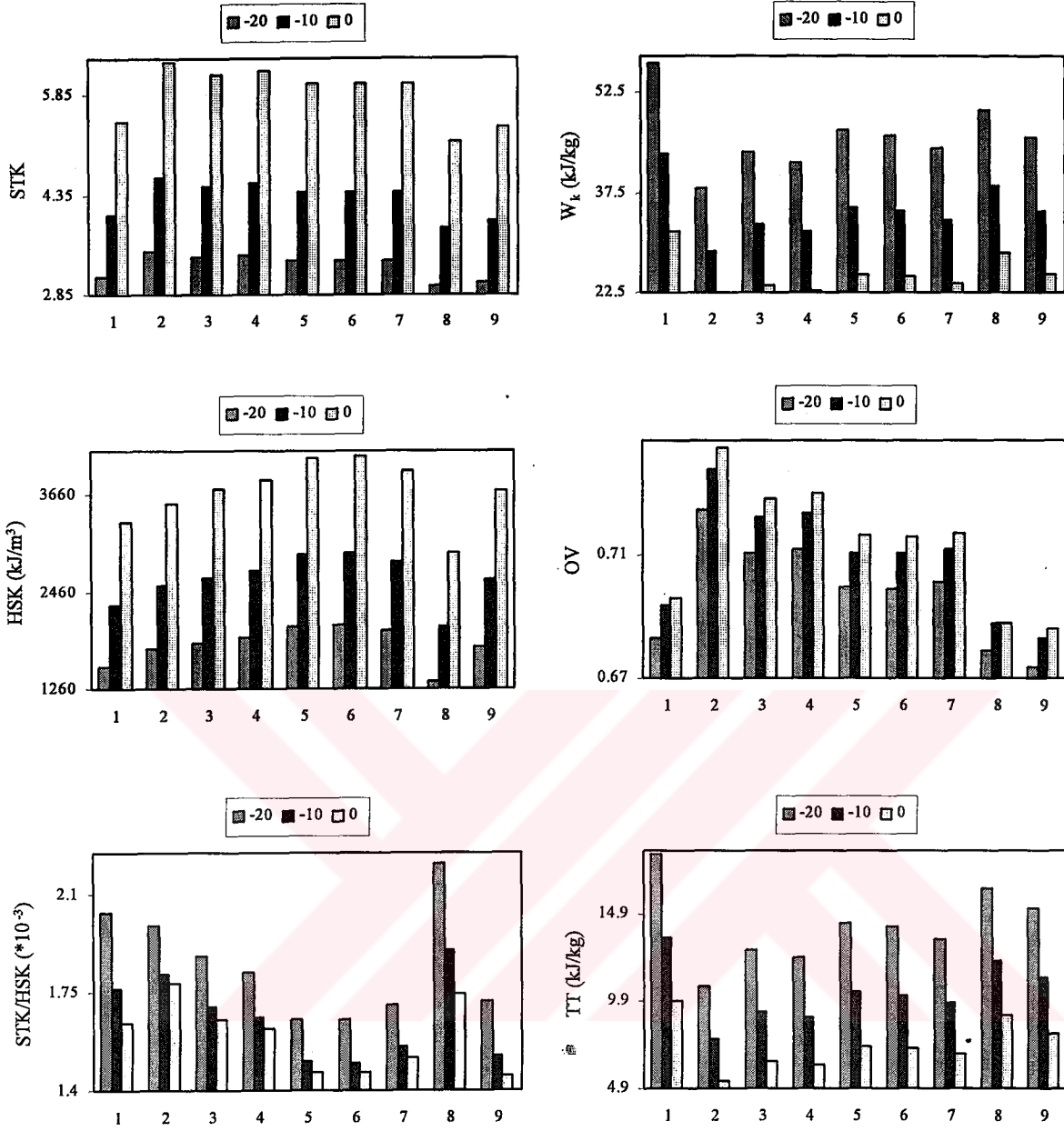
STK değişimi KNS ile uyumlu değildir. En yüksek STK değeri iki ęevrimde de R502'de elde edilmektedir. R502'yi R125/R143a (50/50) karışımı takip etmektedir. Isı değiştiricili ęevrim her durumda avantajlı gözükmektedir.

HSK değişimi de beklendiği şekilde değildir. R502'nin HSK değerinden dūřuk değerli karışımlar R32/R125/R134a (20/40/40), R125/R290/R134a (50/5/45, 70/10/20(klasik ęevrimde))'dır. Dolayısıyla bu karışımların mevcut sistemlerde kullanılması beklenmez. HSK ile beraber dūřnldęnde de R502 dışında en avantajlı karışım R125/R143a (50/50) karışımıdır.

Kompresör işi beklendiği üzere en az R502'de elde edilmektedir. R125/R143a (50/50) karışımı da iş girdisi açısından R502'den sonra gelmektedir. OV açısından ısı değiştiricili ęevrim daha iyi durumdadır ve iki ęevrimde de R502 en yüksek değerlere



Şekil 3.50. Sabit sıcaklık için klasik çevrimde R502 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi



Şekil 3.51. Sabit sıcaklık için ısı değiştiricili çevrimde R502 ve alternatif karışımlarına ait termodinamik ve performans değerlerinin değişimi

sahiptir. R502'yi ısı değiştiricili çevrimde R125/R143a karışımı takip etmekte, klasik çevrimde buharlaştırıcı sıcaklıklarına göre farklı karışımlar ikinci sırada yer almaktadır.

TT de en az R502'de ortaya çıkmakta, OV ile uyumlu olarak ısı değiştiricili çevrimde R125/R143a karışımı R502'yi takip etmektedir.

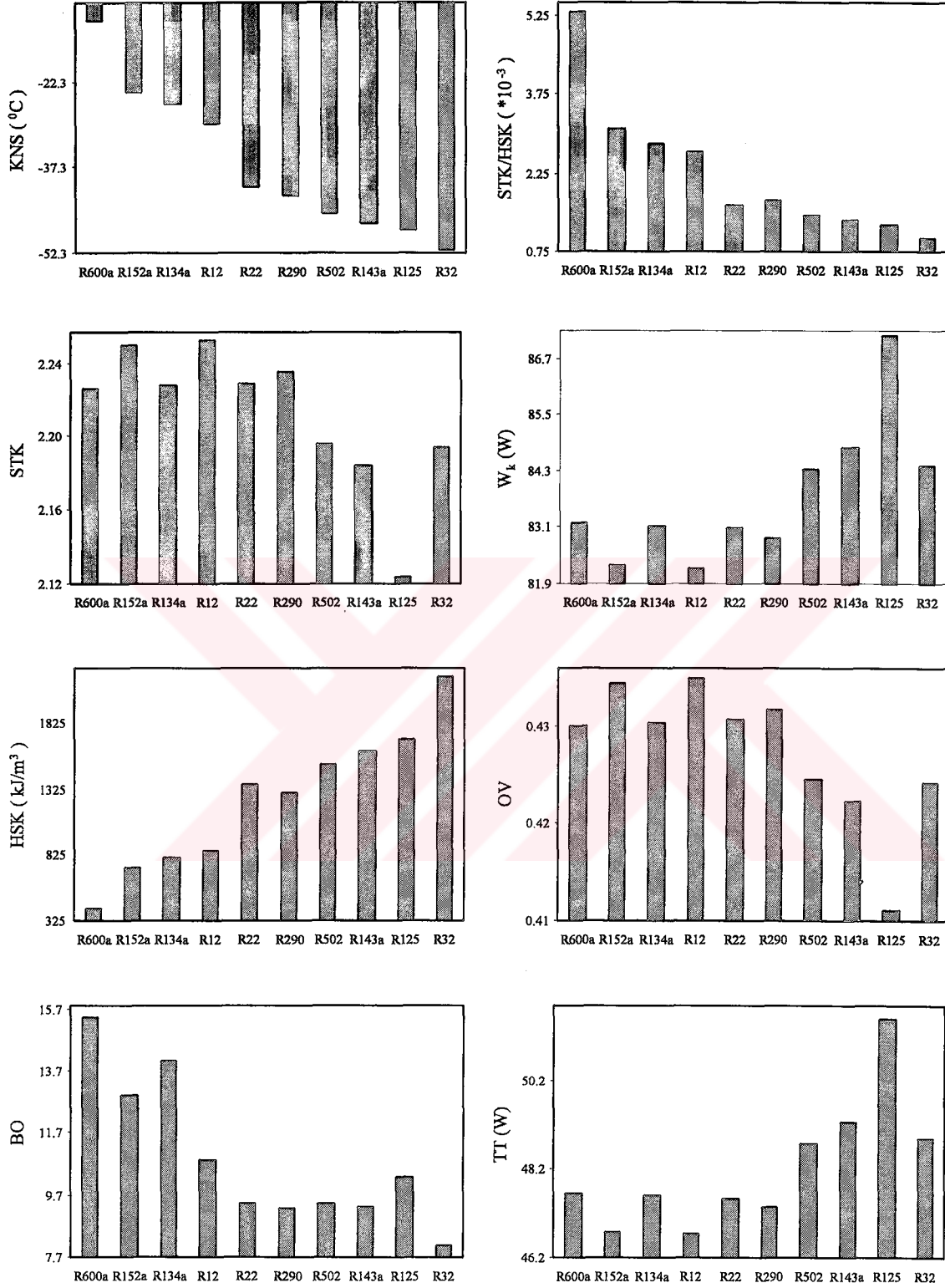
3.3. Sabit Soğutma Yüğüne Dayalı Hesaplamalar

İnceleme kapsamındaki bütün akışkanlar ve karışımları için KNS, STK, HSK, BO, STK/HSK, W_k , OV ve TT değerleri aşağıdaki bölümlerde çizelge ve grafik olarak verilmiş ve değerlendirilmiştir. Hesaplamalar emme/sıvı hattı ısı değiştiricili çevrim kullanılarak sabit 180 W'lık soğutma yüğü için yapılmıştır.

3.3.1. Saf Akışkanların İncelenmesi

Akışkan sırası ile veya artan uçuculukla STK değerinde genel eğilim baştaki birkaç akışkan için ufak çapta karmaşa ile birlikte azalma yönündedir. (Çizelge Ek 1.17., Şekil 3.52.) Akışkanların KNS dışındaki sahip oldukları özelliklerde küçük çapta bozulmalar gözleniyor olsa da sözü edilen genel bir düşme akışkanların tümü için geçerlidir. Bu düşme % olarak çok düşük mertebededir. En yüksek STK R12 için 2.25, en düşüğü R125 için 2.12 seviyesindedir.

STK'daki ufak sapmalarla ortaya çıkan genel eğilim HSK'da bozulmalardan arınmış olarak netleşmektedir. R22'deki ufak sıradışılık hariç uçuculuk arttıkça HSK



Şekil 3.52. Sabit soğutma yükünde saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi

düzgün bir artış göstermektedir. HSK 418 kJ/m³'den 2185 kJ/m³'e kadar çıkmaktadır.

BO'da da R134a ve R125'teki ufak sapmalarla birlikte beklenildiği üzere uçuculuğun artması ile BO düşmektedir. STK/HSK oranı KNS sıralaması açısından daha net bir sonuç vermekte, R22'de ufak bir sapma hariç KNS değeri azaldıkça bu oran da azalmaktadır.

W_k STK ile ters orantılı dolayısıyla STK arttıkça W_k da düşmektedir. Dolayısıyla en yüksek W_k değeri R125'te elde edilmektedir.

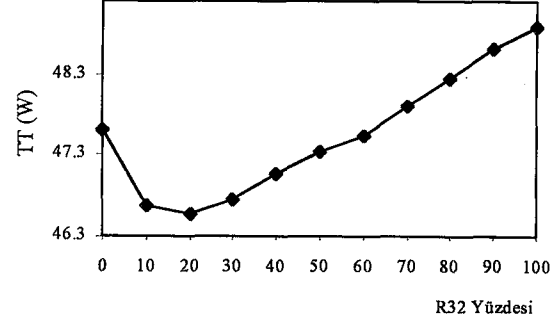
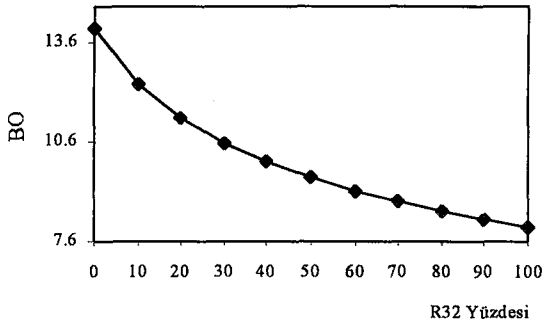
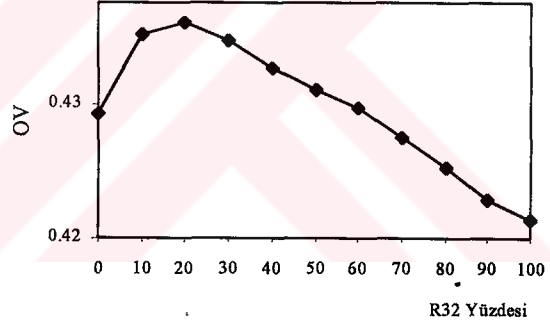
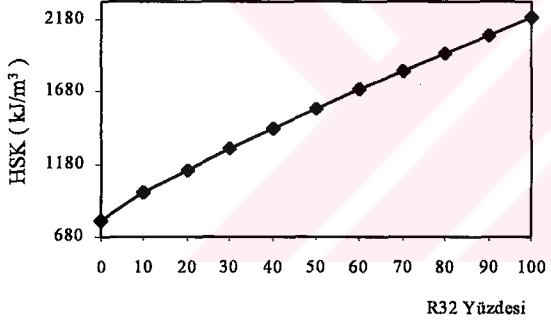
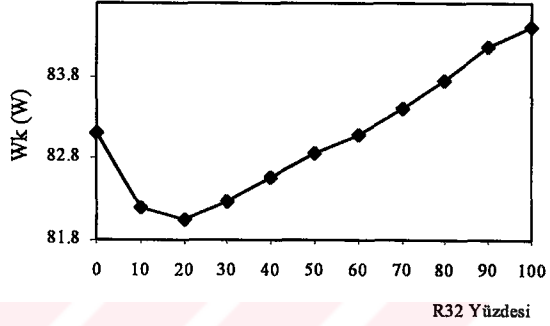
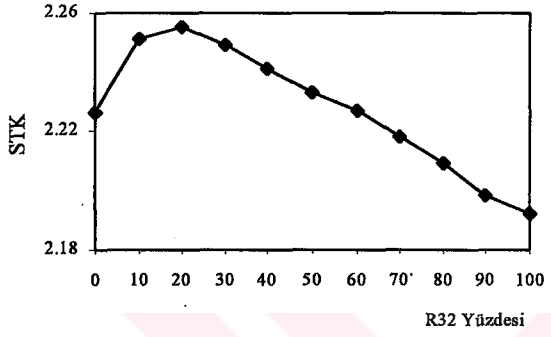
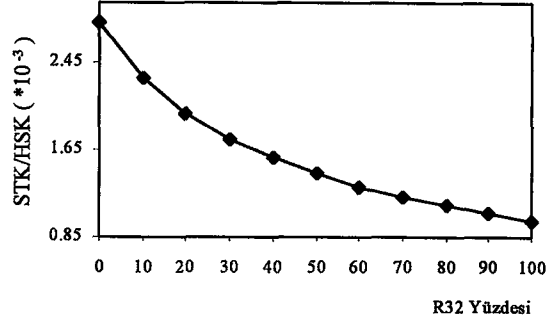
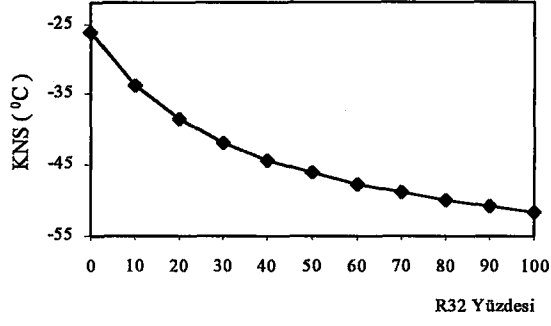
OV değişimi STK değişimi ile, TT değişimi ise W_k değişimi ile paralellik arz etmektedir. Dolayısıyla en az tersinmezlik R152a'da iken en fazla tersinmezlik R125'te gerçekleşmektedir.

3.3.2. Karışımların İncelenmesi

Karışımlar için de çizelgelerde KNS, STK, HSK, BO, STK/HSK, W_k , OV ve TT değerleri yer almakta ve bunlara ait grafikler verilmektedir.

3.3.2.1. R32/R134a Karışımı

R32'nin KNS değerinin R134a'dan daha düşük olduğu daha önce de belirtilmişti. Dolayısıyla bu karışıma ait KNS değerleri R32 oranının artması ile azalmaktadır. (Çizelge Ek 1.18., Şekil 3.53.)



Şekil 3.53. Sabit soğutma yükünde R32/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

20/80 oranına sahip karışımda en yüksek STK değerine ulaşılmaktadır. Daha sonra R32 oranı arttıkça STK azalmaktadır. Dolayısıyla genelde KNS'deki değişimle uyum söz konusudur.

Beklendiği gibi, R32 oranı arttıkça BO azalırken HSK artmaktadır. STK/HSK oranı da BO ile aynı değişimi göstermektedir.

W_k değişimi beklendiği gibi STK ile ters orantılıdır. Dolayısıyla en düşük W_k 20/80 oranında elde edilmekte ve sonra R32 oranı arttıkça W_k artmaktadır.

OV değişimi de beklendiği gibi STK ile benzerlik arz etmektedir. TT değişimi de W_k ile aynı değişime sahiptir.

35.2/64.8 oranındaki karışımda HSK değeri R22'nin HSK değerine eşitlenmektedir. Bu karışım R22 yerine mevcut sistemlerde kullanılacaksa 35.2/64.8 oranındaki karışım kullanılmalıdır. Bu durumda, R22'ninkinden %0.8 daha yüksek STK değeri elde edilmiştir. Yeni tasarlanacak sistemde kullanılacaksa 20/80 oranındaki karışım kullanılmalıdır. Bu durumda R22'den %1.3 daha yüksek STK değeri geçerlidir. Bu ikili karışım için 25/75 ve 30/70 oranları R22 için alternatif karışım olarak teklif edilmektedir.

3.3.2.2. R290/R134a Karışımı

R290'nın KNS değeri R134a'dan yüksektir. (Çizelge Ek 1.19., Şekil 3.54.) Karışıma ait KNS değerleri ise bu iki bileşenin KNS değerleri arasında değişmesi beklenirken R290'nın KNS değerinden daha düşük değerler elde edilmektedir. Bu durum 46/54 oranında azeotrop bir karışım oluşmasıyla açıklanabilir. En düşük KNS

değeri ani bir düşüfle 10/90 oranında elde edilmekte ve daha sonra R290 oranı arttıkça artmaktadır.

Bu ikilinin STK değişimi oldukça farklı seyretmektedir. En yüksek STK değerine 90/10 oranında, en düşük değerine de 30/70 oranında ulaşılmaktadır. 30/70 oranından sonra R290 yüzdesinin artması ile STK artmaktadır.

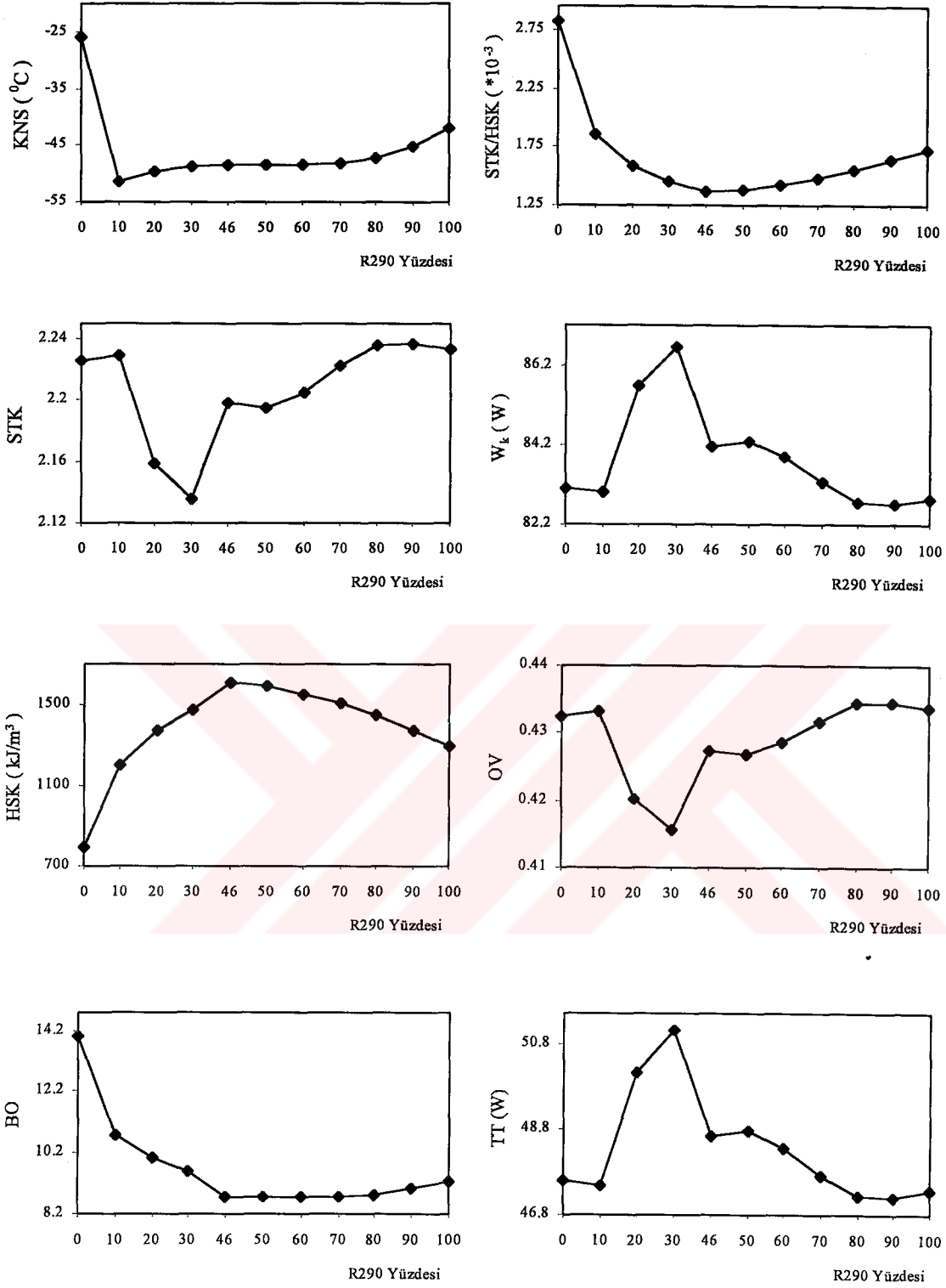
R290'ın %46'dan düşük oranlarında sıcaklık kayması %46'dan yüksek oranlardakinden oldukça yüksektir. R290'nın 10-12 civarındaki oranlarında en yüksek sıcaklık kaymasına ulaşılmaktadır.

HSK'daki değişim ise azeotrop noktaya kadar artış göstermekte daha sonra ise azalmaktadır. BO değişimi de beklendiği gibi HSK'nın tersi yönünde gelişmektedir. STK/HSK değişimi ise BO'daki değişime benzer davranış göstermektedir. Dolayısıyla HSK, BO ve STK/HSK değişimi kendi aralarında beklenen davranışı göstermektedir.

19/81 oranındaki karışımında HSK değeri R22'nin HSK değerine eşitlenmektedir. Bu durumda R22'ninkinden daha düşük bir STK değeri elde edilmiştir.

W_k değişimi STK ile ters yönlü olmakta dolayısıyla en yüksek W_k değeri 30/70 oranında elde edilmektedir.

OV değişimi STK ile, TT değişimi de W_k değişimiyle benzer olmaktadır.



Şekil 3.54. Sabit soğutma yükünde R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

3.3.2.3. R600a/R134a Karışımı

Bu karışımın 18/82 oranında azeotrop bir karışım söz konusudur ve bu karışım R12 için alternatif bir karışım olarak kaynaklarda verilmektedir. Dolayısıyla bu nokta önem kazanmaktadır.

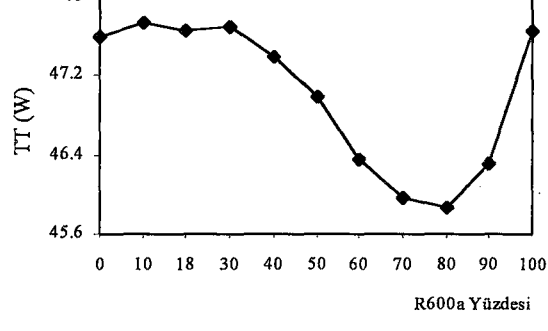
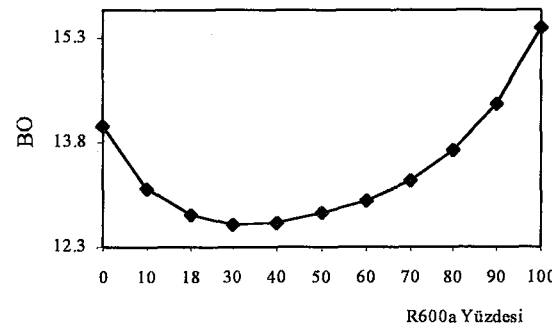
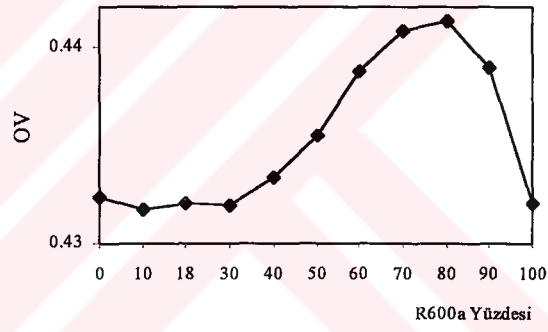
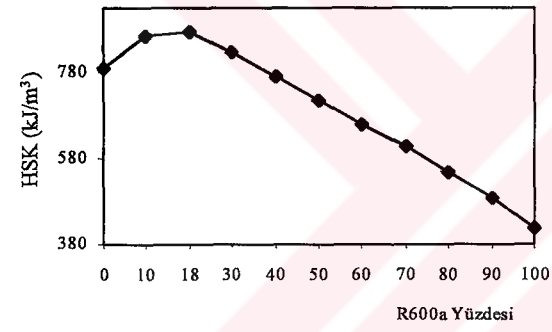
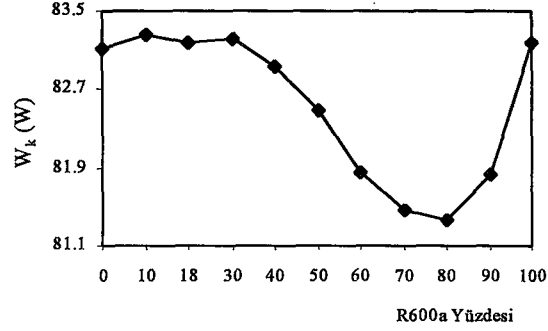
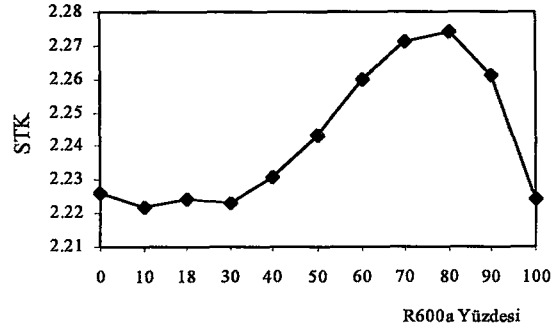
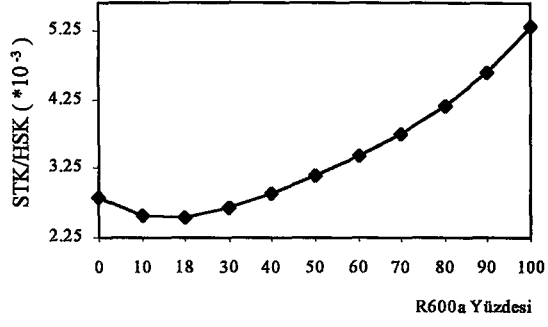
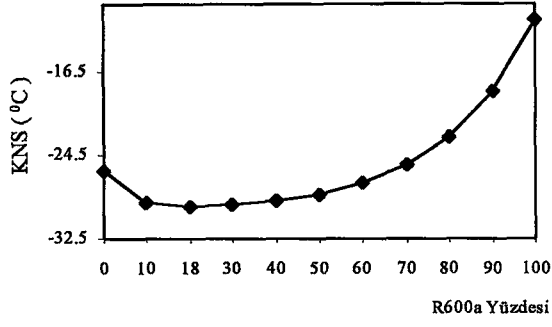
Azeotrop noktaya kadar KNS değeri iki bileşenin de altında bir değere düşmekte, daha sonra R600a yüzdesi arttıkça KNS değeri de artarak R600a'nın değerine yaklaşmaktadır. (Çizelge Ek 1.20., Şekil 3.55.)

Azeotrop nokta civarlarında düşük STK değerleri elde edilirken daha sonra R600a yüzdesi arttıkça STK artış göstermektedir. 80/20 oranındaki karışımda STK en yüksek değere ulaşmakta ve sonra düşmektedir.

HSK değişimi 18/82 oranındaki karışıma kadar R600a'nın yüzdesinin artması ile artış göstermekte, bu orandan sonra ise R600a oranının artması ile azalmaktadır. KNS değişimine bakıldığında HSK'daki değişim açıklanabilmektedir. Çünkü 18/82 oranına kadar KNS değeri azalırken daha sonra bu oran R600a lehine arttıkça KNS değeri de artmaktadır. BO değişimi HSK ile ters yönde değişmekte dolayısıyla beklenen gelişme gözlenmektedir.

W_k 'nin değişimi STK ile ters yönlü gerçekleşmekte yani en düşük güç girdisine 80/20 oranındaki karışımda ulaşılmaktadır.

OV değişimi de STK'daki değişimle benzerlik göstermekte, TT'deki değişim de OV ile ters yönde olmakta veya W_k değişimiyle benzerlik arz etmektedir.



Şekil 3.55. Sabit soğutma yükünde R600a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

3.3.2.4. R152a/R134a Karışımı

R152a oranı arttıkça KNS yükselmektedir. (Çizelge Ek 1.21., Şekil 3.56.)

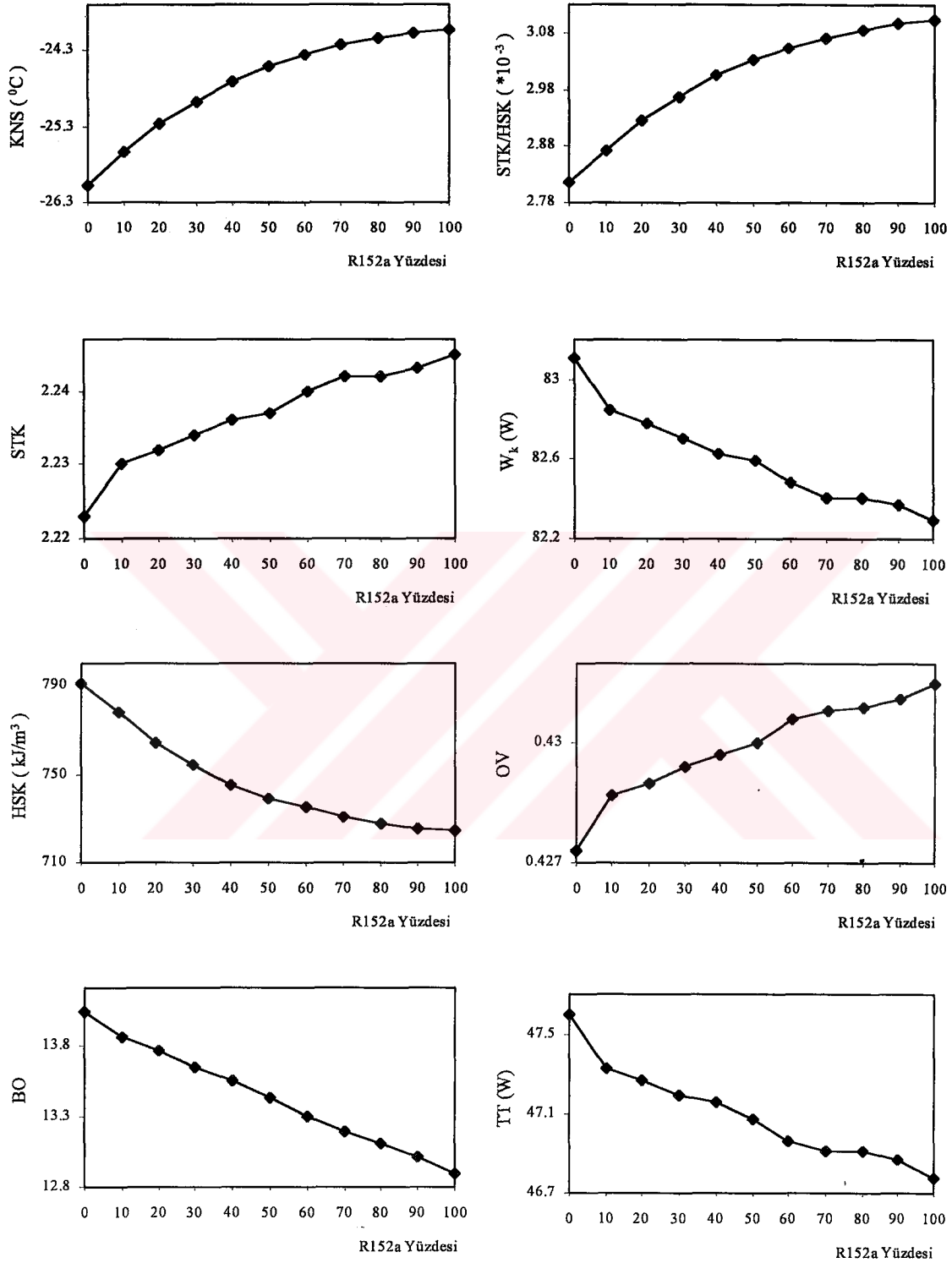
R152a'nın yüzdesinin artmasıyla STK değeri artmakta ve beklendiği gibi HSK değeri de düşmektedir. En yüksek STK değeri 90/10 karışımında elde edilmektedir. Fakat BO değişimi farklılık arz etmekte, normalde R152a oranının artması ile artması beklenirken azalmaktadır. STK/HSK değişimi de KNS ile benzerlik arz etmektedir.

Bu ikilinin 14/86 oranındaki karışımı R12 için kaynaklarda alternatif karışım olarak verilmektedir. Fakat HSK değeri R12'ye yakın olmadığı için mevcut sistemlerden ziyade yeni sistemlerde kullanılması beklenmektedir. Bu ikilinin hiçbir oranında R12'nin HSK'sına yakın değere ulaşamamaktadır. Çünkü saf akışkanların KNS'lerine dayalı eşleştirmede R12 için uygun bir alternatif olmadığı gözlenmiştir.

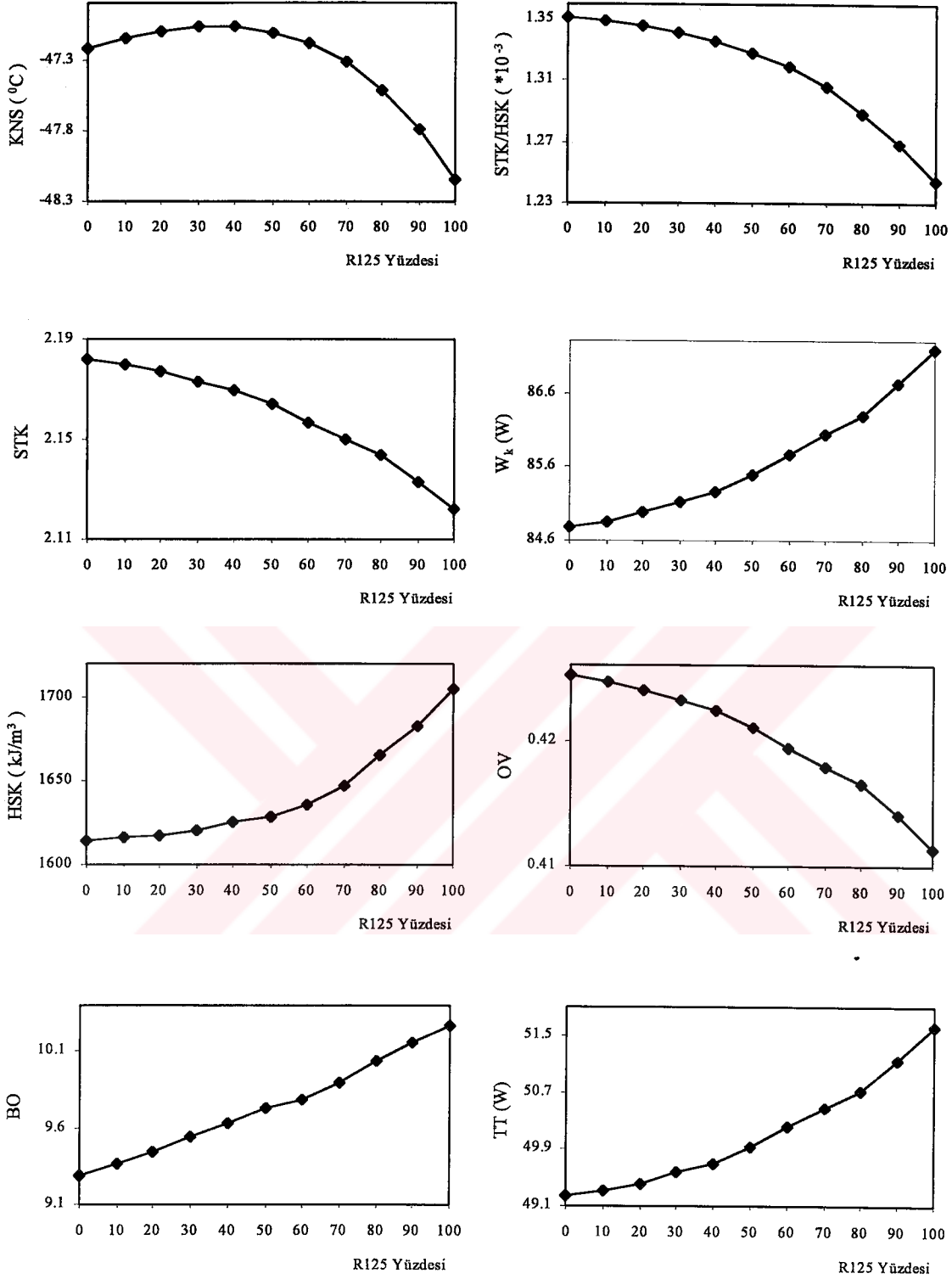
Kompresör işi R152a yüzdesinin artması ile azalmaktadır. OV değişimi beklendiği gibi STK ile benzerlik arz etmekte, TT değişimi de OV'nin tersine R152a yüzdesi arttıkça azalmaktadır. BO değişimi dışında diğer değerler KNS değişimine dayalı beklenen değişimi göstermektedir.

3.3.2.5. R125/R143a Karışımı

Bileşenlerin KNS'leri birbirine oldukça yakın olduğu için hemen hemen 40/60 oranına kadar azeotropluk sözkonusudur. Bu durum KNS değişiminde de gözlenmektedir. Çünkü bu orana kadar karışımın KNS değeri bileşenlerinkinden daha yüksek olmaktadır. (Çizelge Ek 1.22., Şekil 3.57.)



Şekil 3.56. Sabit soğutma yükünde R152a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi



Şekil 3.57. Sabit soğutma yükünde R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

STK değişimi düzenli olarak R125 yüzdesinin artmasıyla azalmaktadır. HSK değişimi de STK ile ters yönde gerçekleşmekte ve beklendiğinin aksine BO değişimi de HSK ile benzerlik taşımaktadır. STK/HSK değişimi STK ile aynı olmakta, W_k da beklendiği tzere STK ile ters yönde değişmektedir.

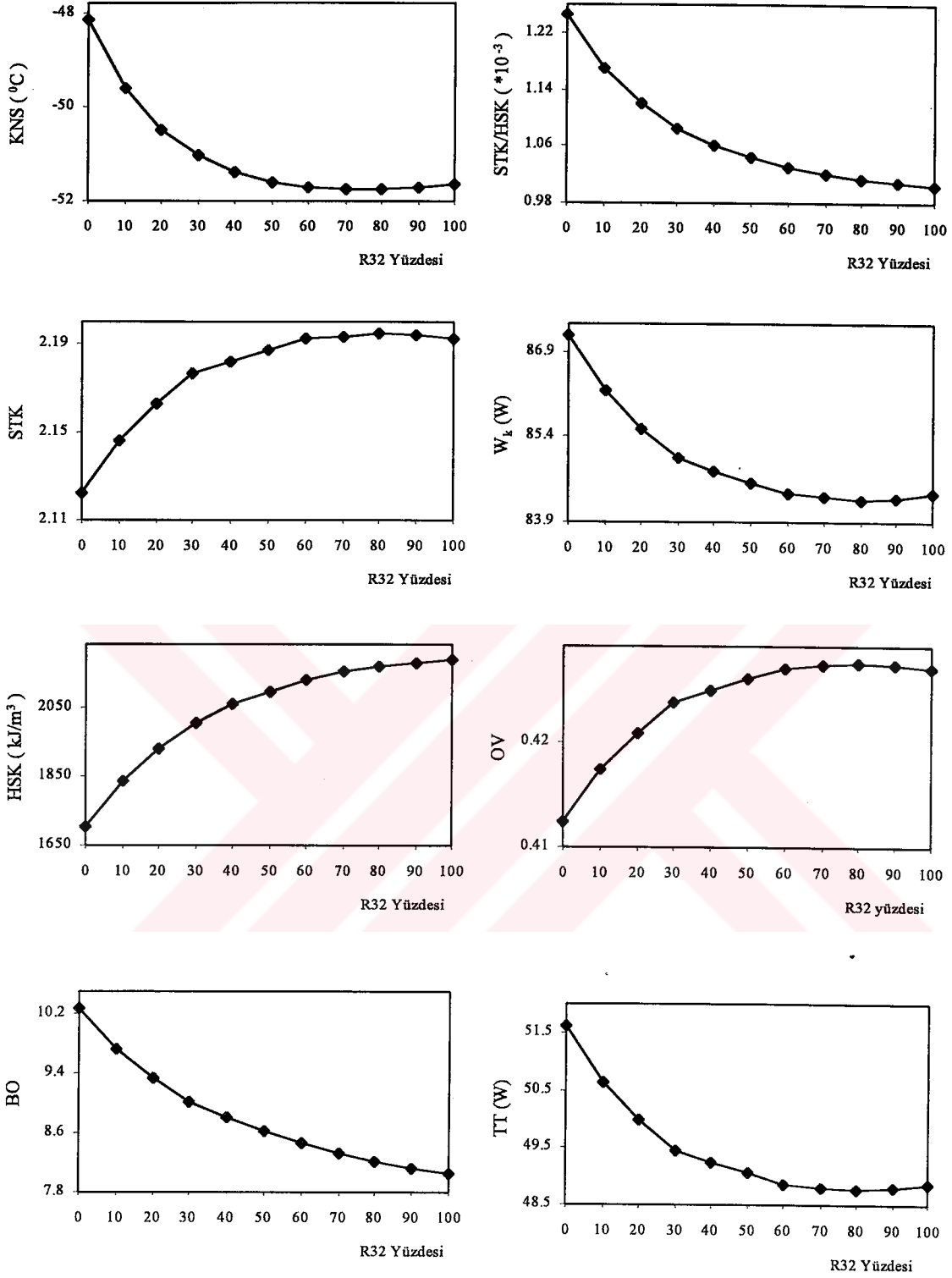
Bu karışımın 50/50 oranı R502 için alternatif karışım olarak kaynaklarda verilmiştir. Fakat karışımın hiçbir oranında R502'nin HSK'sına ulaşılamamaktadır. Dolayısıyla mevcut sistemlerden ziyade yeni sistemlerde bu karışım kullanılmalıdır.

OV değişimi STK ile, TT de kompresör işi ile aynı değişime uğramaktadır.

3.3.2.6. R32/R125 Karışımı

60/40 oranından sonra azeotropluk gözlenmektedir. Dolayısıyla KNS değeri 60/40 oranından sonra iki bileşenin de altında bir değere düşmektedir. 60/40 oranından önce R32 yüzdesinin artmasıyla R32'nin değerine yaklaşarak KNS azalmaktadır. (izelge Ek 1.23., Şekil 3.58.)

STK değişimi beklenenin aksine azeotrop noktaya kadar R32 yüzdesinin artması ile artmakta, azeotrop noktada artma çok az miktarda olmaktadır. En yüksek STK değerine 80/20 oranındaki karışımda ulaşılmakta ve daha sonra STK'da düşme gözlenmektedir. KNS değişimine bakıldığında en düşük değerin 80/20 oranındaki karışımda olduğu görülür. R32 yüzdesi %60'lara ulaşana kadar STK'daki artışın belirgin olduğu daha sonra ise çok küçük artımların gerçekleştiği grlmektedir.



Şekil 3.58. Sabit soğutma yükünde R32/R125 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

HSK değişimi beklendiği gibi KNS'nin düşmesi ile artış göstermekte, fakat azeotrop bölge civarında bu artma düşük oranda kalmaktadır. BO değişimi de beklendiği üzere R32 oranı arttıkça azalmaktadır.

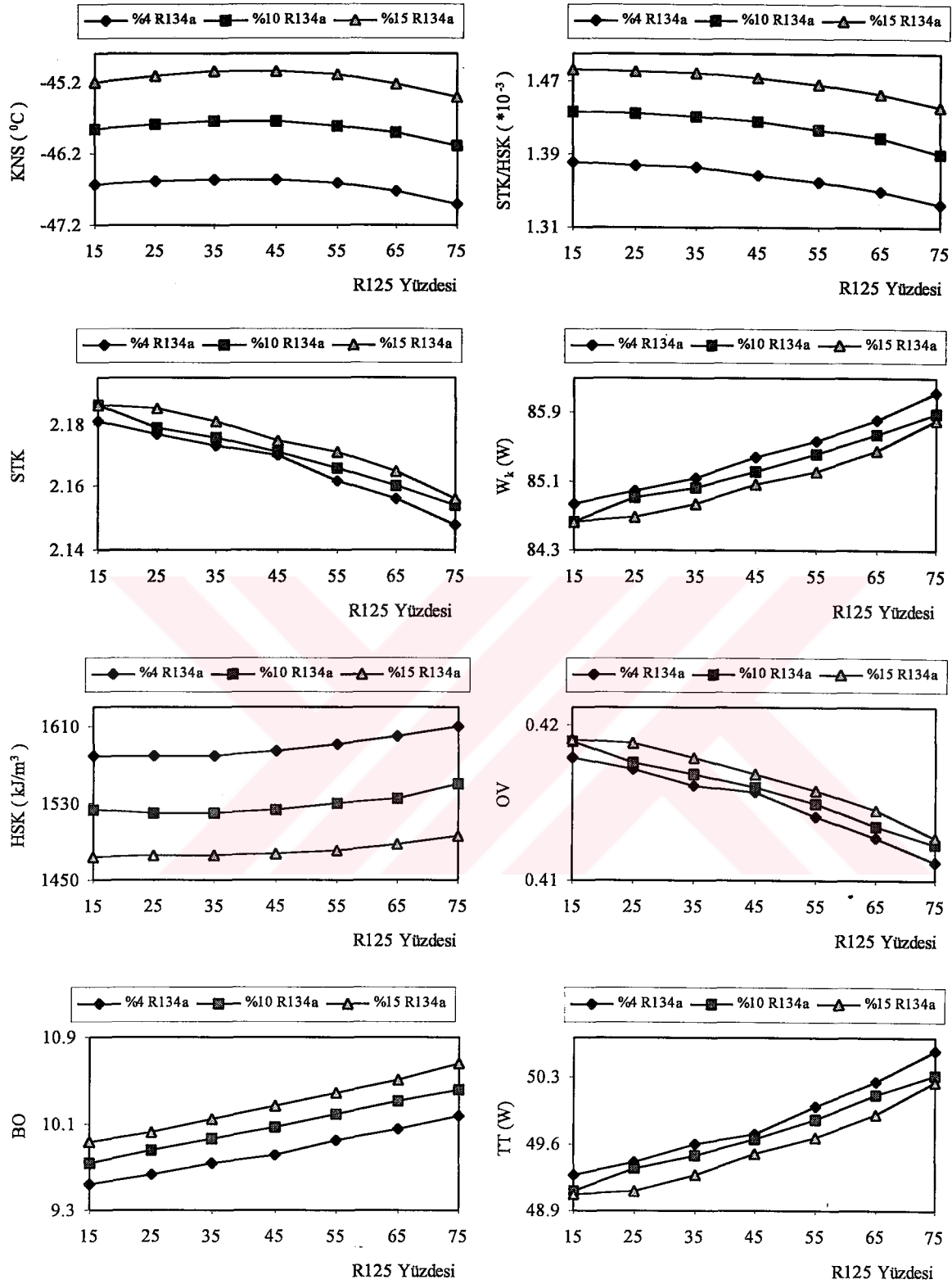
Bu ikilinin 50/50 oranındaki karışımı R22 için alternatif karışım olarak kaynaklarda teklif edilmektedir. Fakat, ikilinin hiçbir oranında R22'nin HSK değerine ulaşmamaktadır. Dolayısıyla mevcut sistemlerde R22 yerine doğrudan bu karışımın kullanılması söz konusu değildir.

Kompresör işi SKT ile ters yönde değişmekte, en az iş 80/20 oranında elde edilmektedir. STK/HSK değişimi ise beklendiği şekilde BO değişimiyle benzer davranış göstermektedir. OV değişimi de STK değişimiyle benzerlik arz etmektedir. TT değişimi ise kompresör işindeki değişimle aynı olmaktadır.

3.3.2.7. R125/R143a/R134a Karışımı

R134a oranının artması ile beklendiği şekilde KNS değeri artmaktadır. Çünkü R134a'nın KNS değeri diğer iki bileşenden daha yüksektir. Sabit R134a oranı için %45'lik R125 oranına kadar KNS artmakta daha sonra azalmaktadır. Bu üçlünün 44/52/4 oranındaki karışımı R502'nin alternatif karışımı olarak teklif edilmektedir. Bu orandaki karışım azeotrop karışıma yakın bir karışımdır. (Çizelge Ek 1.24., Şekil 3.59.)

R134a oranı arttıkça ve R125 oranı azaldıkça STK değeri artmaktadır. Dolayısıyla 15/70/15 oranındaki karışımında en yüksek STK değeri elde edilmektedir.



Şekil 3.59. Sabit soğutma yükünde R125/R143a/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

HSK değerleri KNS ile uyum açısından beklendiği gibi R134a oranının azalması ve R125 oranının artması ile artış göstermektedir. BO değerleri ise R134a ve R125 oranlarının artması ile artış göstermektedir.

KNS ile uyum açısından en uygun değişim STK/HSK değişimidir. Kompresör işi R134a oranının azalması ve R125 oranının artması ile artış göstermekte, dolayısıyla en fazla işi 15/81/4 oranındaki karışımda harcanmaktadır.

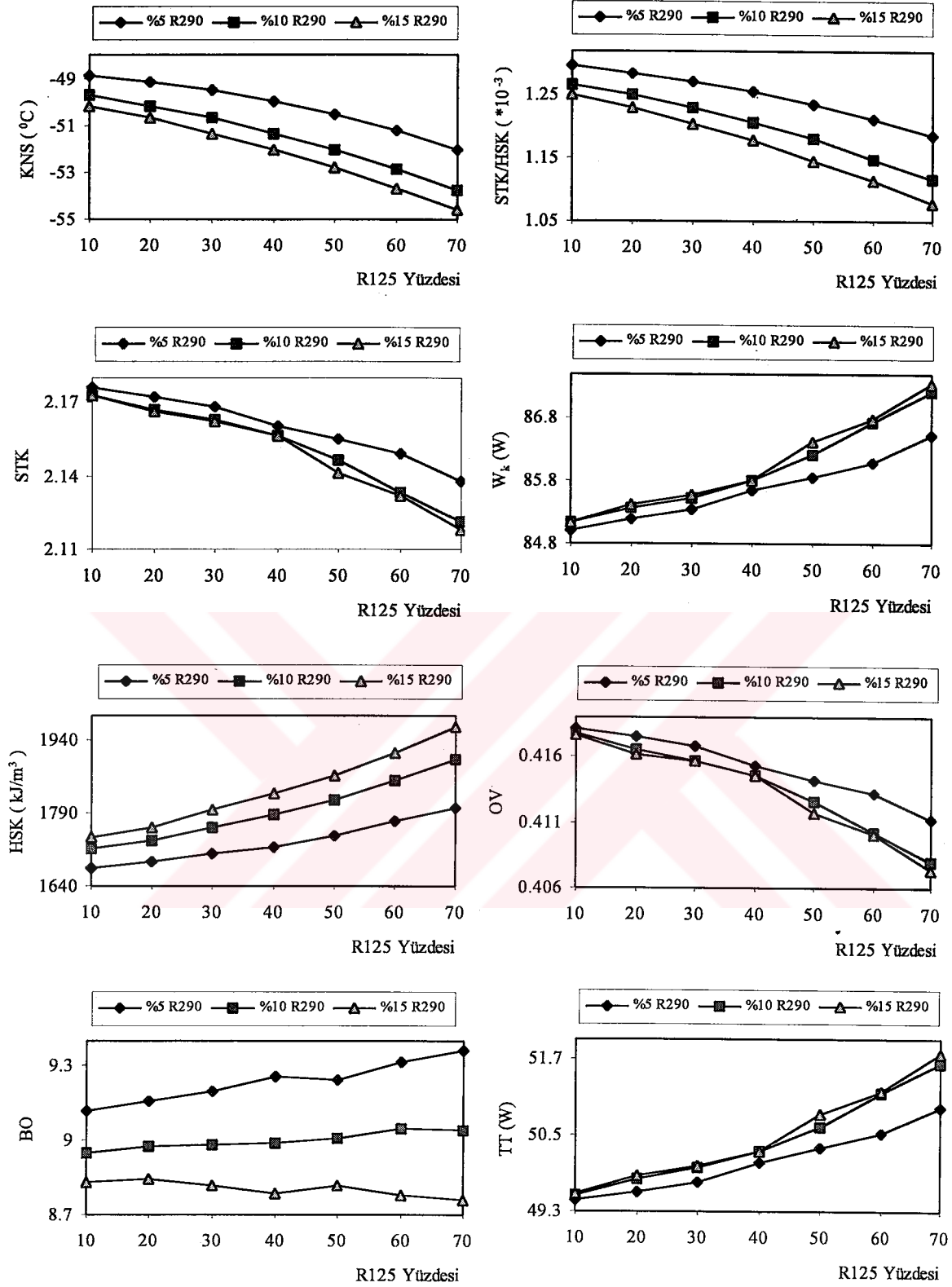
OV değişimi STK ile, TT değişimi de W_k değişimiyle uyum göstermektedir.

3.3.2.8. R125/R143a/R290 Karışımı

R290 ve R125 oranının azalması ile KNS değerleri yükselmektedir. Aynı durum için beklendiği şekilde STK değeri de artmaktadır. Dolayısıyla en yüksek STK değeri 10/85/5 oranında elde edilmektedir. (izelge Ek 1.25., Şekil 3.60.)

HSK değişimi de KNS'ye uyumlu olarak R290 ve R125 oranının artması ile artış göstermektedir. BO değişimi R290 oranının artması ile azalmakta, sabit %5 ve 10'luk R290 oranlarında R125 oranının artması ile artarken %15 R290 oranında R125 yüzdesinin artması ile az da olsa azalmaktadır.

50/45/5 oranındaki karışım R502 için kaynaklarda alternatif karışım olarak teklif edilmektedir. Fakat bu ulnn seçilen karışımlarında R502'nin HSK'sı elde edilememiştir. STK/HSK değişimi KNS açısından oldukça uyumlu davranış göstermektedir.



Şekil 3.60. Sabit soğutma yükünde R125/R143a/R290 karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

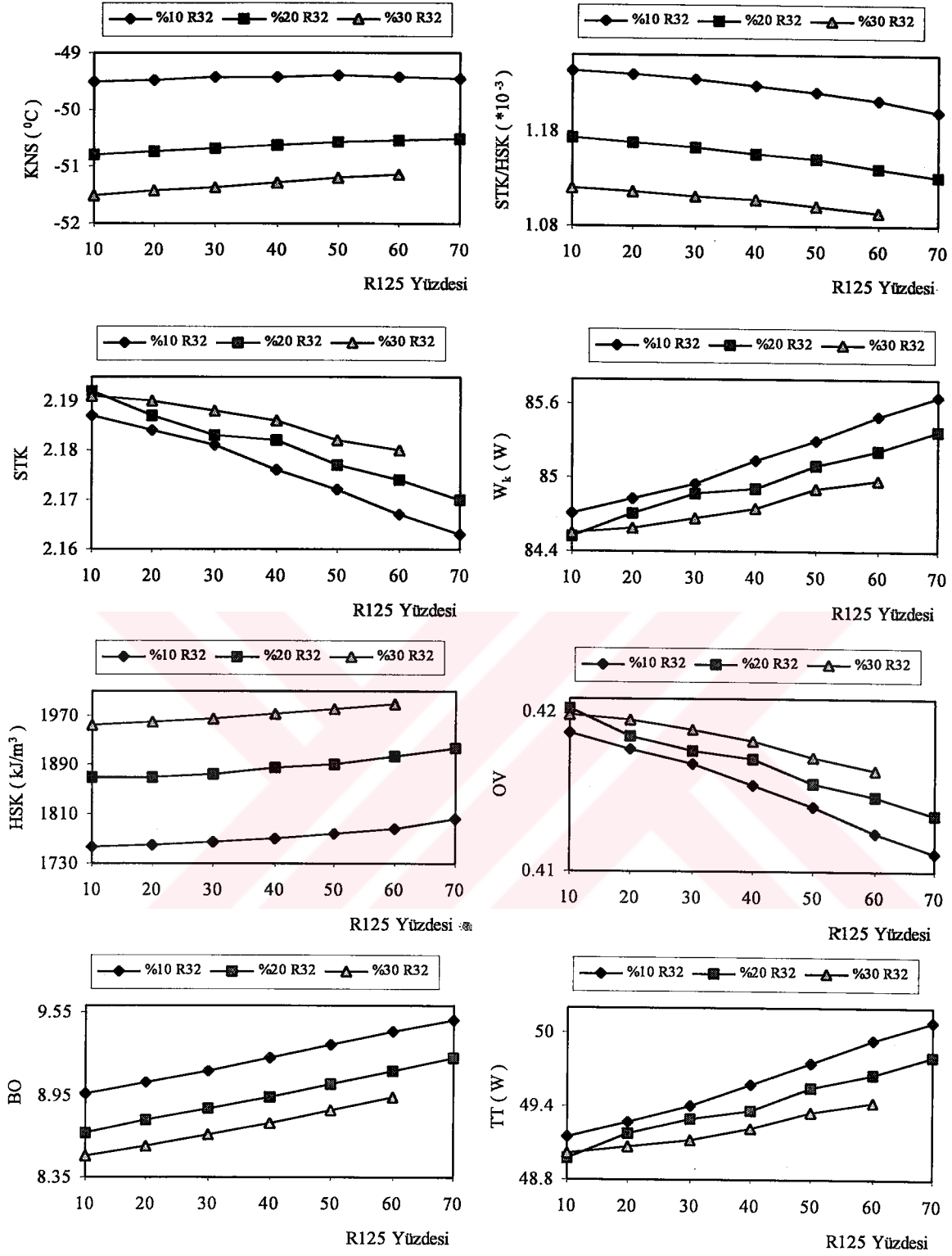
W_k değişimi STK ile ters yönlü olmakta, dolayısıyla en fazla iş 70/15/15 oranında harcanmaktadır. OV değişimi STK ile, TT değişimi de W_k değişimiyle benzerlik taşımaktadır.

3.3.2.9. R32/R125/R143a Karışımı

R32 oranı azaldıkça ve R125 oranı arttıkça KNS değeri genelde artmakta ve KNS'ye uyumlu olarak genelde STK değişimi azalmaktadır. En yüksek STK değerine 20/10/70 karışımında ulaşılmaktadır. (Çizelge Ek 1.26., Şekil 3.61.)

HSK değişimi ise R32 ve R125 oranının artması ile yükselmektedir. Fakat R32'nin oranının artması durumunda daha belirgin bir HSK artışı sözkonusudur. 10/50/40 ve 10/45/45 oranlarındaki karışım R502 için alternatif karışım olarak kaynaklarda verilmektedir. Bu iki karışımın HSK'sı R502'nin HSK'sından büyük olduğu için mevcut sistemlerde kullanılabilir. Fakat bu üçlü karışımın hiçbir oranında R502'nin HSK değeri elde edilememekte, daha büyük değerlere ulaşılmaktadır.

BO değişimi ise R32 oranının azalması ve R125 oranının artması ile artış göstermektedir. STK/HSK değişimi HSK değişiminin tersi yönünde gerçekleşmektedir. Kompresör işi STK ile zıt yönde değişim göstermektedir. OV değişimi beklendiği Şekilde STK ile, TT değişimi ise W_k ile aynı davranışa sahiptir.



Şekil 3.61. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R143a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

3.3.2.10. R32/R125/R134a Karışımı

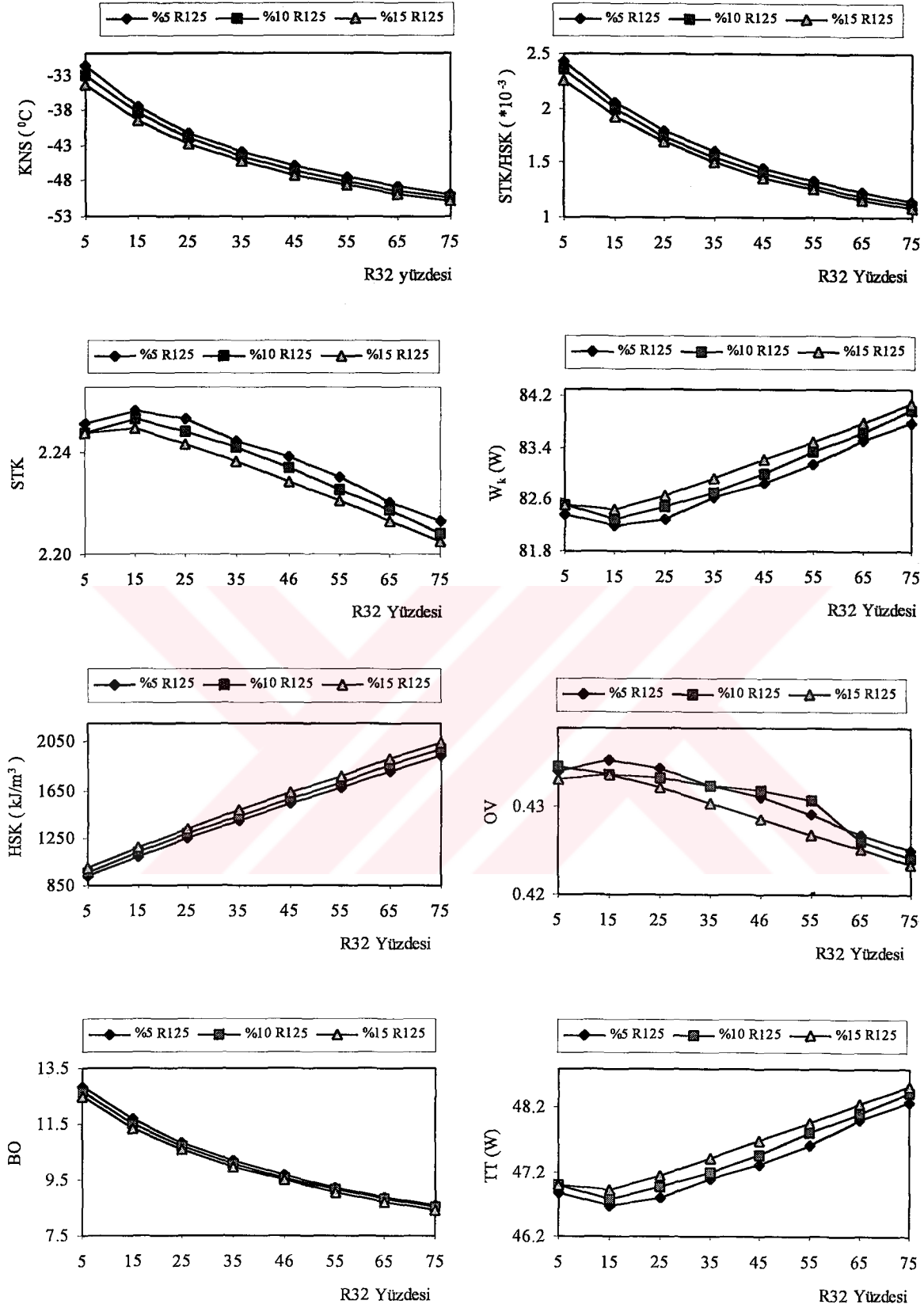
R32 ve R125 yüzdelerinin artmasıyla KNS değerleri düşmektedir.

%15'lik R32 oranlarında en yüksek STK değeri elde edilen bu üçlü karışımda, daha sonra R32 oranının artması ile STK değeri düşmektedir. R125 oranının artması ile de STK azalmaktadır. 15/5/80 oranında en yüksek STK değeri elde edilmektedir. (Çizelge Ek 1.27., Şekil 3.62.)

R32 ve R125 oranının artması ile HSK'da artış olmaktadır. Bu değişim KNS açısından beklenen bir durumdur. Yine KNS'ye uyumlu olarak BO değişimi R32 ve R125 oranının artması ile azalmaktadır.

Bu üçlünün 30/10/60 ve 10/70/20 oranlarındaki karışımı R22 için, 20/40/40 oranındaki karışımı ise R502 için alternatif karışım olarak kaynaklarda verilmektedir. R502'nin alternatifi olan karışımın HSK'sı R502'nin HSK'sından düşüktür. Bu sebeple mevcut sistemlerde R502 yerine kullanılması beklenemez. R22 için verilen alternatif karışımlar mevcut sistemlerde kullanılabilir. Özellikle 30/10/60 oranındaki karışımın HSK'sı hemen hemen R22'nin HSK'sı ile aynıdır.

STK/HSK değişimi beklendiği gibi KNS ve BO değişimi ile aynı şekildedir. W_k değişimi STK'nın tersi yönde gelişmekte, OV değişimi ise STK ile aynı davranışı göstermektedir. TT değişimi de beklendiği gibi W_k ile aynı şekilde davranmaktadır.



Şekil 3.62. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

3.3.2.11. R125/R290/R134a Karışımı

R290 ve R125 oranlarının artması ile genelde KNS değerleri azalmaktadır. (Çizelge Ek 1.28., Şekil 3.63.) STK değişimi ise KNS gibi R290 ve R125 oranlarının artması ile azalmakta, dolayısıyla beklenen değişim gözlenmektedir. 10/5/85 oranında en yüksek STK değeri elde edilmektedir. HSK değişimi de beklendiği şekilde R290 ve R125 oranlarının artması ile artış göstermektedir. 50/5/45, 70/10/20 oranlarındaki karışım R502 için alternatif karışım olarak teklif edilmektedir. 70/10/20 oranındaki karışım mevcut sistemlerde R502 yerine kullanılabilen diğer karışımın HSK değerinin düşük olması sebebiyle yeni sistemlerde kullanılması gerekmektedir.

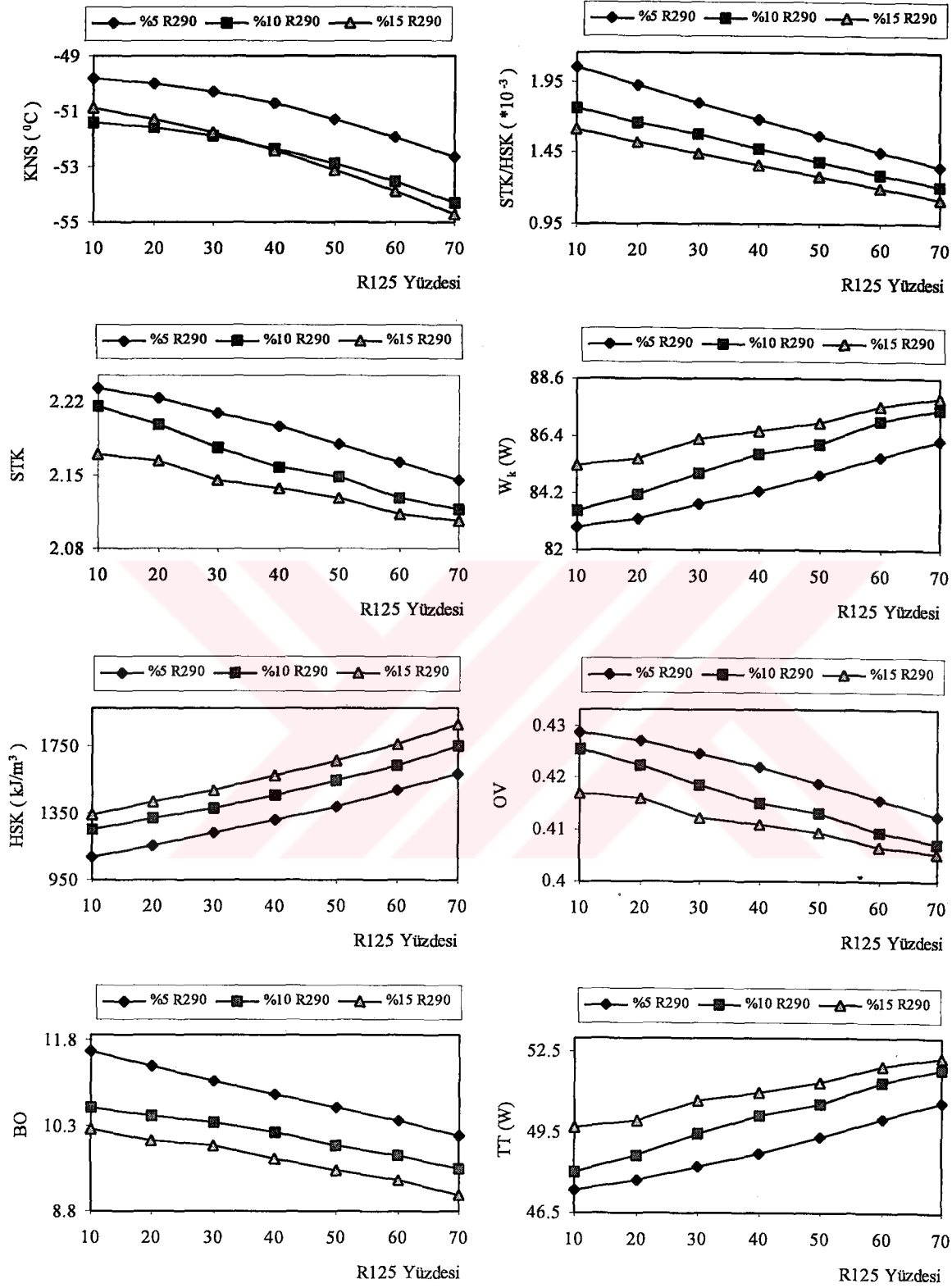
STK/HSK ve BO değişimleri ise KNS'ye uyumlu olarak iki bileşenin oranlarının artması ile azalmaktadır.

Kompresör işi ve TT değişimi STK ile zıt yönde değişmekte, OV değişimi ise STK ile benzer davranışı göstermektedir.

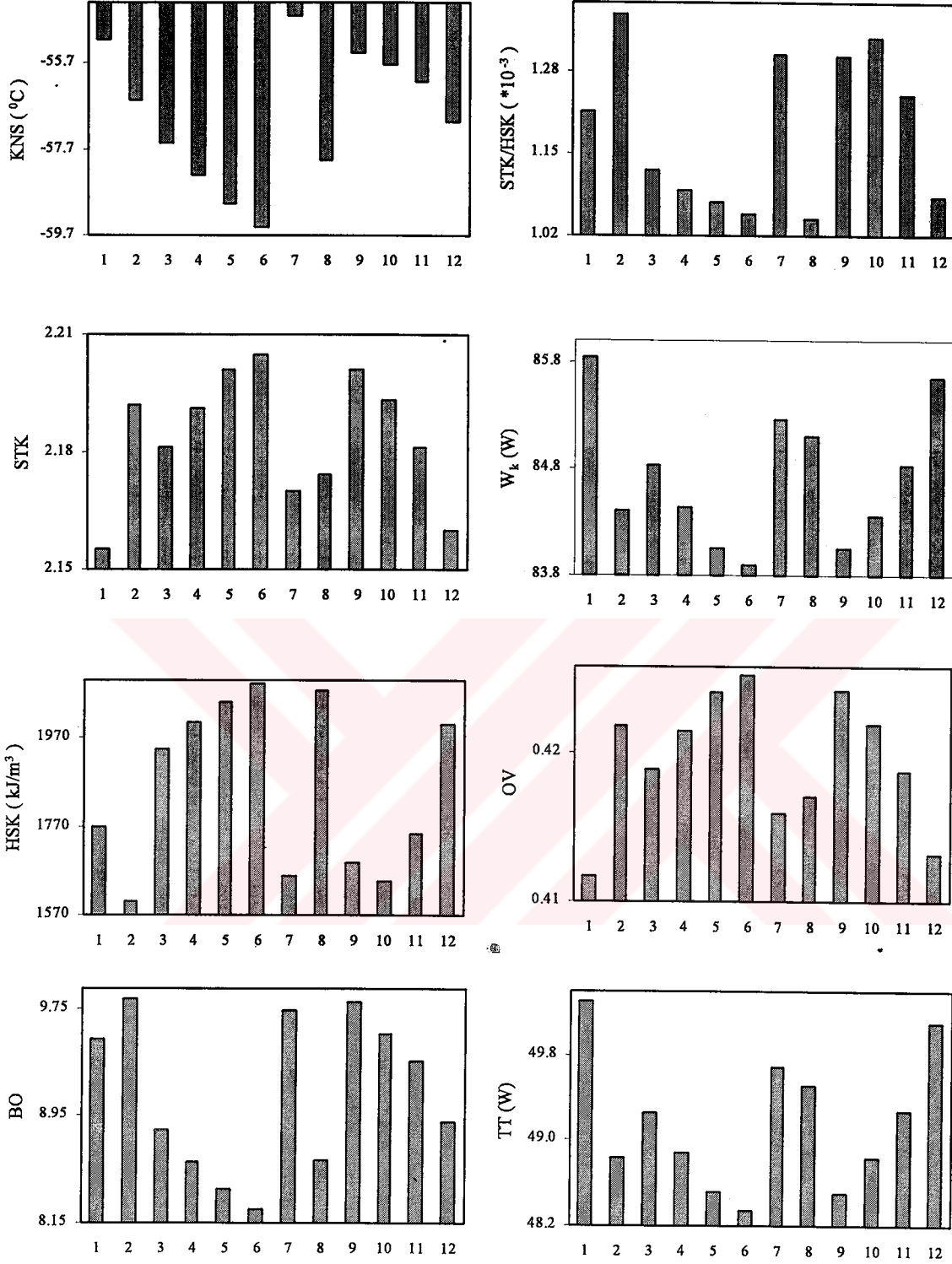
3.3.2.12. R32/R125/R290/R134a Karışımı

R290 oranı %5'de sabit tutulmuş, R290'la birlikte ayrı ayrı diğer bir bileşenin oranı sabit tutularak geri kalan diğer iki bileşenin oranı değiştirilmiştir. Bu şekilde elde edilen karışımlara ait hesaplamalar yapılmıştır. (Çizelge Ek 1.29., Şekil 3.64.)

%5 R290 ve %20 R134a oranı sabit tutulduğunda R32 oranının artması ile KNS'de düşme gözlenmektedir. Bu durumda genelde STK, HSK ve OV'de artış, STK/HSK, BO, W_k ve TT değişiminde ise genel itibariyle azalma olmaktadır; sadece



Şekil 3.63. Sabit soğutma yükünde R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi



Şekil 3.64. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R290/R134a karışımı için termodinamik ve performans değerlerinin kütle oranıyla değişimi

20/55/5/20 karışımı her iki grup için de farklı davranmaktadır. Bu karışım için görülebildiği kadarıyla tek fark buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda daha düşük sıcaklık farkının oluşmasıdır. Bu karışım kaynaklarda R22 için alternatif karışım olarak sunulmaktadır. Faz değişimindeki sıcaklık farkının az oluşu bir etken olarak düşünülebilir. HSK değeri R22'nin HSK değerinden yüksek olduğu için de mevcut sistemlerde kullanılması beklenir.

%5 R290 ve %55 R125 oranı sabit alındığında yine R32 oranı artınca KNS, STK/HSK, BO, W_k ve TT azalmakta diğerleri artmaktadır.

%5 R290 ve %20 R32 sabit oranında ise R125 oranı arttıkça KNS STK/HSK, BO, W_k ve TT düşmekte, diğerleri artmaktadır. Sadece STK/HSK ve HSK'da ufak sıradışılık vardır. 60/15/5/20 oranındaki karışımda en yüksek STK değeri elde edilmektedir.

3.3.3. R12, R22, R502 ve Alternatifi Karışımların İncelenmesi

Alternatif karışımlar için şekillerdeki numaralandırmada, çizelgede verilen karışımın numaralandırması esas alınmıştır. Çizelgedeki sıralama KNS'nin azalması yönündedir.

3.3.3.1. R12 ve Alternatif Karışımları

Alternatif olarak 12 tane karışım kaynaklardan^(30,38,40,43,49) alınmıştır. Bunlardan 9 tanesi R290/R600a'nın farklı oranlarda karışımıdır. KNS'ye uygunluk

açısından bu ikili diğer değerlerde beklenen değişimi göstermektedir. Fakat diğer alternatif karışımlarda farklı değişimler sözkonusudur. (Çizelge Ek 1.30., Şekil 3.65.)

STK açısından R12'den daha düşük değerde olan alternatif karışımlar R152a/R134a (14/86), R600a/R134a (18/82), R290/R134a (5/95), R290/R600a (80/20, 90/10)'dır. Diğer karışımların STK'ları R12'ninkinden yüksektir. En yüksek STK değeri R290/R600a (40/60)'da, en düşük değer ise R600a/R134a'da elde edilmektedir.

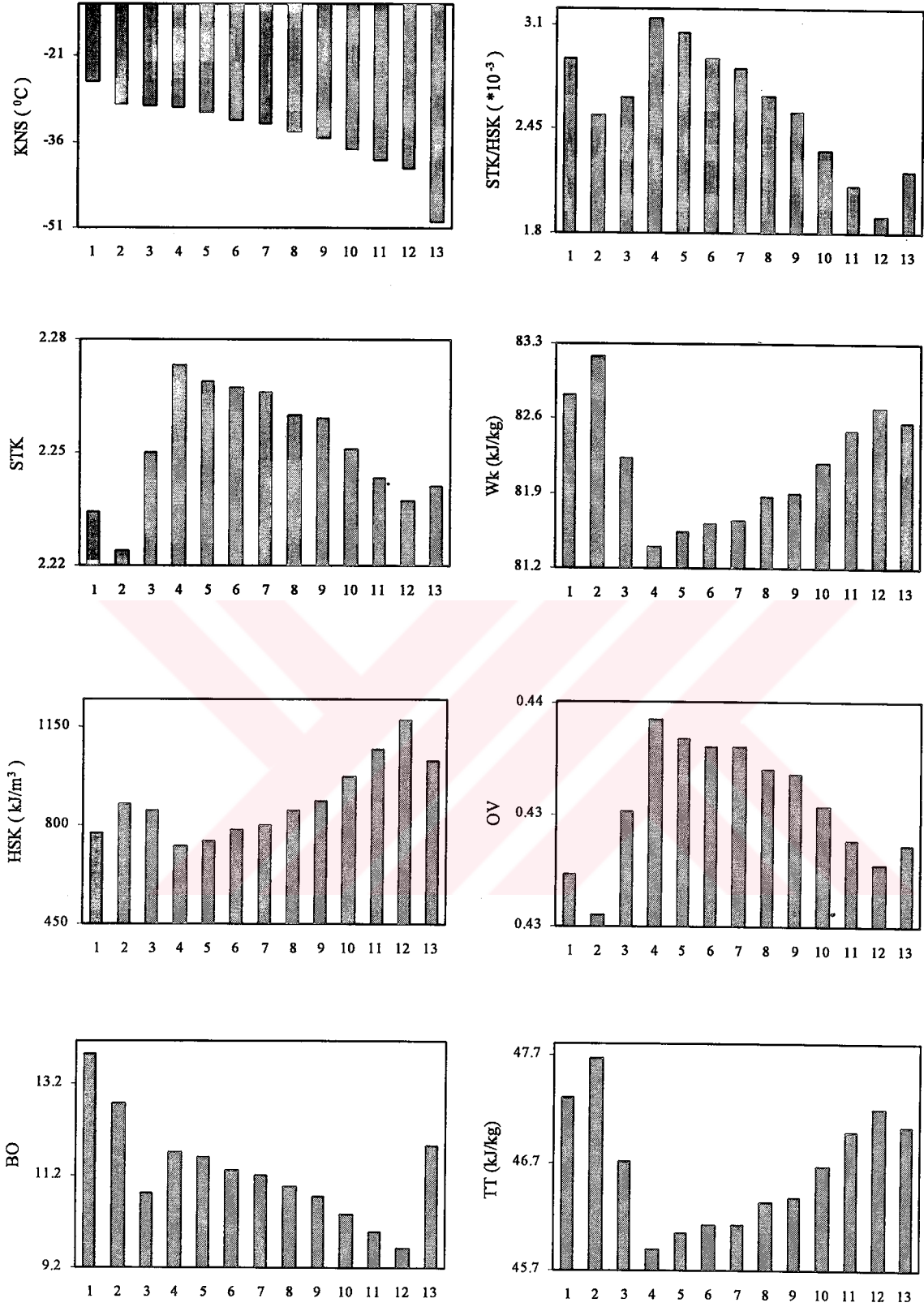
R12'den düşük HSK'ya sahip olan alternatifler R152a/R134a, R290/R600a (40/60, 43/57, 48/52, 50/50)'dır. En yakın HSK değeri R290/R600a (56/44) karışımında elde edilmektedir. STK ve HSK beraber düşünülduğünde mevcut sistemler için en uygunu R290/R600a (56/44) karışımı gözükmektedir.

OV değişimi ise beklendiği gibi STK ile benzerlik taşımaktadır. TT değişimi de OV ve STK ile zıt yönde olmakta, dolayısıyla en az tersinmezlik R290/R600a (40/60)'da elde edilmektedir.

3.3.3.2. R22 ve Alternatif Karışımları

R22'den daha yüksek STK'ya sahip olan alternatifler^(8,33,34) R32/R134a (25/75, 30/70), R32/R125/R134a (30/10/60) karışımlarıdır. En yüksek STK değeri R32/R134a (25/75)'de elde edilmektedir. En düşük değer ise R32/R125/R134a (10/70/20) karışımında elde edilmektedir. (Çizelge Ek 1.31., Şekil 3.66.)

R22'ye en yakın HSK değeri R32/R125/R134a (30/10/60) karışımında elde edilmektedir. R32/R134a (25/75, 30/70) karışımlarında R22'ye göre daha düşük



Şekil 3.65. Sabit soğutma yükünde R12 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi

HSK değeri olduğu için mevcut sistemlerde kullanılması beklenmez. STK ve HSK birarada düşünöldüğünde mevcut sistemlerde en uygun karışım, HSK'sı da yakın değerde olan R32/R125/R134a (30/10/60) karışımıdır.

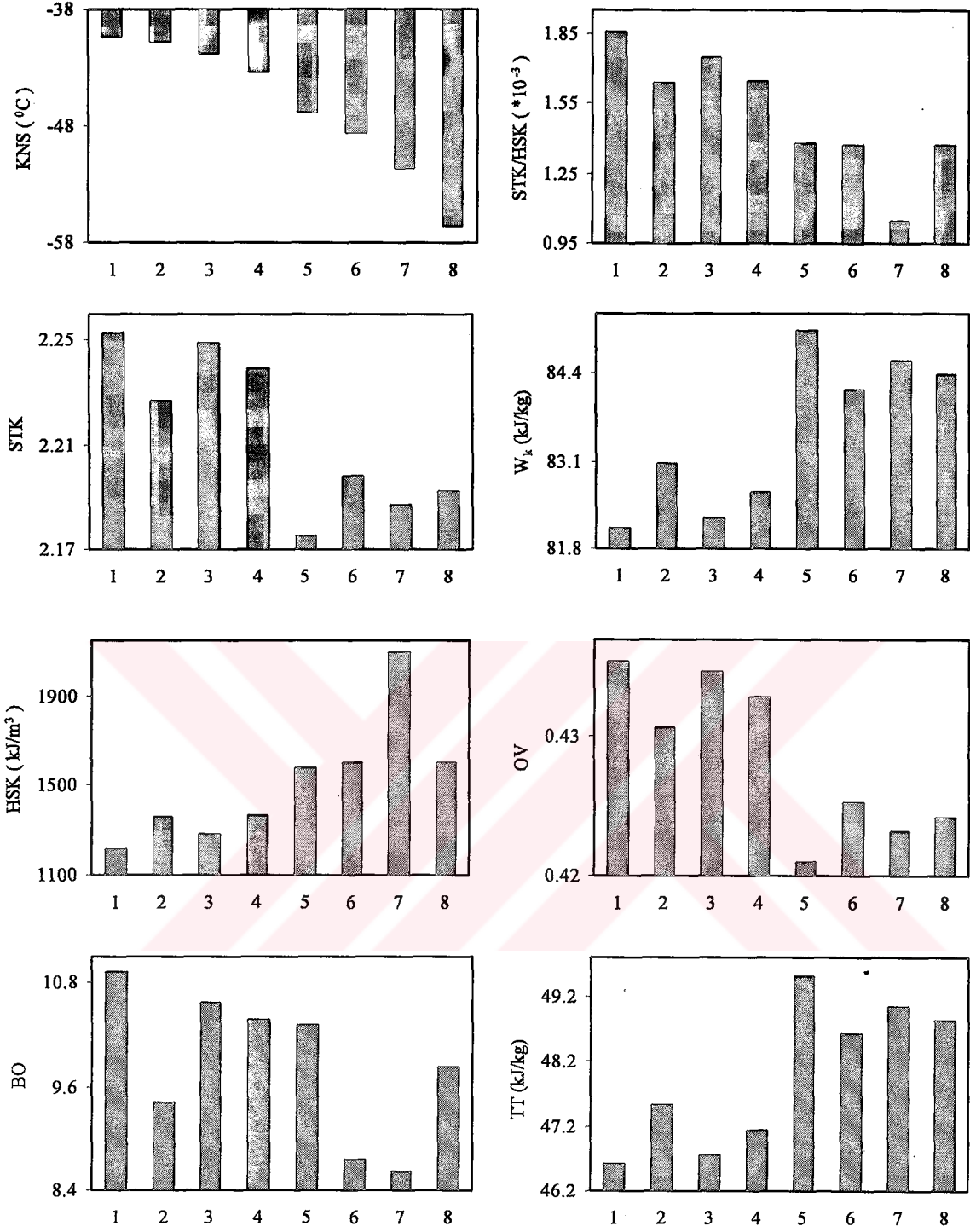
OV değışimi STK ile aynı olmakta, TT değışimi ise STK ve OV ile ters yönlü gerçekleşmektedir.

3.3.3.3. R502 ve Alternatif Karışimleri

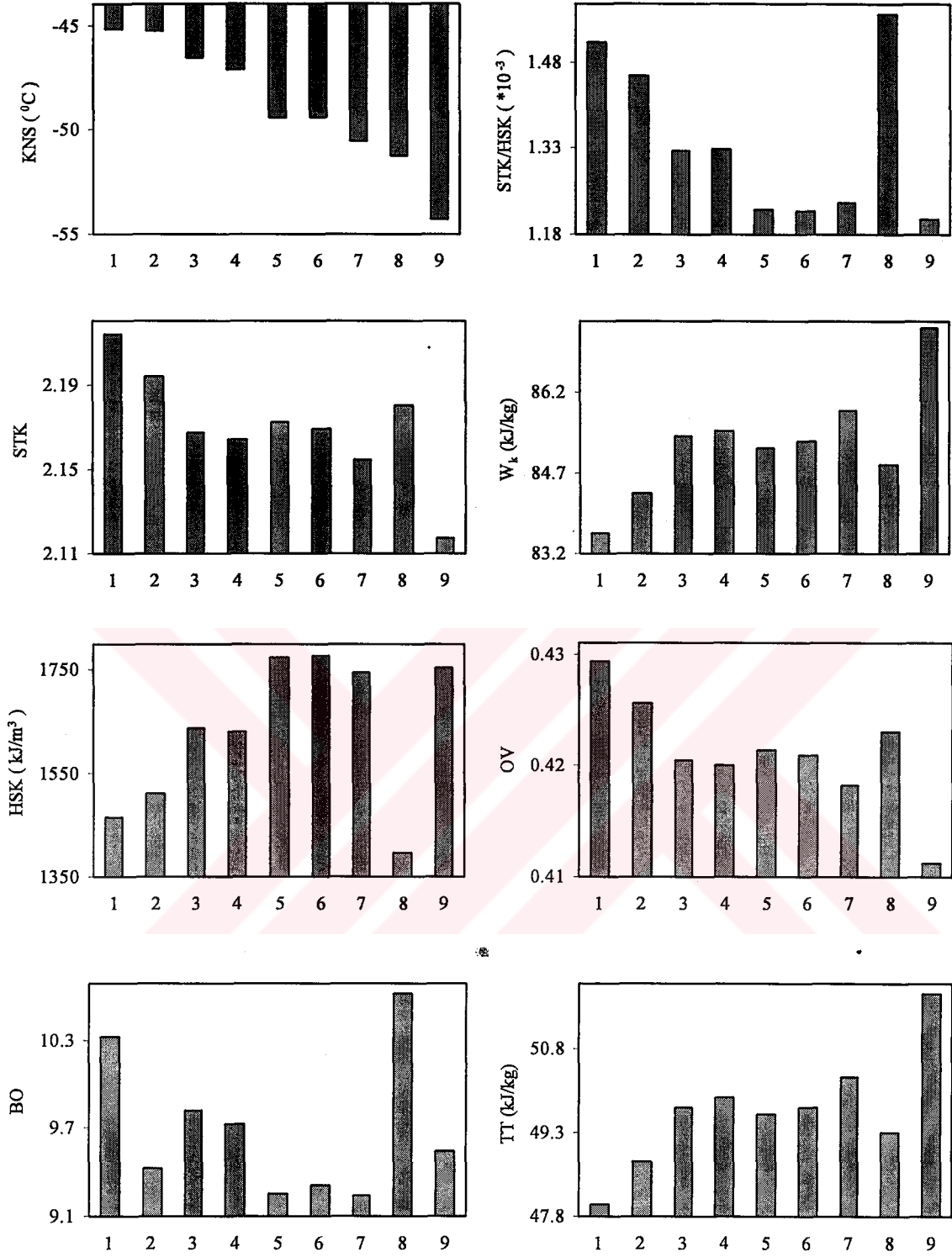
STK değışimi az da olsa KNS değışimine uymaktadır. R502'nin STK değerinden yüksek STK değeri sadece R32/R125/R134a (20/40/40) karışımında elde edilmekte ve bu değer en yüksek STK değeri olmaktadır. Diğer karışimler R502'ye göre daha düşük STK değerlere sahip olmakta, en düşük değer ise R125/R290/R134a (70/10/20) karışımında elde edilmektedir. (Çizelge Ek 1.32., Şekil 3.67.)

En yüksek STK değerine sahip karışımın ve R125/R290/R134a (50/5/45) karışımının HSK değeri, R502'nin HSK değerinden düşüktür. Dolayısıyla bu karışimların mevcut sistemlerde kullanılması beklenmez. HSK ve STK beraberce düşünöldüğünde mevcut sistemler için R32/R125/R143a (10/50/40) karışımı avantajlı gözükmektedir.

OV değışimi STK ile paralel, TT değışimi ise STK ve OV ile ters yönlü gerçekleşmektedir.



Şekil 3.66. Sabit soğutma yükünde R22 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi



Şekil 3.67. Sabit soğutma yükünde R502 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerlerinin değişimi

3.3.4. HSK Eşitlemeleri

Mevcut soğutma sistemlerinde R12, R22 ve R502'nin yerine başka bir akışkanı kullanabilmenin ancak akışkanların HSK'larının birbirine çok yakın olması ile mümkün olabileceği söylenmişti. Çalışma konusu yapılan karışımlar bu amaçla da incelenmiştir. Örneğin R12'nin HSK'sına en yakın HSK değerinin, alternatifi olarak teklif edilen R290/R600a karışımının hangi oranında elde edildiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde R22 ve R502 yerine teklif edilen karışımların, HSK'ları eşit olacak şekilde ilgili karışım oranları da belirlenmiştir.

R12 alternatiflerinden R152a/R134a karışımının hiçbir oranında HSK değeri, R12'nin HSK değerine yaklaşmamaktadır. R290/R134a karışımının %1-1.5'lik R290 oranında, azeotrop bir karışım olan R600a/R134a karışımının 8/92 ve 26/74 oranlarında, R290/R600a'nın 56/44 oranında R12'nin HSK değerine ulaşabilmektedir. Bunlar içinde R290/R600a karışımının STK değeri R12'ninkinden yüksek çıkmaktadır. Dolayısıyla mevcut sistemlerde bu karışımın kullanılması önerilebilir.

R22 alternatiflerinden R290/R134a'nın 19/81 oranında, R32/R134a'nın 35.2/64.8 oranında, R32/R125/R134a'nın 32.5/5/62.5, 30/10/60 ve 27.1/15/57.9 oranlarında HSK değerleri yaklaşık olarak eşitlenmektedir. R32/R125/R290/R134a dördümlü karışımında R22'nin HSK değerine ulaşamamaktadır. R32/R134a ve R32/R125/R134a karışımının yukarıda verilen oranlarında R22'ye göre daha yüksek, R290/R134a karışımında ise daha düşük STK değerleri elde edilmektedir. R32/R134a karışımı en yüksek değere sahiptir, çok az bir farkla bunu

R32/R125/R134a (32.5/5/62.5) karışımı takip etmektedir. Böylece mevcut sistemlerde R22 yerine kullanılacaksa R32/R134a karışımının kullanılması beklenir.

R502 alternatiflerinden R32/R125/R134a'nın 43/5/52, 40/10/50 ve 37/15/48 oranlarında, R125/R290/R134a'nın 62/5/33, 46.3/10/43.7 ve 31.7/15/53.3 oranlarında HSK değerleri yaklaşık olarak eşitlenmektedir. R502'nin alternatifi olarak görülebildiği kadarıyla kaynaklarda verilmemesine rağmen, R32/R134a karışımının 46/54 oranında ve R290/R134a'nın 69/31 oranında HSK değerleri R502'nin HSK değerlerine oldukça yaklaşmaktadır. R125/R143a/R290, R125/R143a/R134a ve R125/R143a karışımlarında R502'nin HSK değerine ulaşamamaktadır. R125/R290/R134a'nın yukarıda verilen oranlarında, R502'ye göre daha düşük STK değerleri elde edilmektedir. R32/R125/R134a, R32/R134a ve R290/R134a'nın yukarıda verilen oranlarında ise R502'ye göre daha yüksek STK değerleri bulunmaktadır. Bunlardan R32/R134a karışımı en yüksek değerdedir. Böylece mevcut sistemlerde R502 yerine bu karışımın kullanılması uygun olur.

4. SONUÇ

İki farklı soğutma çevriminde iki farklı karşılaştırma yöntemiyle soğutucu akışkan ve karışımlarının performansı belirlenmiştir.

Sabit sıcaklık yöntemine dayalı hesaplamalarda sabit soğutma yüküne göre daha yüksek STK değerleri elde edilmektedir. Daha önce de söylendiği gibi sabit soğutma yüküne dayalı hesaplama yöntemi, gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Bu yöntemde STK değerleri 2.1 ile 2.27 arasında değişmektedir. Sabit sıcaklık yönteminde ise STK değerleri 2.6 ile 6.9 arasında değişmektedir. Düşük değerler -20°C'lik buharlaştırıcı sıcaklığına, yüksek değerler de 0°C'lik buharlaştırıcı sıcaklığına ait değerlerdir. STK büyüklük sıralaması açısından sabit soğutma yükü ile sabit sıcaklık yöntemi bazen farklı sonuç verebilmektedir. Örneğin saf akışkanlarda sabit soğutma yükünde sıralama R12>R152a>R290 şeklinde iken, sabit sıcaklık yönteminde R600a>R152a>R134a şeklinde gerçekleşmektedir. Benzer örnekler, karışımlar için de verilebilir.

Saf akışkanların STK değerleri, azeotroplar haricinde karışımlara ait STK'ların oluşumunda belirleyici olmaktadır. Örneğin R125'in STK değeri R143a'ninkinden küçüktür. R125/R143a karışımında ise R125 oranı arttıkça STK değeri düşmektedir. Benzer şekilde R32/R125/R143a karışımında sabit R32 oranı için R125 oranı arttıkça STK değeri düşmektedir. Azeotrop bir karışımlarda karışım bileşenlerinin STK değerlerinden yüksek STK değeri elde edilebilmektedir. Yukarıda bahsedilen örnekler sabit soğutma yüküne ait idi. Sabit sıcaklık yönteminde de bu durum geçerlidir.

OV değerleri sabit sıcaklık yönteminde 0.56 ile 0.8 arasında değişmekte, yüksek değerler genel itibariyle ısı değiştiricili çevrimde elde edilmektedir. Sabit soğutma yükünde ise 0.4 ile 0.44 arasında değişmektedir. OV değişimi sabit soğutma yükünde STK değişimi ile paralel gitmektedir. Soğutma yükünün sabit olması dolayısıyla STK ile W_k ters orantılı davranış göstermekte, W_k da OV hesabında işleme katılmaktadır. Sabit sıcaklık yönteminde ise soğutma yükü değişken olduğu için hem W_k hem de OV değişimi STK ile değişken bir davranış göstermektedir.

Bu çalışmaya esas alınan referansların ilgi alanıyla sınırlı kalmak üzere karışımları bu kadar geniş aralıktaki inceleyen çalışma olmamıştır. Daha nceki çalışmalar genelde R12, R22 veya R502 ile bunların alternatifi olarak teklif edilen üç veya dört karışımdan oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar genel olarak kaynaklarda dar çerçevede bulunan sonuçlarla uyum sağlamaktadır. Örneğin R22 ile R32/R134a (25/75) karışımının performans açısından bir karışılaştırmasının yapıldığı çalışmada⁽²⁹⁾, karışımın STK'sının R22'den büyük olduğu tespit edilmiştir. R12 ile R290/R134a (5/95) karışımının karışılaştırıldığı bir başka çalışmada⁽³⁸⁾, R12'nin STK değeri daha yüksek bulunmuştur. Yine aynı çalışmada R502'nin STK değeri, R125/R290/R134a (70/10/20, 50/5/45) karışımlarından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar bu tez çalışmasında elde edilen bulgularla örtüşmektedir. Karışılaştırma yöntemlerinin farklı olması dolayısıyla kaynaklarla uyuşmayan sonuçlar az da olsa ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda verilen daha önceki çalışmalarla ilgili değerlendirmeler, ağırlıklı olarak sabit soğutma yüküne dayalı hesaplamalar için geçerlidir. Önceden de söylendiği gibi bu yöntem gerçek değerlere oldukça yakın sonuçlar vermekte,

dolayısıyla deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumaktadır. Sabit sıcaklık yöntemi ile, kaynaklarda verilenlerden farklı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Örneğin R22'nin STK değeri R32/R134a (25/75) karışımından yüksek olmaktadır.

KNS sıralaması ile HSK ve BO sıralamasının (ayrıca dolaylı olarak STK sıralamasının) uyumlu olması beklenmekte iken, özellikle azeotrop karışımlarda farklı durumlar ortaya çıkmaktadır. STK/HSK oranının bu anlamda daha düzenli değişim gösterdiği gözlenmektedir.

Literatürde verilen alternatif karışımlar içinde;

-R12 için en uygunu R290/R600a (40/60) karışımı,

-R22 için en uygunu R32/R134a (25/75) karışımı,

-R502 için en uygunu R125/R290/R134a (50/5/45) karışımıdır.

İnceleme konusu yapılan karışımların kendi içlerinde maksimum STK'yı veren oranlar seçildiğinde HSK değerlerinin çok geniş bir aralığa (549-2166 kJ/m³) dağıldığı gözlenmektedir. Böylece bu tür bir değerlendirme sağlıklı sonuç vermemektedir. Şöyle ki; sabit soğutma yüküne dayalı hesaplamalarda bütün karışımlar dikkate alındığında herbir karışım için en yüksek STK değerleri sırasıyla;

-R600a/R134a (80/20) karışımı (HSK=549 kJ/m³),

-R32/R134a (20/80) karışımı (HSK=1137.7 kJ/m³),

-R32/R125/R134a (15/5/80) karışımı (HSK=1093 kJ/m³),

-R152a/R134a (90/10) karışımı (HSK=725 kJ/m³),

-R290/R134a (90/10) karışımı (HSK=1370 kJ/m³),

-R125/R290/R134a (10/5/85) karışımı (HSK=1091 kJ/m³),

-R32/R125 (80/20) karışımı (HSK=2166 kJ/m³),

-R32/R125/R143a (20/10/70) karışımı (HSK=1868 kJ/m³),

-R125/R143a/R134a (15/75/10) karışımı (HSK=1522 kJ/m³),

-R125/R143a (10/90) karışımı (HSK=1616 kJ/m³),

-R125/R143a/R290 (10/85/5) karışımı (HSK=1678 kJ/m³),

Mevcut sistemlerde kullanılacak karışımların HSK'ları, yerine kullanılacağı akışkanın HSK'sı ile yakın değerde olmalıdır. Bu şekilde tespit edilen karışımlar içinde;

-R12 için en uygunu R290/R600a (56/44) karışımı,

-R22 için en uygunu R32/R134a (35.2/64.8) karışımı

-R502 için ise en uygunu R32/R134a (46/54) karışımıdır.



KAYNAKLAR

1. Ch. Trepp, P. Savoie and W. E. Kraus, *Int. J. Refrig.*, **15**, 101(1992).
2. M. Barolo, A. Bertucco and G. Scalabrin, *Int. J. Refrig.*, **18**, 550(1995).
3. R. C. Reid , J. M. Prausnitz, T. K. Sherwood, *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw Hill Co. Inc., New York, 1988.
4. E. W. Lemmon, A generalized model for the prediction of the thermodynamic properties of mixtures including vapor-liquid equilibrium, *Doktora Tezi*, USA, 1996.
5. M. Nagel and K. Bier, *Int. J. Refrig.*, **21**, 556(1998).
6. H. Kiyouro, J. Takebe, H. Uchida, H. Sato and K. Watanebe, *J. Chem. Eng. Data*, **41**, 1409(1996).
7. E. Chung and M. Kim, *J. Chem. Eng. Data*, **42**, 1126(1997).
8. M. Nagel and K. Bier, *Int. J. Refrig.*, **18**, 534(1995).
9. K. Strom and U. Gren, *Can. J. Chem. Eng.*, **71**, 940(1993).
10. E. Fransson, A. Barreau and J. Vidal, *J. Chem. Eng. Data*, **37**, 521(1992)
11. J. Sand, S. Fischer and J. Jones, *Int. J. Refrig.*, **17**, 123(1994).
12. G. Morrison and M. McLinden, *Int. J. Refrig.*, **16**, 129(1993).
13. D. Defibaugh and G. Morrison, *Int. J. Refrig.*, **18**, 518(1995).
14. Y. W. Kang and K. Y. Chung, *J. Chem. Eng. Data*, **41**, 443(1996).
15. H. Zhang, H. Sato and K. Watanabe, *J. Chem. Eng. Data*, **41**, 1041(1996).
16. E.Chung and M.Kim, *J. Chem. Eng. Data*, **42**, 1126(1997).
17. H.Kiyoura, J. Takebe, H. Uchida, H. Sato and K. Watanebe, *J. Chem. Eng. Data*, **41**, 1409(1996).

18. T.Sato, H. Kiyoura, H. Sato and K. Watanabe, *J. Chem. Eng. Data*, **39**, 855(1994).
19. K.Strom and U.Gren, *Can. J. Chem. Eng.*, **71**, 940(1993).
20. R.T.Roth, *J. Chem. Therm.*, **25**, 1419(1993).
21. J. Lee, H. Kim, J. S. Lim, J. Kim and Y. Y. Lee, *J. Chem. Eng. Data*, **41**, 43(1996).
22. E. Fransson, A. Barreau and J. Vidal, *J. Chem. Eng. Data*, **37**, 521(1992).
23. M. Nagel and K. Bier, *Int. J. Refrig.*, **18**, 534(1995).
24. M. Nagel and K. Bier, *Int. J. Refrig.*, **19**, 264(1996).
25. H. L. Zhang, H. Sato and K. Watanabe, *Int. J. Refrig.*, **20**, 421(1997).
26. D. Gunther and F. Steimle, *Int. J. Refrig.*, **20**, 235(1997).
27. M. O. McLinden and R. Radermacher, *Int. J. Refrig.*, **10**, 318(1987).
28. M. Hogberg, L. Vamling and T. Berntsson, *Int. J. Refrig.*, **16**, 403(1993).
29. D. Jung, H. Kim and O. Kim, *Int. J. Refrig.*, **22**, 402(1999).
30. R. Richardson and J. Butterworth, *Int. J. Refrig.*, **18**, 58(1995).
31. W. J. Mulroy, P. A. Domanski and D. A. Didion, *Int. J. Refrig.*, **17**, 220(1994).
32. D. A. Didion and D. B. Bivens, *Int. J. Refrig.*, **13**, 163(1990).
33. M. S. Kim, W. J. Mulroy and D. A. Didion, *J. En. Res. Tech.*, **116**, 148(1994).
34. A. Stegou-Sagia and M.Damanakis, *Energy Conv. Manag.*, **41**, 1345(2000).
35. Ö. Çomaklı, C. Çelik and S.Erdoğan, *Energy Conv. Manag.*, **40**, 193(1999).
36. Y. S. Chang, M. S. Kim and S. T. Ro, *Int. J. Refrig.*, **23**, 232(2000).
37. F. Rossi and R. Mastrullo, *Appl. Energy*, **38**, 163(1991).
38. R. Camporese, G. Bigolaro, S. Bobbo and G. Cortella, *Int. J. Refrig.*, **20**, 22(1997).
39. G. G. Haselden and J. Chen, *Int. J. Refrig.*, **17**, 343(1994).

40. C. Aprea and R. Mastrullo, *Int. J. Refrig.*, **19**, 257(1996).
41. J. M. Calm and D. Didion, *Int. J. Refrig.*, **21**, 308(1998).
42. E. W. Lemmon and R. T. Jacobsen, *Int. J. Thermophysics*, **20**, 1629(1999).
43. S. Devotta, S. Gopichand and V. R. Pendyala, *Int. J. Refrig.*, **16**, 84(1993).
44. D. Jung and R. Radermacher, *Int. J. Refrig.*, **14**, 223(1991).
45. D. Jung and R. Radermacher, *Int. J. Refrig.*, **14**, 254(1991).
46. S. A. Klein, D. T. Reindl and K. Brownell, *Int. J. Refrig.*, **23**, 588(2000).
47. N. Churi and L. E. K. Achenie, *Comp. Chem. Engng.*, **21**, 349(1997).
48. D. Jung, C. Kim, K. Song and B. Park, *Int. J. Refrig.*, **23**, 517(2000).
49. D. Jung, B. Park and H. Lee, *Int. J. Refrig.*, **22**, 558(1999).
50. D. B. Bivens and B. H. Minor, *Int. J. Refrig.*, **21**, 567(1998).
51. A. Bensafi and G. G. Haselden, *Int. J. Refrig.*, **17**, 469(1994).
52. A. Karakaş, N. Eğrican and S. Uygur, *Solar Energy*, **37**, 169(1990).
53. S. K. Chaturvedi, T. O. Mohieldin and D. T. Chen, *Energy*, **16**, 941(1991).
54. H. Liang and T. H. Kuehn, *Energy*, **16**, 883(1991).
55. S. M. Zubair, M. Yaqub and S. H. Khan, *Int. J. Refrig.*, **19**, 506(1996).
56. D. W. Shao and E. Granryd, *Int. J. Refrig.*, **21**, 230(1998).
57. NIST Thermodynamics Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures Database (REFPROP), Standart Reference Database 23, Version 4.0, Gaithersburg, MD 20899, Nov.1993
58. NIST Thermodynamics Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures Database (REFPROP), Standart Reference Database 23, Version 6.01, Gaithersburg, MD 20899, 1996
59. Y.A.Çengel and M. A. Boles, *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Çev.T:Derbentli, İstanbul, 1996.

60. P. A. Domanski and D. A. Didion, *Int. J. Refrig.*, **17**, 487(1994).
61. ASHRAE Temel El Kitabı, Bölüm 16:Soğutucu Akışkanlar, Çev:O. Genceli, 1997.
62. R. G. Richard and I. R. Shankland, *ASHRAE J.*, **20**(1992).
63. S. Devotta, S. Gopichand and V. R. Pendyala, *Int. J. Refrig.*, **17**, 32(1994).
65. M. Hogberg and T. Berntsson, *Int. J. Refrig.*, **17**, 417(1994).
66. Peter Rohlin, Zeotropik refrigerant mixtures in systems and in flow boiling, Doktora Tezi, Sweden, 1996.
67. M. O. McLinden, E. W. Lemmon and R. T. Jacobsen, *Int. J. Refrig.*, **21**, 322(1998).
68. R. T. Roth and H. D. Baehr, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **23**, 657(1994).
69. R. T. Roth, *J. Chem. Thermodynamics*, **25**, 1419(1993).
70. J. M. Smith and H. C. Ness, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, McGraw Hill Co. Inc., New York, 1987.
71. A. R. Büyüktür, *Termodinamik*, Uludağ Üniv. Basımevi, Bursa, 1992.
72. Öztürk A., Kılıç A., *Termodinamik Problemleri*, Seç Dağıtım, İstanbul, 1987.
73. M. J. Moran and E. Sciubba, *J. Eng. Gases and Power*, **116**, 285(1994).
74. T. J. Kotas, *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, London Butterworths, 1985.
75. W. F. Stoecker, *Design of Thermal Systems*, McGraw Hill Co. Inc., New York, 1989.

Çizelge Ek 1.1. Sabit sıcaklıkta saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerleri

| Soğutucu Akışkan | KNS °C | T _b °C | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | | |
|---------------------|-----------|----------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|--------|
| | | | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik |
| R600a | -11.61 | -20 | 3.869 | 550.561 | 6.454 | 7.027 | 84.848 | 0.7925 | 17.605 | | | | | | | | |
| | | -10 | 5.053 | 829.759 | 4.304 | 6.09 | 64.714 | 0.8036 | 12.707 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.927 | 1211.38 | 2.969 | 5.718 | 46.952 | 0.8077 | 9.0279 | | | | | | | | |
| R152a | -24.02 | -20 | 3.658 | 917.477 | 6.584 | 3.987 | 63.129 | 0.7493 | 15.828 | | | | | | | | |
| | | -10 | 4.842 | 1391.59 | 4.376 | 3.479 | 49.183 | 0.7701 | 11.309 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.716 | 2046.41 | 3.009 | 3.282 | 36.496 | 0.7831 | 7.9144 | | | | | | | | |
| R134a | -26.07 | -20 | 3.476 | 931.633 | 6.689 | 3.731 | 39.573 | 0.7119 | 11.399 | | | | | | | | |
| | | -10 | 4.643 | 1440.43 | 4.425 | 3.223 | 30.943 | 0.7384 | 8.0945 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.494 | 2155.77 | 3.031 | 3.012 | 23.036 | 0.7573 | 5.5917 | | | | | | | | |
| R12 | -29.75 | -20 | 3.571 | 996.193 | 5.621 | 3.585 | 30.68 | 0.7314 | 8.239 | | | | | | | | |
| | | -10 | 4.745 | 1473.59 | 3.871 | 3.22 | 24.069 | 0.7545 | 5.9078 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.602 | 2118.82 | 2.748 | 3.116 | 17.981 | 0.7698 | 4.1387 | | | | | | | | |
| R22 | -40.81 | -20 | 3.554 | 1659.14 | 5.528 | 2.142 | 43.336 | 0.7278 | 11.794 | | | | | | | | |
| | | -10 | 4.707 | 2419.81 | 3.821 | 1.945 | 33.598 | 0.7485 | 8.449 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.533 | 3435.01 | 2.722 | 1.902 | 24.795 | 0.7618 | 5.9064 | | | | | | | | |
| R290 | -42.09 | -20 | 3.425 | 1419.8 | 4.987 | 2.412 | 75.356 | 0.7016 | 22.486 | | | | | | | | |
| | | -10 | 4.57 | 2057.42 | 3.53 | 2.221 | 59.02 | 0.7267 | 16.13 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.384 | 2907.81 | 2.568 | 2.195 | 44.011 | 0.7444 | 11.247 | | | | | | | | |
| R502 | -45.26 | -20 | 3.27 | 1617.72 | 5.188 | 2.021 | 29.823 | 0.6703 | 9.832 | | | | | | | | |
| | | -10 | 4.386 | 2381.03 | 3.639 | 1.842 | 23.262 | 0.6982 | 7.021 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.159 | 3413.13 | 2.627 | 1.805 | 17.261 | 0.7187 | 4.8551 | | | | | | | | |
| R143a | -47.22 | -20 | 3.173 | 1696.51 | 5.156 | 1.87 | 38.192 | 0.6499 | 13.373 | | | | | | | | |
| | | -10 | 4.269 | 2502.2 | 3.626 | 1.706 | 29.693 | 0.679 | 9.5329 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.013 | 3598.25 | 2.622 | 1.671 | 21.951 | 0.7011 | 6.5604 | | | | | | | | |
| R125 | -48.14 | -20 | 2.87 | 1606.5 | 5.26 | 1.786 | 26.211 | 0.5879 | 10.802 | | | | | | | | |
| | | -10 | 3.937 | 2437.81 | 3.678 | 1.6145 | 20.442 | 0.6261 | 7.644 | | | | | | | | |
| | | 0 | 5.637 | 3595.33 | 2.648 | 1.568 | 15.16 | 0.6573 | 5.1961 | | | | | | | | |
| R32 | -51.65 | -20 | 3.427 | 2727.2 | 5.4 | 1.257 | 71.399 | 0.7019 | 21.282 | | | | | | | | |
| | | -10 | 4.545 | 3927.95 | 3.76 | 1.157 | 54.511 | 0.7228 | 15.112 | | | | | | | | |
| | | 0 | 6.319 | 5518.82 | 2.694 | 1.145 | 39.566 | 0.7368 | 10.413 | | | | | | | | |

Çizelge Ek 1.2. Sabit sıcaklıkta R32/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R134a Karışımı | KNS (°C) | T _b (°C) | S TK | | HSK | | (kJ/m ³) BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|--------------------|----------|---------------------|--------|----------|--------|----------|-------------------------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. |
| 0/100 | -26.07 | -20 | 3.476 | 3.665 | 931.63 | 988.92 | 6.689 | 3.731 | 3.706 | 39.573 | 49.38 | 0.7119 | 0.7507 | 11.399 | 12.312 | |
| | | -10 | 4.643 | 4.813 | 1440.4 | 1505.2 | 4.425 | 3.223 | 3.198 | 30.943 | 37.354 | 0.7384 | 0.7654 | 8.0945 | 8.7622 | |
| 10/90 | -33.75 | 0 | 6.494 | 6.636 | 2155.8 | 2219.2 | 3.031 | 3.012 | 2.990 | 23.036 | 26.84 | 0.7573 | 0.7738 | 5.5917 | 6.0724 | |
| | | -20 | 3.237 | 3.361 | 1053 | 1098.8 | 7.261 | 3.074 | 3.059 | 45.709 | 57.066 | 0.6796 | 0.7144 | 14.645 | 16.296 | |
| 20/80 | -38.53 | -10 | 4.262 | 4.363 | 1617 | 1667.2 | 4.819 | 2.636 | 2.617 | 36.105 | 43.644 | 0.7 | 0.7257 | 10.833 | 11.972 | |
| | | 0 | 5.835 | 5.904 | 2405.2 | 2451.2 | 3.31 | 2.426 | 2.409 | 27.348 | 31.925 | 0.7111 | 0.7289 | 7.9005 | 8.6535 | |
| 30/70 | -41.83 | -20 | 3.123 | 3.198 | 1184.8 | 1217.3 | 7.445 | 2.636 | 2.627 | 50.786 | 63.426 | 0.6664 | 0.6929 | 16.942 | 19.476 | |
| | | -10 | 4.085 | 4.136 | 1807.5 | 1840.7 | 4.959 | 2.260 | 2.247 | 40.208 | 48.657 | 0.6843 | 0.7034 | 12.693 | 14.431 | |
| 40/60 | -44.26 | 0 | 5.543 | 5.561 | 2672.6 | 2698.4 | 3.417 | 2.074 | 2.061 | 30.605 | 35.788 | 0.6927 | 0.7056 | 9.4044 | 10.537 | |
| | | -20 | 3.073 | 3.108 | 1329.3 | 1346.4 | 7.399 | 2.312 | 2.308 | 55.104 | 68.861 | 0.6618 | 0.679 | 18.636 | 22.104 | |
| 50/50 | -46.15 | -10 | 4.01 | 4.019 | 2014.4 | 2028.2 | 4.948 | 1.991 | 1.982 | 43.574 | 52.799 | 0.6786 | 0.6898 | 14.005 | 16.378 | |
| | | 0 | 5.424 | 5.4 | 2960.6 | 2963.4 | 3.422 | 1.832 | 1.822 | 33.149 | 38.833 | 0.6859 | 0.6924 | 10.413 | 11.947 | |
| 60/40 | -47.67 | -20 | 3.062 | 3.063 | 1486.8 | 1486.6 | 7.219 | 2.059 | 2.060 | 58.816 | 73.57 | 0.6617 | 0.6697 | 19.899 | 24.3 | |
| | | -10 | 3.995 | 3.968 | 2237.8 | 2229.6 | 4.85 | 1.785 | 1.780 | 46.366 | 56.272 | 0.678 | 0.6814 | 14.929 | 17.931 | |
| 70/30 | -48.92 | 0 | 5.405 | 5.343 | 3268.9 | 3245.6 | 3.368 | 1.653 | 1.646 | 35.151 | 41.266 | 0.685 | 0.685 | 11.072 | 12.998 | |
| | | -20 | 3.08 | 3.048 | 1658 | 1638.1 | 6.962 | 1.858 | 1.861 | 62.002 | 77.663 | 0.6643 | 0.6637 | 20.815 | 26.12 | |
| 80/20 | -49.97 | -10 | 4.022 | 3.961 | 2478 | 2445 | 4.701 | 1.623 | 1.620 | 48.674 | 59.19 | 0.6806 | 0.6765 | 15.544 | 19.148 | |
| | | 0 | 5.452 | 5.353 | 3597 | 3544.5 | 3.279 | 1.516 | 1.510 | 36.71 | 43.201 | 0.6879 | 0.6816 | 11.458 | 13.754 | |
| 90/10 | -50.87 | -20 | 3.118 | 3.057 | 1843 | 1801 | 6.663 | 1.692 | 1.697 | 64.712 | 81.208 | 0.6689 | 0.6602 | 21.428 | 27.592 | |
| | | -10 | 4.081 | 3.986 | 2734.9 | 2674.1 | 4.524 | 1.492 | 1.491 | 50.555 | 61.626 | 0.6856 | 0.6744 | 15.895 | 20.066 | |
| 100/0 | -52.06 | 0 | 5.55 | 5.415 | 3944.6 | 3859.3 | 3.171 | 1.407 | 1.403 | 37.889 | 44.713 | 0.6935 | 0.6813 | 11.614 | 14.251 | |
| | | -20 | 3.174 | 3.083 | 2042.3 | 1975.5 | 6.346 | 1.554 | 1.561 | 66.981 | 84.251 | 0.6751 | 0.6589 | 21.764 | 28.739 | |
| 110/0 | -53.15 | -10 | 4.165 | 4.037 | 3008.4 | 2916.7 | 4.335 | 1.384 | 1.384 | 52.051 | 63.629 | 0.6924 | 0.6746 | 16.009 | 20.708 | |
| | | 0 | 5.689 | 5.516 | 4310.9 | 4189.3 | 3.054 | 1.320 | 1.317 | 38.735 | 45.856 | 0.7013 | 0.6834 | 11.568 | 14.518 | |
| 120/0 | -54.24 | -20 | 3.245 | 3.125 | 2256.2 | 2161.6 | 6.024 | 1.438 | 1.446 | 68.834 | 86.827 | 0.6827 | 0.6594 | 21.84 | 29.573 | |
| | | -10 | 4.271 | 4.11 | 3298.6 | 3172.6 | 4.141 | 1.295 | 1.295 | 53.192 | 65.237 | 0.701 | 0.6767 | 15.905 | 21.092 | |
| 130/0 | -55.33 | 0 | 5.865 | 5.653 | 4695.8 | 4534 | 2.933 | 1.249 | 1.247 | 39.279 | 46.665 | 0.7113 | 0.6877 | 11.342 | 14.574 | |
| | | -20 | 3.33 | 3.18 | 2485.1 | 2359.6 | 5.706 | 1.340 | 1.348 | 70.291 | 88.96 | 0.6918 | 0.6616 | 21.665 | 30.107 | |
| 140/0 | -56.42 | -10 | 4.398 | 4.203 | 3605.9 | 3442 | 3.948 | 1.220 | 1.221 | 53.998 | 66.474 | 0.7112 | 0.6806 | 15.595 | 21.232 | |
| | | 0 | 6.075 | 5.822 | 5099.4 | 4893.5 | 2.812 | 1.191 | 1.190 | 39.544 | 47.168 | 0.7232 | 0.694 | 10.948 | 14.433 | |

Çizelge Ek 1.2. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100/0 | -51.65 | -20 | 3.427 | 3.247 | 2727.2 | 2567.6 | 5.4 | 1.257 | 1.265 | 71.399 | 90.706 | 0.7019 | 0.665 | 21.282 | 30.388 |
| | -10 | | 4.545 | 4.313 | 3928 | 3722.5 | 3.76 | 1.157 | 1.159 | 54.511 | 67.384 | 0.7228 | 0.6859 | 15.112 | 21.162 |
| | 0 | | 6.319 | 6.021 | 5518.8 | 5264.7 | 2.694 | 1.145 | 1.144 | 39.566 | 47.399 | 0.7368 | 0.702 | 10.413 | 14.123 |

Çizelge Ek 1.3. Sabit sıcaklıkta R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R290/R134a Karışımı | KNS (°C) | T _b (°C) | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|---------------------|----------|---------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. |
| 0/100 | -26.07 | -20 | 3.476 | 3.665 | 931.63 | 988.92 | 6.689 | 3.731 | 3.706 | 39.573 | 49.38 | 0.7119 | 0.7507 | 11.399 | 12.312 | |
| | | -10 | 4.643 | 4.813 | 1440.4 | 1505.2 | 4.425 | 3.223 | 3.198 | 30.943 | 37.354 | 0.7384 | 0.7654 | 8.0945 | 8.7622 | |
| 10/90 | -51.39 | 0 | 6.494 | 6.636 | 2155.8 | 2219.2 | 3.031 | 3.012 | 2.990 | 23.036 | 26.84 | 0.7573 | 0.7738 | 5.5917 | 6.0724 | |
| | | -20 | 2.694 | 2.932 | 996.45 | 1093 | 8.026 | 2.704 | 2.682 | 49.434 | 61.558 | 0.5907 | 0.6847 | 20.235 | 19.407 | |
| 20/80 | -49.76 | -10 | 3.537 | 3.759 | 1547.6 | 1660.4 | 5.319 | 2.286 | 2.264 | 39.58 | 47.692 | 0.6179 | 0.6965 | 15.123 | 14.473 | |
| | | 0 | 4.794 | 4.99 | 2324.4 | 2441.9 | 3.651 | 2.062 | 2.044 | 30.582 | 35.571 | 0.6373 | 0.6975 | 11.091 | 10.762 | |
| 30/70 | -48.86 | -20 | 2.666 | 2.947 | 1138.2 | 1267.9 | 7.022 | 2.342 | 2.324 | 51.226 | 63.8 | 0.6025 | 0.6864 | 20.364 | 20.011 | |
| | | -10 | 3.563 | 3.833 | 1766.6 | 1918.3 | 4.675 | 2.017 | 1.998 | 40.39 | 48.689 | 0.6361 | 0.6961 | 14.697 | 14.795 | |
| 40/60 | -48.6 | 0 | 4.942 | 5.19 | 2647.8 | 2806.2 | 3.228 | 1.866 | 1.850 | 30.567 | 35.577 | 0.6607 | 0.7003 | 10.371 | 10.662 | |
| | | -20 | 2.86 | 3.173 | 1351.4 | 1512 | 5.857 | 2.116 | 2.098 | 50.428 | 63.076 | 0.6286 | 0.6972 | 18.729 | 19.097 | |
| 50/50 | -48.6 | -10 | 3.904 | 4.209 | 2080.5 | 2265.8 | 3.941 | 1.877 | 1.858 | 38.918 | 47.132 | 0.6626 | 0.7143 | 13.133 | 13.463 | |
| | | 0 | 5.56 | 5.848 | 3080.6 | 3270.5 | 2.762 | 1.805 | 1.788 | 28.674 | 33.525 | 0.689 | 0.7247 | 8.9184 | 9.228 | |
| 60/40 | -48.54 | -20 | 4.37 | 4.696 | 2406.1 | 1812.6 | 4.864 | 1.816 | 1.951 | 37.226 | 45.391 | 0.697 | 0.7489 | 11.28 | 11.398 | |
| | | -10 | 6.163 | 6.468 | 3409.4 | 3612.4 | 2.491 | 1.808 | 1.791 | 27.721 | 32.562 | 0.7195 | 0.7552 | 7.7747 | 7.9729 | |
| 70/30 | -48.16 | 0 | 3.236 | 3.558 | 1639.2 | 1820.5 | 4.805 | 1.974 | 1.954 | 51.956 | 65.511 | 0.6677 | 0.7341 | 17.267 | 17.417 | |
| | | -20 | 4.334 | 4.643 | 2371.2 | 2567.3 | 3.437 | 1.828 | 1.809 | 40.854 | 49.759 | 0.6953 | 0.7449 | 12.447 | 12.695 | |
| 70/30 | -48.16 | 0 | 6.068 | 6.354 | 3344.3 | 3534.7 | 2.524 | 1.814 | 1.798 | 30.629 | 35.937 | 0.7147 | 0.7489 | 8.7382 | 9.0224 | |
| | | -20 | 3.182 | 3.481 | 1569 | 1731.7 | 4.991 | 2.028 | 2.010 | 57.78 | 72.7 | 0.6633 | 0.7282 | 19.454 | 19.757 | |
| 70/30 | -48.16 | -10 | 4.245 | 4.53 | 2275 | 2451.5 | 3.555 | 1.866 | 1.848 | 45.553 | 55.385 | 0.6894 | 0.7381 | 14.15 | 14.505 | |
| | | 0 | 5.91 | 6.17 | 3215.6 | 3387.2 | 2.602 | 1.838 | 1.822 | 34.302 | 40.191 | 0.7073 | 0.7409 | 10.039 | 10.412 | |
| 70/30 | -48.16 | -20 | 3.175 | 3.451 | 1512.8 | 1657.6 | 5.12 | 2.099 | 2.082 | 63.285 | 79.529 | 0.6637 | 0.7268 | 21.283 | 21.725 | |

Çizelge Ek 1.3. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | -10 | 4.222 | 4.483 | 2195.1 | 2352.4 | 3.638 | 1.923 | 1.906 | 49.979 | 60.711 | 0.6885 | 0.7362 | 15.569 | 16.016 |
| | 0 | 5.852 | 6.088 | 3105.5 | 3258 | 2.656 | 1.884 | 1.869 | 37.74 | 44.19 | 0.705 | 0.7383 | 11.134 | 11.565 |
| 80/20 | -47.21 | 3.214 | 3.471 | 1471.6 | 1600.3 | 5.166 | 2.184 | 2.169 | 68.159 | 85.604 | 0.6696 | 0.7299 | 22.518 | 23.125 |
| | -10 | 4.268 | 4.507 | 2135.2 | 2274.5 | 3.664 | 1.999 | 1.981 | 53.815 | 65.349 | 0.6937 | 0.7394 | 16.485 | 17.033 |
| | 0 | 5.909 | 6.122 | 3020.7 | 3155.2 | 2.671 | 1.956 | 1.940 | 40.625 | 47.563 | 0.7094 | 0.7416 | 11.804 | 12.293 |
| 90/10 | -45.34 | 3.298 | 3.537 | 1442.4 | 1556.3 | 5.12 | 2.287 | 2.273 | 72.22 | 90.685 | 0.682 | 0.7365 | 22.966 | 23.892 |
| | -10 | 4.383 | 4.604 | 2091.5 | 2214.5 | 3.628 | 2.096 | 2.079 | 56.872 | 69.062 | 0.706 | 0.7469 | 16.723 | 17.478 |
| | 0 | 6.083 | 6.277 | 2957.5 | 3075.1 | 2.642 | 2.057 | 2.041 | 42.763 | 50.076 | 0.7219 | 0.7503 | 11.893 | 12.504 |
| 100/0 | -42.09 | 3.425 | 3.651 | 1419.8 | 1522.6 | 4.987 | 2.412 | 2.398 | 75.356 | 94.548 | 0.7016 | 0.7478 | 22.486 | 23.842 |
| | -10 | 4.57 | 4.778 | 2057.4 | 2168.1 | 3.53 | 2.221 | 2.204 | 59.02 | 71.629 | 0.7267 | 0.7599 | 16.13 | 17.201 |
| | 0 | 6.384 | 6.566 | 2907.8 | 3013 | 2.568 | 2.195 | 2.179 | 44.011 | 51.516 | 0.7444 | 0.7657 | 11.247 | 12.072 |

Çizelge Ek 1.4. Sabit sıcaklıkta R600a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R600a/R134a Karışımı | KNS (°C) | T _b °C | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|----------------------|----------|-------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. |
| 0/100 | -26.07 | -20 | 3.476 | 3.665 | 931.63 | 988.92 | 6.689 | 3.731 | 3.706 | 39.573 | 49.38 | 0.7119 | 0.7507 | 11.399 | 12.312 | |
| | | | 4.643 | 4.813 | 1440.4 | 1505.2 | 4.425 | 3.223 | 3.198 | 30.943 | 37.354 | 0.7384 | 0.7654 | 8.0945 | 8.7622 | |
| | | | 6.494 | 6.636 | 2155.8 | 2219.2 | 3.031 | 3.012 | 2.990 | 23.036 | 26.84 | 0.7573 | 0.7738 | 5.5917 | 6.0724 | |
| 10/90 | -29.1 | -20 | 3.387 | 3.631 | 970.97 | 1049.8 | 6.408 | 3.488 | 3.459 | 41.06 | 51.449 | 0.6974 | 0.7485 | 12.427 | 12.938 | |
| | | | 4.541 | 4.767 | 1494.6 | 1584.4 | 4.277 | 3.038 | 3.009 | 32.089 | 38.898 | 0.7258 | 0.7627 | 8.7998 | 9.2298 | |
| | | | 6.371 | 6.571 | 2227.3 | 2317 | 2.955 | 2.860 | 2.836 | 23.883 | 27.935 | 0.7465 | 0.7704 | 6.0534 | 6.413 | |
| 20/80 | -29.45 | -20 | 3.381 | 3.665 | 977.97 | 1070.1 | 6.144 | 3.457 | 3.425 | 42.585 | 53.475 | 0.6928 | 0.7509 | 13.08 | 13.319 | |
| | | | 4.526 | 4.794 | 1489.5 | 1594 | 4.155 | 3.039 | 3.007 | 33.42 | 40.579 | 0.7206 | 0.7633 | 9.3369 | 9.6047 | |
| | | | 6.334 | 6.576 | 2199.6 | 2304.8 | 2.903 | 2.880 | 2.853 | 25.003 | 29.277 | 0.7405 | 0.7689 | 6.4881 | 6.7661 | |
| 30/70 | -29.29 | -20 | 3.193 | 3.492 | 871.67 | 961.34 | 6.629 | 3.663 | 3.632 | 47.646 | 59.583 | 0.671 | 0.7339 | 15.675 | 15.856 | |
| | | | 4.239 | 4.522 | 1331.6 | 1434.7 | 4.472 | 3.183 | 3.152 | 37.793 | 45.693 | 0.6956 | 0.7427 | 11.505 | 11.759 | |
| | | | 5.853 | 6.112 | 1972.3 | 2078 | 3.117 | 2.968 | 2.941 | 28.72 | 33.488 | 0.7105 | 0.7435 | 8.3141 | 8.5907 | |
| 40/60 | -28.93 | -20 | 3.007 | 3.307 | 754.8 | 835.9 | 7.364 | 3.984 | 3.956 | 54.003 | 67.18 | 0.6506 | 0.7171 | 18.869 | 19.005 | |

Çizelge Ek 1.4. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | -10 | 3.952 | 4.237 | 1159.2 | 1253.7 | 4.941 | 3.409 | 3.380 | 43.333 | 52.115 | 0.6727 | 0.7226 | 14.182 | 14.457 |
| | 0 | 5.636 | 5.636 | 1823.6 | 1823.6 | 3.426 | 3.409 | 3.091 | 38.85 | 38.85 | 0.7185 | 0.7185 | 10.936 | 10.936 |
| 50/50 | -28.3 | 2.912 | 3.21 | 672.21 | 745.28 | 7.933 | 4.332 | 4.307 | 59.752 | 74.041 | 0.6356 | 0.7106 | 21.774 | 21.429 |
| | -10 | 4.081 | 4.081 | 1120.3 | 1120.3 | 5.308 | 4.332 | 3.643 | 57.923 | 57.923 | 0.7135 | 0.7135 | 16.593 | 16.593 |
| | 0 | 5.367 | 5.367 | 1632.7 | 1632.7 | 3.672 | 4.332 | 3.287 | 43.708 | 43.708 | 0.7068 | 0.7068 | 12.814 | 12.814 |
| 60/40 | -27.24 | 3.187 | 3.187 | 680.95 | 8.252 | 8.252 | 4.332 | 4.680 | 79.782 | 79.782 | 0.7102 | 0.7102 | 23.12 | 23.12 |
| | -10 | 4.036 | 4.036 | 1024.8 | 5.513 | 5.513 | 4.332 | 3.938 | 62.698 | 62.698 | 0.7116 | 0.7116 | 18.081 | 18.081 |
| | 0 | 5.278 | 5.278 | 1494.9 | 3.808 | 3.808 | 4.332 | 3.531 | 47.617 | 47.617 | 0.703 | 0.703 | 14.144 | 14.144 |
| 70/30 | -25.5 | 3.229 | 3.229 | 634.08 | 8.283 | 8.283 | 4.332 | 5.092 | 84.17 | 84.17 | 0.7166 | 0.7166 | 23.853 | 23.853 |
| | -10 | 4.088 | 4.088 | 954.87 | 5.529 | 5.529 | 4.332 | 4.281 | 66.194 | 66.194 | 0.7175 | 0.7175 | 18.697 | 18.697 |
| | 0 | 5.343 | 5.343 | 1393.5 | 3.817 | 3.817 | 4.332 | 3.834 | 50.319 | 50.319 | 0.7081 | 0.7081 | 14.686 | 14.686 |
| 80/20 | -22.73 | 3.339 | 3.339 | 598.92 | 8.003 | 8.003 | 4.332 | 5.575 | 86.88 | 86.88 | 0.7284 | 0.7284 | 23.598 | 23.598 |
| | -10 | 4.242 | 4.242 | 902.28 | 5.34 | 5.34 | 4.332 | 4.701 | 68.088 | 68.088 | 0.7301 | 0.7301 | 18.378 | 18.378 |
| | 0 | 5.576 | 5.576 | 1317 | 3.685 | 3.685 | 4.332 | 4.234 | 51.491 | 51.491 | 0.7214 | 0.7214 | 14.344 | 14.344 |
| 90/10 | -18.39 | 3.535 | 3.535 | 571.86 | 7.397 | 7.397 | 4.332 | 6.182 | 87.397 | 87.397 | 0.7509 | 0.7509 | 21.774 | 21.774 |
| | -10 | 4.533 | 4.533 | 861.72 | 4.934 | 4.934 | 4.332 | 5.260 | 67.876 | 67.876 | 0.7553 | 0.7553 | 16.611 | 16.611 |
| | 0 | 6.041 | 6.041 | 1258 | 3.404 | 3.404 | 4.332 | 4.802 | 50.642 | 50.642 | 0.75 | 0.75 | 12.659 | 12.659 |
| 100/0 | -11.61 | 3.869 | 3.869 | 550.56 | 6.454 | 6.454 | 4.332 | 7.027 | 84.848 | 84.848 | 0.7925 | 0.7925 | 17.605 | 17.605 |
| | -10 | 5.053 | 5.053 | 829.76 | 4.304 | 4.304 | 4.332 | 6.090 | 64.714 | 64.714 | 0.8036 | 0.8036 | 12.707 | 12.707 |
| | 0 | 6.927 | 6.927 | 1211.4 | 2.969 | 2.969 | 4.332 | 5.718 | 46.952 | 46.952 | 0.8077 | 0.8077 | 9.0279 | 9.0279 |

Çizelge Ek 1.5. Sabit sıcaklıkta R152a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R152a/R134a Karışımı | KNS (°C) | T _b (°C) | S TK | | HSK | | BO (kJ/m ³) | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|----------------------|----------|---------------------|--------|----------|--------|----------|-------------------------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. |
| 0/100 | -26.07 | -20 | 3.476 | 3.665 | 931.63 | 988.92 | 6.689 | 3.731 | 3.706 | 39.573 | 49.38 | 0.7119 | 0.7507 | 11.399 | 12.312 | |
| | | | 4.643 | 4.813 | 1440.4 | 1505.2 | 4.425 | 3.223 | 3.198 | 30.943 | 37.354 | 0.7384 | 0.7654 | 8.0945 | 8.7622 | |
| | | | 6.494 | 6.636 | 2155.8 | 2219.2 | 3.031 | 3.012 | 2.990 | 23.036 | 26.84 | 0.7573 | 0.7738 | 5.5917 | 6.0724 | |
| 10/90 | -25.64 | -20 | 3.158 | 3.459 | 1687.3 | 1882.9 | 5.166 | 3.788 | 3.769 | 41.972 | 52.28 | 0.6469 | 0.7085 | 13.071 | 14.017 | |
| | | | 4.254 | 4.532 | 2493.2 | 2704.8 | 3.631 | 3.275 | 3.253 | 32.815 | 39.552 | 0.6765 | 0.7207 | 9.3117 | 10.109 | |

Çizelge Ek 1.5. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20/80 | 0 | 5.997 | 6.237 | 3591.3 | 3792.8 | 2.625 | 3.063 | 3.043 | 24.433 | 28.428 | 0.6993 | 0.7272 | 6.4025 | 7.0398 |
| | -25.27 | 3.14 | 3.458 | 1676.4 | 1883.1 | 5.181 | 3.838 | 3.822 | 44.363 | 55.167 | 0.6431 | 0.7083 | 12.797 | 13.594 |
| | -10 | 4.234 | 4.53 | 2482.4 | 2707 | 3.639 | 3.321 | 3.302 | 34.675 | 41.732 | 0.6734 | 0.7205 | 9.1119 | 9.8088 |
| 30/70 | 0 | 5.975 | 6.234 | 3582.7 | 3798.1 | 2.629 | 3.108 | 3.090 | 25.813 | 29.996 | 0.6967 | 0.7269 | 6.2599 | 6.8351 |
| | -24.97 | 3.119 | 3.457 | 1665.7 | 1884.6 | 5.196 | 3.877 | 3.867 | 46.731 | 58.023 | 0.6389 | 0.708 | 12.528 | 13.176 |
| | -10 | 4.212 | 4.528 | 2472.3 | 2711.1 | 3.647 | 3.359 | 3.342 | 36.511 | 43.884 | 0.6698 | 0.7201 | 8.9159 | 9.5123 |
| 40/60 | 0 | 5.949 | 6.229 | 3575.3 | 3806 | 2.633 | 3.146 | 3.130 | 27.171 | 31.538 | 0.6938 | 0.7264 | 6.12 | 6.6332 |
| | -24.72 | 3.096 | 3.454 | 1655.3 | 1887.8 | 5.21 | 3.908 | 3.903 | 49.083 | 60.859 | 0.6341 | 0.7075 | 12.266 | 12.763 |
| | -10 | 4.186 | 4.524 | 2462.8 | 2717.4 | 3.655 | 3.390 | 3.376 | 38.333 | 46.017 | 0.6658 | 0.7195 | 8.7243 | 9.2201 |
| 50/50 | 0 | 5.92 | 6.222 | 3569.4 | 3817.1 | 2.637 | 3.178 | 3.164 | 28.514 | 33.063 | 0.6904 | 0.7257 | 5.9833 | 6.4344 |
| | -24.52 | 3.069 | 3.45 | 1645.3 | 1892.9 | 5.224 | 3.933 | 3.931 | 51.425 | 63.682 | 0.6287 | 0.7068 | 12.009 | 12.356 |
| | -10 | 4.156 | 4.518 | 2454.4 | 2726.5 | 3.662 | 3.415 | 3.404 | 40.144 | 48.138 | 0.6611 | 0.7187 | 8.5373 | 8.9323 |
| 60/40 | 0 | 5.886 | 6.213 | 3565.4 | 3831.9 | 2.641 | 3.205 | 3.192 | 29.848 | 34.577 | 0.6865 | 0.7247 | 5.8496 | 6.2388 |
| | -24.36 | 3.039 | 3.445 | 1635.8 | 1900.3 | 5.238 | 3.951 | 3.954 | 53.762 | 66.497 | 0.6226 | 0.7059 | 11.759 | 11.954 |
| | -10 | 4.123 | 4.51 | 2447.1 | 2739 | 3.669 | 3.435 | 3.426 | 41.949 | 50.252 | 0.6559 | 0.7176 | 8.3548 | 8.6487 |
| 70/30 | 0 | 5.847 | 6.2 | 3563.7 | 3851.4 | 2.645 | 3.227 | 3.216 | 31.176 | 36.084 | 0.6821 | 0.7234 | 5.7189 | 6.0462 |
| | -24.23 | 3.005 | 3.439 | 1627 | 1910.8 | 5.25 | 3.965 | 3.971 | 56.095 | 69.307 | 0.6156 | 0.7046 | 11.514 | 11.557 |
| | -10 | 4.085 | 4.501 | 2441.3 | 2755.7 | 3.676 | 3.450 | 3.444 | 43.752 | 52.361 | 0.6499 | 0.7162 | 8.1759 | 8.3685 |
| 80/20 | 0 | 5.803 | 6.186 | 3564.9 | 3876.6 | 2.648 | 3.245 | 3.236 | 32.502 | 37.588 | 0.6771 | 0.7219 | 5.59 | 5.8555 |
| | -24.14 | 2.966 | 3.43 | 1619.1 | 1925.2 | 5.259 | 3.974 | 3.984 | 58.426 | 72.114 | 0.6077 | 0.703 | 11.274 | 11.163 |
| | -10 | 4.041 | 4.489 | 2437.6 | 2777.9 | 3.68 | 3.462 | 3.459 | 45.552 | 54.468 | 0.643 | 0.7145 | 7.9986 | 8.0896 |
| 90/10 | 0 | 5.753 | 6.169 | 3570.1 | 3909.3 | 2.651 | 3.260 | 3.252 | 33.826 | 39.09 | 0.6713 | 0.72 | 5.4611 | 5.665 |
| | -24.07 | 2.922 | 3.421 | 1612.7 | 1944.8 | 5.263 | 3.980 | 3.993 | 60.757 | 74.92 | 0.5986 | 0.701 | 11.032 | 10.768 |
| | -10 | 3.993 | 4.477 | 2436.8 | 2807.3 | 3.681 | 3.471 | 3.470 | 47.352 | 56.573 | 0.6352 | 0.7124 | 7.8189 | 7.8085 |
| 100/0 | 0 | 5.698 | 6.151 | 3580.4 | 3951.9 | 2.651 | 3.272 | 3.264 | 35.149 | 40.591 | 0.6649 | 0.7178 | 5.3286 | 5.4713 |
| | -24.02 | 3.658 | 3.659 | 917.48 | 914.93 | 6.584 | 3.987 | 3.999 | 63.129 | 77.724 | 0.7493 | 0.7493 | 15.828 | 19.482 |
| | -10 | 4.842 | 4.817 | 1391.6 | 1385.3 | 4.376 | 3.479 | 3.477 | 49.183 | 58.678 | 0.7701 | 0.7661 | 11.309 | 13.727 |
| | 0 | 6.716 | 6.658 | 2046.4 | 2033.4 | 3.009 | 3.282 | 3.274 | 36.496 | 42.093 | 0.7831 | 0.7764 | 7.9144 | 9.4121 |

Çizelge Ek 1.6. Sabit sıcaklıkta R125/R143a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R125/R143a Karışımı | KNS (°C) | T _b °C | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|---------------------|----------|-------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. |
| 0/100 | -47.22 | -20 | 3.173 | 3.457 | 1696.5 | 1881.9 | 5.156 | 1.870 | 1.837 | 38.192 | 49.584 | 0.6499 | 0.7081 | 13.37 | 14.472 | |
| | -10 | 4.269 | 4.53 | 2502.2 | 2701.8 | 3.626 | 1.706 | 1.677 | 29.693 | 37.32 | 0.679 | 0.7205 | 9.5329 | 10.433 | | |
| 10/90 | 0 | 6.013 | 6.235 | 3598.3 | 3786.9 | 2.622 | 1.671 | 1.646 | 21.951 | 26.602 | 0.7011 | 0.727 | 6.5604 | 7.2612 | | |
| | -20 | 3.158 | 3.459 | 1687.3 | 1882.9 | 5.166 | 1.872 | 1.837 | 37.015 | 48.085 | 0.6469 | 0.7085 | 13.071 | 14.017 | | |
| 20/80 | -10 | 4.254 | 4.532 | 2493.2 | 2704.8 | 3.631 | 1.706 | 1.676 | 28.788 | 36.199 | 0.6765 | 0.7207 | 9.3117 | 10.109 | | |
| | 0 | 5.997 | 6.237 | 3591.3 | 3792.8 | 2.625 | 1.670 | 1.644 | 21.289 | 25.808 | 0.6993 | 0.7272 | 6.4025 | 7.0398 | | |
| 30/70 | -47.1 | -20 | 3.14 | 3.458 | 1676.4 | 1883.1 | 5.181 | 1.873 | 1.836 | 35.858 | 46.61 | 0.6431 | 0.7083 | 12.797 | 13.594 | |
| | -10 | 4.234 | 4.53 | 2482.4 | 2707 | 3.639 | 1.706 | 1.673 | 27.897 | 35.095 | 0.6734 | 0.7205 | 9.1119 | 9.8088 | | |
| 40/60 | 0 | 5.975 | 6.234 | 3582.7 | 3798.1 | 2.629 | 1.668 | 1.641 | 20.638 | 25.027 | 0.6967 | 0.7269 | 6.2599 | 6.8351 | | |
| | -20 | 3.119 | 3.457 | 1665.7 | 1884.6 | 5.196 | 1.873 | 1.834 | 34.694 | 45.128 | 0.6389 | 0.708 | 12.528 | 13.176 | | |
| 50/50 | -10 | 4.212 | 4.528 | 2472.3 | 2711.1 | 3.647 | 1.704 | 1.670 | 27.002 | 33.986 | 0.6698 | 0.7201 | 8.9159 | 9.5123 | | |
| | 0 | 5.949 | 6.229 | 3575.3 | 3806 | 2.633 | 1.664 | 1.637 | 19.984 | 24.242 | 0.6938 | 0.7264 | 6.12 | 6.6332 | | |
| 60/40 | -47.07 | -20 | 3.096 | 3.454 | 1655.3 | 1887.8 | 5.21 | 1.870 | 1.830 | 33.524 | 43.641 | 0.6341 | 0.7075 | 12.266 | 12.763 | |
| | -10 | 4.186 | 4.524 | 2462.8 | 2717.4 | 3.655 | 1.700 | 1.665 | 26.101 | 32.872 | 0.6658 | 0.7195 | 8.7243 | 9.2201 | | |
| 70/30 | 0 | 5.92 | 6.222 | 3569.4 | 3817.1 | 2.637 | 1.659 | 1.630 | 19.326 | 23.454 | 0.6904 | 0.7257 | 5.9833 | 6.4344 | | |
| | -20 | 3.069 | 3.45 | 1645.3 | 1892.9 | 5.224 | 1.865 | 1.823 | 32.346 | 42.145 | 0.6287 | 0.7068 | 12.009 | 12.356 | | |
| 80/20 | -47.11 | -20 | 4.156 | 4.518 | 2454.4 | 2726.5 | 3.662 | 1.693 | 1.657 | 25.194 | 31.753 | 0.6611 | 0.7187 | 8.5373 | 8.9323 | |
| | -10 | 5.886 | 6.213 | 3565.4 | 3831.9 | 2.641 | 1.651 | 1.621 | 18.662 | 22.661 | 0.6865 | 0.7247 | 5.8496 | 6.2388 | | |
| 90/10 | -47.19 | -20 | 3.039 | 3.445 | 1635.8 | 1900.3 | 5.238 | 1.858 | 1.813 | 31.157 | 40.64 | 0.6226 | 0.7059 | 11.759 | 11.954 | |
| | -10 | 4.123 | 4.51 | 2447.1 | 2739 | 3.669 | 1.685 | 1.647 | 24.278 | 30.625 | 0.6559 | 0.7176 | 8.3548 | 8.6487 | | |
| 0/100 | 0 | 5.847 | 6.2 | 3563.7 | 3851.4 | 2.645 | 1.641 | 1.610 | 17.991 | 21.863 | 0.6821 | 0.7234 | 5.7189 | 6.0462 | | |
| | -20 | 3.005 | 3.439 | 1627 | 1910.8 | 5.25 | 1.847 | 1.800 | 29.955 | 39.122 | 0.6156 | 0.7046 | 11.514 | 11.557 | | |
| 10/90 | -10 | 4.085 | 4.501 | 2441.3 | 2755.7 | 3.676 | 1.673 | 1.633 | 23.351 | 29.487 | 0.6499 | 0.7162 | 8.1759 | 8.3685 | | |
| | 0 | 5.803 | 6.186 | 3564.9 | 3876.6 | 2.648 | 1.628 | 1.596 | 17.311 | 21.055 | 0.6771 | 0.7219 | 5.59 | 5.8555 | | |
| 20/80 | -47.52 | -20 | 2.966 | 3.43 | 1619.1 | 1925.2 | 5.259 | 1.832 | 1.782 | 28.734 | 37.583 | 0.6077 | 0.703 | 11.274 | 11.163 | |
| | -10 | 4.041 | 4.489 | 2437.6 | 2777.9 | 3.68 | 1.658 | 1.616 | 22.406 | 28.331 | 0.643 | 0.7145 | 7.9986 | 8.0896 | | |
| 30/70 | 0 | 5.753 | 6.169 | 3570.1 | 3909.3 | 2.651 | 1.611 | 1.578 | 16.616 | 20.233 | 0.6713 | 0.72 | 5.4611 | 5.665 | | |
| | -20 | 2.922 | 3.421 | 1612.7 | 1944.8 | 5.263 | 1.812 | 1.759 | 27.484 | 36.014 | 0.5986 | 0.701 | 11.032 | 10.768 | | |
| 40/60 | -47.79 | -20 | 3.993 | 4.477 | 2436.8 | 2807.3 | 3.681 | 1.639 | 1.595 | 21.436 | 27.149 | 0.6352 | 0.7124 | 7.8189 | 7.8085 | |
| | -10 | 4.041 | 4.489 | 2437.6 | 2777.9 | 3.68 | 1.658 | 1.616 | 22.406 | 28.331 | 0.643 | 0.7145 | 7.9986 | 8.0896 | | |
| 50/50 | 0 | 5.698 | 6.151 | 3580.4 | 3951.9 | 2.651 | 1.591 | 1.556 | 15.9 | 19.388 | 0.6649 | 0.7178 | 5.3286 | 5.4713 | | |
| | -20 | 2.922 | 3.421 | 1612.7 | 1944.8 | 5.263 | 1.812 | 1.759 | 27.484 | 36.014 | 0.5986 | 0.701 | 11.032 | 10.768 | | |

Çizelge Ek 1.6. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100/0 | -48.14 | -20 | 2.87 | 3.409 | 1606.5 | 1969.4 | 5.26 | 1.786 | 1.731 | 26.211 | 34.419 | 0.5879 | 0.6983 | 10.802 | 10.385 |
| | -10 | | 3.937 | 4.462 | 2437.8 | 2844 | 3.678 | 1.615 | 1.569 | 20.442 | 25.941 | 0.6261 | 0.7096 | 7.644 | 7.5342 |
| | 0 | | 5.637 | 6.131 | 3595.3 | 4004.8 | 2.648 | 1.568 | 1.531 | 15.16 | 18.52 | 0.6573 | 0.7149 | 5.1961 | 5.2793 |

Çizelge Ek 1.7. Sabit sıcaklıkta R32/R125 karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R125 Karışımı | KNS (°C) | T _b °C | S TK | | HSK Klasik | BO Isı Deg. | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k Klasik | O V | | TT (kJ/kg) Klasik | Isı Deg. | | |
|----------------------|-------------|----------------------|--------|----------|---------------|----------------|------------------------------|----------|--------------------------|--------|----------|----------------------|----------|--------|--------|
| | | | Klasik | Isı Deg. | | | Isı Deg. | Isı Deg. | | Klasik | Isı Deg. | | | | |
| 0/100 | -48.14 | -20 | 2.87 | 3.409 | 1606.5 | 1969.4 | 5.26 | 1.786 | 1.731 | 26.211 | 34.419 | 0.5879 | 0.6983 | 10.802 | 10.385 |
| | -10 | | 3.937 | 4.462 | 2437.8 | 2844 | 3.678 | 1.615 | 1.569 | 20.442 | 25.941 | 0.6261 | 0.7096 | 7.644 | 7.5342 |
| 10/90 | -49.63 | -20 | 5.637 | 6.131 | 3595.3 | 4004.8 | 2.648 | 1.568 | 1.531 | 15.16 | 18.52 | 0.6573 | 0.7149 | 5.1961 | 5.2793 |
| | -10 | | 2.993 | 3.369 | 1831.7 | 2113.7 | 5.336 | 1.634 | 1.594 | 30.442 | 39.783 | 0.6142 | 0.6922 | 11.745 | 12.244 |
| | 0 | | 4.051 | 4.408 | 2741.8 | 3052.9 | 3.73 | 1.477 | 1.444 | 23.719 | 29.992 | 0.6461 | 0.7038 | 8.394 | 8.8843 |
| 20/80 | -50.51 | -20 | 5.729 | 6.049 | 3995.3 | 4300.9 | 2.684 | 1.434 | 1.406 | 17.586 | 21.433 | 0.6708 | 0.7093 | 5.7888 | 6.2315 |
| | -10 | | 3.097 | 3.352 | 2020.7 | 2228.6 | 5.353 | 1.533 | 1.504 | 34.597 | 45.035 | 0.6357 | 0.6888 | 12.603 | 14.015 |
| | 0 | | 4.16 | 4.391 | 2995.5 | 3219.6 | 3.741 | 1.389 | 1.364 | 26.886 | 33.9 | 0.6637 | 0.7012 | 9.041 | 10.129 |
| 30/70 | -51.05 | -20 | 5.844 | 6.034 | 4326.8 | 4537.6 | 2.691 | 1.351 | 1.330 | 19.881 | 24.187 | 0.6846 | 0.7077 | 6.27 | 7.0701 |
| | -10 | | 3.183 | 3.342 | 2178.7 | 2319.7 | 5.35 | 1.461 | 1.441 | 38.775 | 50.299 | 0.653 | 0.6862 | 13.453 | 15.783 |
| | 0 | | 4.256 | 4.386 | 3206.3 | 3351.8 | 3.739 | 1.327 | 1.309 | 30.046 | 37.789 | 0.6785 | 0.6997 | 9.6605 | 11.346 |
| 40/60 | -51.39 | -20 | 5.955 | 6.041 | 4600.4 | 4725.4 | 2.688 | 1.294 | 1.278 | 22.147 | 26.9 | 0.6969 | 0.7075 | 6.7125 | 7.8682 |
| | -10 | | 3.252 | 3.334 | 2309.5 | 2390.3 | 5.346 | 1.408 | 1.395 | 43.044 | 55.655 | 0.6667 | 0.6838 | 14.345 | 17.601 |
| | 0 | | 4.334 | 4.383 | 3379.8 | 3454.8 | 3.735 | 1.282 | 1.269 | 33.263 | 41.731 | 0.6904 | 0.6984 | 10.298 | 12.585 |
| 50/50 | -51.6 | -20 | 6.051 | 6.051 | 4824 | 4872.3 | 2.685 | 1.254 | 1.242 | 24.443 | 29.638 | 0.7072 | 0.7075 | 7.1578 | 8.6693 |
| | -10 | | 3.305 | 3.323 | 2417.2 | 2444.5 | 5.346 | 1.367 | 1.359 | 47.436 | 61.141 | 0.6774 | 0.6811 | 15.304 | 19.496 |
| | 0 | | 4.397 | 4.378 | 3521.8 | 3534.2 | 3.733 | 1.249 | 1.239 | 36.566 | 45.761 | 0.6998 | 0.6969 | 10.976 | 13.869 |
| 60/40 | -51.71 | -20 | 6.128 | 6.057 | 5005.8 | 4986.1 | 2.682 | 1.224 | 1.215 | 26.797 | 32.433 | 0.7155 | 0.7073 | 7.6247 | 9.4938 |
| | -10 | | 3.346 | 3.311 | 2505.5 | 2485.5 | 5.35 | 1.335 | 1.332 | 51.964 | 66.769 | 0.6856 | 0.6783 | 16.338 | 21.482 |
| | 0 | | 4.445 | 4.369 | 3638 | 3595.1 | 3.735 | 1.222 | 1.215 | 39.966 | 49.889 | 0.7072 | 0.6952 | 11.701 | 15.208 |
| 70/30 | -51.76 | -20 | 6.189 | 6.057 | 5153.6 | 5074.1 | 2.682 | 1.201 | 1.194 | 29.22 | 35.295 | 0.7221 | 0.7068 | 8.1205 | 10.35 |
| | -10 | | 3.377 | 3.296 | 2578.2 | 2516.5 | 5.358 | 1.310 | 1.310 | 56.626 | 72.542 | 0.6918 | 0.6752 | 17.451 | 23.56 |

Çizelge Ek 1.7. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 80/20 | -10 | 4.483 | 4.358 | 3733.3 | 3641.6 | 3.738 | 1.201 | 1.197 | 43.463 | 54.118 | 0.713 | 0.6932 | 12.476 | 16.605 |
| | 0 | 6.236 | 6.053 | 5274.2 | 5142.1 | 2.683 | 1.182 | 1.177 | 31.711 | 38.225 | 0.7273 | 0.7059 | 8.6468 | 11.24 |
| | -20 | 3.4 | 3.281 | 2638.3 | 2539.7 | 5.369 | 1.289 | 1.292 | 61.418 | 78.453 | 0.6965 | 0.672 | 18.642 | 25.732 |
| | -10 | 4.511 | 4.345 | 3811.8 | 3677.2 | 3.744 | 1.183 | 1.182 | 47.053 | 58.442 | 0.7173 | 0.691 | 13.3 | 18.059 |
| | 0 | 6.273 | 6.045 | 5373.1 | 5194.9 | 2.686 | 1.167 | 1.164 | 34.266 | 41.219 | 0.7314 | 0.7049 | 9.2027 | 12.163 |
| 90/10 | -20 | 3.417 | 3.265 | 2688.1 | 2557.1 | 5.383 | 1.271 | 1.277 | 66.332 | 84.496 | 0.6999 | 0.6687 | 19.908 | 27.995 |
| | -10 | 4.531 | 4.33 | 3876.8 | 3704.5 | 3.751 | 1.169 | 1.169 | 50.728 | 62.856 | 0.7207 | 0.6887 | 14.17 | 19.569 |
| | 0 | 6.3 | 6.035 | 5454.7 | 5236 | 2.689 | 1.155 | 1.153 | 36.879 | 44.271 | 0.7346 | 0.7037 | 9.7861 | 13.118 |
| 100/0 | -20 | 3.427 | 3.247 | 2727.2 | 2567.6 | 5.4 | 1.257 | 1.265 | 71.399 | 90.706 | 0.7019 | 0.665 | 21.282 | 30.388 |
| | -10 | 4.545 | 4.313 | 3928 | 3722.5 | 3.76 | 1.157 | 1.159 | 54.511 | 67.384 | 0.7228 | 0.6859 | 15.112 | 21.162 |
| | 0 | 6.319 | 6.021 | 5518.8 | 5264.7 | 2.694 | 1.145 | 1.144 | 39.566 | 47.399 | 0.7368 | 0.702 | 10.413 | 14.123 |

Çizelge Ek 1.8. Sabit sıcaklıkta R.125/R143a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R125/R143a/R134a Karışımı | KNS (°C) | T _b (°C) | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|---------------------------|----------|---------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. |
| 15/81/4 | -46.63 | -20 | 3.128 | 3.43 | 1628.7 | 1819.7 | 5.307 | 1.921 | 1.885 | 36.955 | 47.883 | 0.6439 | 0.707 | 13.16 | 14.03 | |
| | | -10 | 4.211 | 4.491 | 2418.2 | 2626.2 | 3.712 | 1.741 | 1.710 | 28.777 | 36.09 | 0.6735 | 0.7191 | 9.3962 | 10.138 | |
| | | 0 | 5.928 | 6.171 | 3497.3 | 3696.8 | 2.672 | 1.695 | 1.669 | 21.327 | 25.788 | 0.6959 | 0.7252 | 6.4851 | 7.0857 | |
| 25/71/4 | -46.58 | -20 | 3.108 | 3.429 | 1617.5 | 1819.5 | 5.325 | 1.921 | 1.885 | 35.783 | 46.392 | 0.6399 | 0.7068 | 12.885 | 13.603 | |
| | | -10 | 4.19 | 4.488 | 2407.1 | 2627.9 | 3.722 | 1.741 | 1.708 | 27.876 | 34.975 | 0.6701 | 0.7188 | 9.1952 | 9.8354 | |
| | | 0 | 5.903 | 6.166 | 3488.2 | 3701.7 | 2.677 | 1.692 | 1.666 | 20.668 | 24.998 | 0.6932 | 0.7248 | 6.3417 | 6.8796 | |
| 35/61/4 | -46.56 | -20 | 3.086 | 3.427 | 1606.5 | 1820.6 | 5.343 | 1.921 | 1.882 | 34.607 | 44.897 | 0.6354 | 0.7064 | 12.616 | 13.184 | |
| | | -10 | 4.165 | 4.484 | 2396.5 | 2631.6 | 3.732 | 1.738 | 1.704 | 26.971 | 33.856 | 0.6663 | 0.7183 | 8.9997 | 9.5385 | |
| | | 0 | 5.875 | 6.159 | 3480.3 | 3709.2 | 2.683 | 1.688 | 1.660 | 20.007 | 24.206 | 0.69 | 0.7241 | 6.2023 | 6.6776 | |
| 45/51/4 | -46.57 | -20 | 3.061 | 3.423 | 1595.8 | 1823.3 | 5.362 | 1.918 | 1.877 | 33.425 | 43.398 | 0.6304 | 0.7057 | 12.356 | 12.772 | |
| | | -10 | 4.137 | 4.478 | 2386.6 | 2637.5 | 3.742 | 1.733 | 1.698 | 26.062 | 32.734 | 0.6619 | 0.7175 | 8.8102 | 9.2474 | |
| | | 0 | 5.842 | 6.149 | 3473.9 | 3719.8 | 2.689 | 1.682 | 1.653 | 19.342 | 23.412 | 0.6863 | 0.7232 | 6.0672 | 6.48 | |
| 55/41/4 | -46.62 | -20 | 3.033 | 3.417 | 1585.3 | 1827.9 | 5.381 | 1.913 | 1.869 | 32.237 | 41.893 | 0.6245 | 0.7048 | 12.104 | 12.367 | |
| | | -10 | 4.105 | 4.47 | 2377.6 | 2646.1 | 3.753 | 1.727 | 1.689 | 25.147 | 31.608 | 0.6569 | 0.7165 | 8.6269 | 8.9622 | |

Çizelge Ek 1.8. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 65/31/4 | 0 | 5.804 | 6.135 | 3469.5 | 3734.4 | 2.695 | 1.673 | 1.643 | 18.673 | 22.615 | 0.6821 | 0.722 | 5.9364 | 6.2867 |
| | -46.73 | -20 | 3 | 3.41 | 1575.3 | 1834.9 | 5.401 | 1.904 | 31.04 | 40.38 | 0.6179 | 0.7036 | 11.86 | 11.97 |
| | | -10 | 4.067 | 4.459 | 2369.7 | 2658.2 | 3.763 | 1.716 | 24.224 | 30.475 | 0.6512 | 0.7151 | 8.4495 | 8.6826 |
| 75/21/4 | 0 | 5.76 | 6.118 | 3467.4 | 3753.8 | 2.701 | 1.661 | 1.630 | 17.998 | 21.813 | 0.6772 | 0.7205 | 5.8094 | 6.0971 |
| | -46.9 | -20 | 2.962 | 3.401 | 1565.9 | 1844.9 | 5.419 | 1.892 | 29.829 | 38.853 | 0.6103 | 0.702 | 11.624 | 11.579 |
| | | -10 | 4.025 | 4.446 | 2363.4 | 2674.7 | 3.774 | 1.703 | 23.29 | 29.33 | 0.6446 | 0.7134 | 8.2766 | 8.4073 |
| 15/75/10 | 0 | 5.709 | 6.098 | 3468.4 | 3779.3 | 2.706 | 1.646 | 1.614 | 17.312 | 21 | 0.6716 | 0.7186 | 5.6848 | 5.9101 |
| | -45.87 | -20 | 3.101 | 3.394 | 1554.1 | 1731.1 | 5.503 | 1.995 | 37.661 | 48.602 | 0.6427 | 0.7054 | 13.457 | 14.318 |
| | | -10 | 4.168 | 4.439 | 2319.6 | 2513.4 | 3.825 | 1.797 | 29.374 | 36.693 | 0.6718 | 0.7173 | 9.642 | 10.372 |
| 25/65/10 | 0 | 5.852 | 6.086 | 3368.9 | 3556 | 2.739 | 1.737 | 1.711 | 21.831 | 26.296 | 0.6934 | 0.723 | 6.6938 | 7.2835 |
| | -45.8 | -20 | 3.082 | 3.392 | 1542.4 | 1729.4 | 5.526 | 1.998 | 36.474 | 47.094 | 0.6387 | 0.7052 | 13.177 | 13.886 |
| | | -10 | 4.147 | 4.436 | 2307.4 | 2513.2 | 3.838 | 1.797 | 28.462 | 35.566 | 0.6684 | 0.717 | 9.4378 | 10.065 |
| 35/55/10 | 0 | 5.827 | 6.08 | 3358.2 | 3558.3 | 2.746 | 1.735 | 1.709 | 21.164 | 25.498 | 0.6906 | 0.7225 | 6.5483 | 7.0747 |
| | -45.76 | -20 | 3.06 | 3.389 | 1530.7 | 1728.9 | 5.55 | 1.999 | 35.286 | 45.587 | 0.6342 | 0.7047 | 12.906 | 13.462 |
| | | -10 | 4.122 | 4.43 | 2295.6 | 2514.6 | 3.851 | 1.796 | 27.548 | 34.438 | 0.6645 | 0.7164 | 9.2413 | 9.7662 |
| 45/45/10 | 0 | 5.797 | 6.07 | 3348.5 | 3563 | 2.754 | 1.731 | 1.704 | 20.496 | 24.701 | 0.6873 | 0.7218 | 6.4086 | 6.8717 |
| | -45.76 | -20 | 3.034 | 3.384 | 1519 | 1729.6 | 5.577 | 1.997 | 34.096 | 44.08 | 0.6291 | 0.704 | 12.646 | 13.049 |
| | | -10 | 4.092 | 4.422 | 2284.3 | 2517.9 | 3.866 | 1.791 | 26.634 | 33.312 | 0.6601 | 0.7156 | 9.0533 | 9.4754 |
| 55/35/10 | 0 | 5.762 | 6.057 | 3346 | 3570.5 | 2.762 | 1.725 | 1.696 | 19.829 | 23.904 | 0.6835 | 0.7208 | 6.2751 | 6.6749 |
| | -45.81 | -20 | 3.004 | 3.377 | 1507.5 | 1731.8 | 5.605 | 1.993 | 32.903 | 42.571 | 0.6232 | 0.7029 | 12.398 | 12.647 |
| | | -10 | 4.058 | 4.412 | 2273.6 | 2523.6 | 3.882 | 1.785 | 25.717 | 32.184 | 0.6549 | 0.7144 | 8.8742 | 9.1933 |
| 65/25/10 | 0 | 5.72 | 6.04 | 3333.1 | 3581.3 | 2.771 | 1.716 | 1.687 | 19.159 | 23.107 | 0.6791 | 0.7194 | 6.1481 | 6.4845 |
| | -45.92 | -20 | 2.97 | 3.367 | 1496.1 | 1736 | 5.636 | 1.985 | 31.705 | 41.059 | 0.6164 | 0.7015 | 12.163 | 12.256 |
| | | -10 | 4.018 | 4.398 | 2263.8 | 2532.2 | 3.9 | 1.775 | 24.795 | 31.054 | 0.649 | 0.7128 | 8.7039 | 8.9195 |
| 75/15/10 | 0 | 5.671 | 6.017 | 3328.2 | 3596.5 | 2.781 | 1.704 | 1.673 | 18.486 | 22.308 | 0.674 | 0.7176 | 6.0272 | 6.3002 |
| | -46.1 | -20 | 2.93 | 3.355 | 1485.1 | 1742.8 | 5.667 | 1.973 | 30.499 | 39.54 | 0.6086 | 0.6997 | 11.939 | 11.875 |
| | | -10 | 3.972 | 4.38 | 2255.1 | 2544.6 | 3.917 | 1.761 | 23.866 | 29.917 | 0.6421 | 0.7108 | 8.5414 | 8.653 |
| 15/70/15 | 0 | 5.615 | 5.99 | 3326 | 3617.1 | 2.792 | 1.688 | 1.656 | 17.806 | 21.503 | 0.668 | 0.7154 | 5.9111 | 6.1207 |
| | -45.2 | -20 | 3.084 | 3.37 | 1496.3 | 1662.6 | 5.661 | 2.061 | 38.182 | 49.123 | 0.6422 | 0.7045 | 13.664 | 14.514 |
| | | -10 | 4.139 | 4.403 | 2242.2 | 2425.2 | 3.917 | 1.846 | 29.82 | 37.137 | 0.6708 | 0.7164 | 9.8165 | 10.534 |
| 25/60/15 | 0 | 5.799 | 6.027 | 3267.3 | 3444.7 | 2.793 | 1.775 | 1.750 | 22.211 | 26.676 | 0.6918 | 0.7217 | 6.8455 | 7.4242 |
| | -45.11 | -20 | 3.065 | 3.367 | 1484.1 | 1659.8 | 5.689 | 2.065 | 36.985 | 47.604 | 0.6382 | 0.7043 | 13.38 | 14.077 |
| | | -10 | 4.118 | 4.399 | 2229.2 | 2423.4 | 3.932 | 1.847 | 28.9 | 36.001 | 0.6674 | 0.716 | 9.6109 | 10.225 |
| | | 0 | 5.773 | 6.019 | 3255.3 | 3445 | 2.801 | 1.773 | 21.539 | 25.872 | 0.689 | 0.7212 | 6.6993 | 7.2141 |

Çizelge Ek 1.8. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 35/50/15 | -45.06 | -20 | 3.042 | 3.363 | 1471.8 | 1657.9 | 5.719 | 2.067 | 2.029 | 35.789 | 46.089 | 0.6337 | 0.7038 | 13.109 | 13.653 |
| | -10 | 4.092 | 4.393 | 2216.4 | 2423.1 | 3.949 | 1.846 | 1.813 | 1.813 | 27.982 | 34.869 | 0.6635 | 0.7153 | 9.415 | 9.9257 |
| | 0 | 5.742 | 6.008 | 3244 | 3447.3 | 2.811 | 1.770 | 1.743 | 1.743 | 20.869 | 25.072 | 0.6856 | 0.7203 | 6.5604 | 7.0115 |
| 45/40/15 | -45.06 | -20 | 3.016 | 3.357 | 1459.4 | 1657 | 5.753 | 2.067 | 2.026 | 34.594 | 44.578 | 0.6285 | 0.703 | 12.852 | 13.241 |
| | -10 | 4.062 | 4.383 | 2203.9 | 2424.3 | 3.968 | 1.843 | 1.808 | 1.808 | 27.065 | 33.741 | 0.659 | 0.7144 | 9.2297 | 9.6368 |
| | 0 | 5.705 | 5.992 | 3233.8 | 3452.2 | 2.822 | 1.764 | 1.736 | 1.736 | 20.2 | 24.276 | 0.6817 | 0.7192 | 6.4297 | 6.8169 |
| 55/30/15 | -45.1 | -20 | 2.986 | 3.349 | 1447 | 1657.4 | 5.79 | 2.064 | 2.021 | 33.4 | 43.07 | 0.6225 | 0.7018 | 12.61 | 12.843 |
| | -10 | 4.026 | 4.37 | 2191.8 | 2427.6 | 3.989 | 1.837 | 1.800 | 1.800 | 26.148 | 32.615 | 0.6537 | 0.713 | 9.0559 | 9.359 |
| | 0 | 5.66 | 5.971 | 3224.8 | 3460 | 2.834 | 1.755 | 1.726 | 1.726 | 19.533 | 23.482 | 0.6771 | 0.7176 | 6.3075 | 6.6307 |
| 65/20/15 | -45.22 | -20 | 2.95 | 3.337 | 1434.6 | 1659.5 | 5.83 | 2.056 | 2.011 | 32.206 | 41.563 | 0.6155 | 0.7002 | 12.383 | 12.459 |
| | -10 | 3.984 | 4.353 | 2180.3 | 2433.3 | 4.012 | 1.827 | 1.789 | 1.789 | 25.231 | 31.491 | 0.6475 | 0.7113 | 8.8937 | 9.0922 |
| | 0 | 5.607 | 5.943 | 3217.5 | 3471.6 | 2.848 | 1.743 | 1.712 | 1.712 | 18.864 | 22.689 | 0.6717 | 0.7156 | 6.1935 | 6.4526 |
| 75/10/15 | -45.41 | -20 | 2.908 | 3.323 | 1422.3 | 1663.6 | 5.874 | 2.045 | 1.997 | 31.006 | 40.053 | 0.6074 | 0.6982 | 12.172 | 12.09 |
| | -10 | 3.935 | 4.332 | 2169.7 | 2442.4 | 4.037 | 1.814 | 1.774 | 1.774 | 24.309 | 30.363 | 0.6404 | 0.709 | 8.7423 | 8.8356 |
| | 0 | 5.545 | 5.91 | 3212.4 | 3488.1 | 2.863 | 1.726 | 1.694 | 1.694 | 18.192 | 21.893 | 0.6654 | 0.7131 | 6.0865 | 6.2816 |

Çizelge Ek 1.9. Sabit sıcaklıkta R125/R143a/R290 karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R125/R143a/R290 Karışımı | KNS (°C) | T _b (°C) | S TK | | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | O V | | TT (kJ/kg) | | | |
|--------------------------|----------|---------------------|--------|----------|--------------------------|--------|------------------------------|----------|------------------------|--------|----------|------------|----------|--------|--------|
| | | | Klasik | Isı Değ. | | | Klasik | Isı Değ. | | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | | |
| 10/85/5 | -48.87 | -20 | 3.116 | 3.426 | 1723.6 | 1931.6 | 5.115 | 1.808 | 1.774 | 38.398 | 49.933 | 0.64 | 0.7046 | 13.825 | 14.748 |
| | | | 4.198 | 4.486 | 2541.6 | 2766.8 | 3.606 | 1.652 | 1.621 | 29.871 | 37.603 | 0.6697 | 0.7165 | 9.8664 | 10.66 |
| | | | 5.917 | 6.167 | 3654.1 | 3869 | 2.613 | 1.619 | 1.594 | 22.104 | 26.827 | 0.6925 | 0.7226 | 6.798 | 7.4427 |
| 20/75/5 | -49.16 | -20 | 3.085 | 3.414 | 1716.4 | 1938.1 | 5.135 | 1.797 | 1.761 | 37.256 | 48.491 | 0.6341 | 0.7031 | 13.631 | 14.397 |
| | | | 4.161 | 4.468 | 2536.6 | 2777.6 | 3.617 | 1.640 | 1.609 | 28.998 | 36.531 | 0.6645 | 0.7148 | 9.7304 | 10.418 |
| | | | 5.868 | 6.139 | 3654 | 3885.9 | 2.621 | 1.606 | 1.580 | 21.473 | 26.077 | 0.6877 | 0.7206 | 6.7054 | 7.2856 |
| 30/65/5 | -49.54 | -20 | 3.049 | 3.399 | 1709.2 | 1946.2 | 5.157 | 1.784 | 1.747 | 36.116 | 47.054 | 0.6275 | 0.7012 | 13.454 | 14.06 |
| | | | 4.118 | 4.446 | 2532 | 2790.7 | 3.631 | 1.626 | 1.593 | 28.127 | 35.464 | 0.6584 | 0.7127 | 9.6074 | 10.189 |
| | | | 5.812 | 6.105 | 3655.1 | 3905.9 | 2.629 | 1.590 | 1.563 | 20.845 | 25.332 | 0.6823 | 0.7182 | 6.6227 | 7.1379 |
| 40/55/5 | -50 | -20 | 3.009 | 3.381 | 1702 | 1956 | 5.181 | 1.768 | 1.729 | 34.976 | 45.619 | 0.6199 | 0.6988 | 13.294 | 13.738 |

Çizelge Ek 1.9. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 50/45/5 | -10 | 4.068 | 4.42 | 2527.9 | 2806.4 | 3.646 | 1.609 | 1.575 | 27.256 | 34.399 | 0.6515 | 0.7101 | 9.4974 | 9.9714 |
| | 0 | 5.747 | 6.064 | 3657.8 | 3929.6 | 2.639 | 1.571 | 1.543 | 20.217 | 24.59 | 0.676 | 0.7154 | 6.5496 | 6.9992 |
| | -50.57 | -20 | 2.963 | 1694.9 | 1968.2 | 5.207 | 1.748 | 1.707 | 33.831 | 44.183 | 0.6113 | 0.696 | 13.151 | 13.431 |
| | -10 | 4.013 | 4.39 | 2524.6 | 2825.4 | 3.662 | 1.590 | 1.554 | 26.381 | 33.332 | 0.6437 | 0.707 | 9.3998 | 9.7648 |
| 60/35/5 | 0 | 5.674 | 6.016 | 3662.2 | 3957.9 | 2.649 | 1.549 | 1.520 | 19.586 | 23.847 | 0.6689 | 0.712 | 6.4853 | 6.8689 |
| | -20 | 2.911 | 3.334 | 1687.9 | 1983.2 | 5.233 | 1.725 | 1.681 | 32.676 | 42.738 | 0.6015 | 0.6926 | 13.022 | 13.136 |
| | -10 | 3.949 | 4.354 | 2522.2 | 2848.6 | 3.679 | 1.566 | 1.528 | 25.497 | 32.259 | 0.6347 | 0.7034 | 9.3129 | 9.5677 |
| 70/25/5 | 0 | 5.591 | 5.962 | 3669.1 | 3992 | 2.66 | 1.524 | 1.493 | 18.948 | 23.098 | 0.6607 | 0.708 | 6.428 | 6.745 |
| | -20 | 2.853 | 3.305 | 1681.2 | 2001.9 | 5.26 | 1.697 | 1.651 | 31.503 | 41.276 | 0.5903 | 0.6887 | 12.906 | 12.851 |
| | -10 | 3.879 | 4.314 | 2521.1 | 2877 | 3.695 | 1.539 | 1.499 | 24.597 | 31.171 | 0.6246 | 0.6992 | 9.2335 | 9.377 |
| 10/80/10 | 0 | 5.499 | 5.901 | 3678.9 | 4033.4 | 2.671 | 1.495 | 1.463 | 18.295 | 22.335 | 0.6516 | 0.7034 | 6.3746 | 6.6248 |
| | -20 | 3.108 | 3.425 | 1756.3 | 1972.7 | 5.034 | 1.770 | 1.736 | 39.631 | 51.567 | 0.6382 | 0.704 | 14.339 | 15.263 |
| | -10 | 4.189 | 4.485 | 2582.7 | 2816.5 | 3.56 | 1.622 | 1.592 | 30.825 | 38.825 | 0.6681 | 0.7158 | 10.232 | 11.035 |
| 20/70/10 | 0 | 5.908 | 6.166 | 3703.7 | 3927 | 2.587 | 1.595 | 1.570 | 22.803 | 27.69 | 0.691 | 0.7217 | 7.0469 | 7.7052 |
| | -20 | 3.072 | 3.409 | 1754.3 | 1986.7 | 5.046 | 1.751 | 1.716 | 38.449 | 50.087 | 0.6315 | 0.7018 | 14.169 | 14.934 |
| | -10 | 4.146 | 4.462 | 2585.1 | 2837.2 | 3.568 | 1.604 | 1.573 | 29.919 | 37.723 | 0.662 | 0.7134 | 10.114 | 10.811 |
| 30/60/10 | 0 | 5.851 | 6.131 | 3713.9 | 3956.4 | 2.593 | 1.575 | 1.550 | 22.147 | 26.918 | 0.6854 | 0.7191 | 6.9672 | 7.5617 |
| | -20 | 3.031 | 3.39 | 1752.7 | 2002.9 | 5.059 | 1.729 | 1.693 | 37.262 | 48.605 | 0.6239 | 0.6992 | 14.015 | 14.619 |
| | -10 | 4.096 | 4.435 | 2588.5 | 2861.1 | 3.576 | 1.582 | 1.550 | 29.008 | 36.619 | 0.655 | 0.7106 | 10.007 | 10.598 |
| 40/50/10 | 0 | 5.786 | 6.089 | 3726.1 | 3990.3 | 2.599 | 1.553 | 1.526 | 21.488 | 26.145 | 0.6791 | 0.716 | 6.8953 | 7.4257 |
| | -20 | 2.985 | 3.368 | 1751.5 | 2022 | 5.072 | 1.704 | 1.666 | 36.066 | 47.117 | 0.6153 | 0.6962 | 13.874 | 14.316 |
| | -10 | 4.041 | 4.404 | 2593.2 | 2889.1 | 3.585 | 1.558 | 1.524 | 28.089 | 35.508 | 0.6472 | 0.7073 | 9.9094 | 10.394 |
| 50/40/10 | 0 | 5.714 | 6.043 | 3741 | 4029.7 | 2.605 | 1.527 | 1.500 | 20.82 | 25.365 | 0.672 | 0.7124 | 6.829 | 7.2956 |
| | -20 | 2.934 | 3.343 | 1750.8 | 2044.5 | 5.084 | 1.676 | 1.635 | 34.854 | 45.611 | 0.6057 | 0.6926 | 13.744 | 14.021 |
| | -10 | 3.979 | 4.369 | 2599.4 | 2922 | 3.592 | 1.531 | 1.495 | 27.154 | 34.382 | 0.6385 | 0.7035 | 9.8173 | 10.195 |
| 60/30/10 | 0 | 5.634 | 5.991 | 3759.1 | 4076 | 2.61 | 1.499 | 1.470 | 20.138 | 24.571 | 0.6641 | 0.7083 | 6.7651 | 7.1681 |
| | -20 | 2.876 | 3.315 | 1750.8 | 2071.5 | 5.092 | 1.643 | 1.600 | 33.614 | 44.077 | 0.5948 | 0.6884 | 13.62 | 13.733 |
| | -10 | 3.91 | 4.332 | 2607.7 | 2961.3 | 3.597 | 1.499 | 1.463 | 26.192 | 33.228 | 0.6286 | 0.6991 | 9.7267 | 9.9982 |
| 70/20/10 | 0 | 5.548 | 5.936 | 3781.5 | 4131 | 2.613 | 1.467 | 1.437 | 19.431 | 23.752 | 0.6553 | 0.7036 | 6.6986 | 7.0391 |
| | -20 | 2.813 | 3.284 | 1752 | 2104.4 | 5.093 | 1.606 | 1.561 | 32.332 | 42.496 | 0.5827 | 0.6837 | 13.492 | 13.44 |
| | -10 | 3.836 | 4.291 | 2618.8 | 3008.9 | 3.597 | 1.465 | 1.426 | 25.19 | 32.03 | 0.6178 | 0.6942 | 9.6286 | 9.7945 |
| 10/75/15 | 0 | 5.455 | 5.879 | 3809.4 | 4197.3 | 2.614 | 1.432 | 1.401 | 18.687 | 22.893 | 0.6457 | 0.6985 | 6.6217 | 6.9015 |
| | -20 | 3.114 | 3.434 | 1779.6 | 2000.2 | 4.961 | 1.750 | 1.717 | 40.918 | 53.237 | 0.6387 | 0.7048 | 14.785 | 15.715 |
| | -10 | 4.197 | 4.496 | 2609 | 2846.8 | 3.52 | 1.609 | 1.579 | 31.835 | 40.09 | 0.6684 | 0.7164 | 10.555 | 11.37 |

Çizelge Ek 1.9. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20/65/15 | 0 | 5.918 | 6.18 | 3731.2 | 3958 | 2.566 | 1.586 | 1.561 | 23.557 | 28.597 | 0.6912 | 0.7222 | 7.2736 | 7.9445 |
| | -50.71 | 3.076 | 3.417 | 1783.1 | 2021.2 | 4.965 | 1.725 | 1.691 | 39.68 | 51.7 | 0.6315 | 0.7023 | 14.62 | 15.391 |
| | -10 | 4.151 | 4.472 | 2618.5 | 2876.2 | 3.523 | 1.585 | 1.555 | 30.886 | 38.946 | 0.6619 | 0.7137 | 10.443 | 11.152 |
| 30/55/15 | 0 | 5.858 | 6.143 | 3750.3 | 3997.8 | 2.569 | 1.562 | 1.537 | 22.87 | 27.796 | 0.6852 | 0.7192 | 7.1991 | 7.8063 |
| | -51.34 | 3.034 | 3.398 | 1787.6 | 2045.7 | 4.966 | 1.697 | 1.661 | 38.424 | 50.146 | 0.6236 | 0.6994 | 14.464 | 15.073 |
| | -10 | 4.1 | 4.444 | 2630 | 2910.3 | 3.525 | 1.559 | 1.527 | 29.921 | 37.786 | 0.6546 | 0.7105 | 10.335 | 10.938 |
| 40/45/15 | 0 | 5.792 | 6.101 | 3772.9 | 4043.9 | 2.571 | 1.535 | 1.509 | 22.169 | 26.982 | 0.6785 | 0.7157 | 7.1266 | 7.6704 |
| | -52.04 | 2.988 | 3.377 | 1793.6 | 2074.5 | 4.964 | 1.666 | 1.628 | 37.141 | 48.562 | 0.6147 | 0.6961 | 14.31 | 14.757 |
| | -10 | 4.045 | 4.415 | 2644.1 | 2950.3 | 3.524 | 1.530 | 1.496 | 28.931 | 36.6 | 0.6465 | 0.707 | 10.227 | 10.724 |
| 50/35/15 | 0 | 5.721 | 6.057 | 3799.9 | 4097.8 | 2.572 | 1.506 | 1.478 | 21.446 | 26.145 | 0.6712 | 0.7119 | 7.0515 | 7.5326 |
| | -52.82 | 2.938 | 3.355 | 1801.4 | 2109 | 4.955 | 1.631 | 1.591 | 35.816 | 46.933 | 0.6049 | 0.6924 | 14.151 | 14.436 |
| | -10 | 3.985 | 4.385 | 2661.6 | 2997.9 | 3.52 | 1.497 | 1.463 | 27.903 | 35.373 | 0.6376 | 0.7031 | 10.111 | 10.503 |
| 60/25/15 | 0 | 5.646 | 6.012 | 3832.6 | 4161.7 | 2.57 | 1.473 | 1.445 | 20.69 | 25.271 | 0.6632 | 0.7077 | 6.9676 | 7.3868 |
| | -53.68 | 2.883 | 3.332 | 1811.9 | 2150.9 | 4.935 | 1.591 | 1.549 | 34.43 | 45.235 | 0.5941 | 0.6883 | 13.975 | 14.099 |
| | -10 | 3.922 | 4.355 | 2683.8 | 3055.6 | 3.508 | 1.461 | 1.425 | 26.818 | 34.085 | 0.628 | 0.6988 | 9.9773 | 10.266 |
| 70/15/15 | 0 | 5.57 | 5.97 | 3872.7 | 4238.6 | 2.563 | 1.438 | 1.408 | 19.883 | 24.345 | 0.6547 | 0.7032 | 6.8658 | 7.2245 |
| | -54.6 | 2.825 | 3.31 | 1826.1 | 2202.9 | 4.898 | 1.547 | 1.503 | 32.957 | 43.437 | 0.5823 | 0.6839 | 13.766 | 13.73 |
| | -10 | 3.857 | 4.328 | 2712.6 | 3127 | 3.485 | 1.422 | 1.384 | 25.653 | 32.706 | 0.6176 | 0.6943 | 9.8108 | 9.9975 |
| | 0 | 5.496 | 5.935 | 3923.3 | 4333.2 | 2.549 | 1.401 | 1.370 | 19.004 | 23.339 | 0.6457 | 0.6986 | 6.7334 | 7.0335 |

Çizelge Ek 1.10. Sabit sıcaklıkta R32/R125/R143a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R125/R143a Karışımı | KNS (°C) | T _b °C | S TK | | HSK | | (kJ/m ³) BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|-------------------------|----------|-------------------|--------|----------|--------|----------|-------------------------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. |
| 10/10/80 | -49.52 | -20 | 3.137 | 3.367 | 1844.1 | 2010.8 | 5.257 | 1.701 | 1.674 | 40.135 | 52.095 | 0.6459 | 0.6949 | 14.212 | 15.894 | |
| | | -10 | 4.198 | 4.402 | 2709.1 | 2886.2 | 3.698 | 1.550 | 1.525 | 31.246 | 39.288 | 0.6722 | 0.7067 | 10.242 | 11.524 | |
| 10/20/70 | 0 | 5.871 | 6.033 | 3881.8 | 4044.8 | 2.674 | 1.512 | 1.492 | 23.167 | 28.105 | 0.6912 | 0.7124 | 7.1531 | 8.0829 | | |
| | -49.48 | -20 | 3.123 | 3.367 | 1838.4 | 2014.9 | 5.274 | 1.699 | 1.671 | 38.97 | 50.609 | 0.643 | 0.6948 | 13.912 | 15.448 | |
| | | -10 | 4.183 | 4.401 | 2705.8 | 2894.4 | 3.707 | 1.546 | 1.521 | 30.347 | 38.172 | 0.6698 | 0.7065 | 10.02 | 11.204 | |
| | 0 | 5.855 | 6.032 | 3883.7 | 4058.9 | 2.679 | 1.508 | 1.486 | 22.507 | 27.311 | 0.6893 | 0.7121 | 6.9934 | 7.8625 | | |

Çizelge Ek 1.10. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10/30/60 | -49.44 | -20 | 3.109 | 3.367 | 1833.4 | 2020.6 | 5.289 | 1.696 | 1.666 | 37.794 | 49.111 | 0.6399 | 0.6946 | 13.609 | 15 |
| | -10 | 4.168 | 4.401 | 2703.9 | 2904.9 | 3.714 | 1.541 | 1.515 | 1.515 | 29.438 | 37.046 | 0.6672 | 0.7062 | 9.7971 | 10.883 |
| | 0 | 5.838 | 6.031 | 3888 | 4076.5 | 2.683 | 1.502 | 1.479 | 1.479 | 21.838 | 26.508 | 0.6872 | 0.7118 | 6.8318 | 7.6402 |
| 10/40/50 | -49.42 | -20 | 3.093 | 3.367 | 1829.4 | 2028.4 | 5.303 | 1.691 | 1.660 | 36.607 | 47.6 | 0.6365 | 0.6943 | 13.306 | 14.55 |
| | -10 | 4.151 | 4.4 | 2703.7 | 2918.3 | 3.722 | 1.535 | 1.508 | 1.508 | 28.52 | 35.909 | 0.6644 | 0.7059 | 9.5721 | 10.56 |
| | 0 | 5.821 | 6.031 | 3895 | 4098.1 | 2.686 | 1.494 | 1.472 | 1.472 | 21.161 | 25.697 | 0.6849 | 0.7114 | 6.668 | 7.4157 |
| 10/50/40 | -49.41 | -20 | 3.076 | 3.367 | 1826.5 | 2038.5 | 5.316 | 1.684 | 1.652 | 35.407 | 46.075 | 0.6328 | 0.694 | 13 | 14.097 |
| | -10 | 4.134 | 4.4 | 2705.4 | 2935.2 | 3.728 | 1.528 | 1.499 | 1.499 | 27.591 | 34.76 | 0.6613 | 0.7056 | 9.3447 | 10.234 |
| | 0 | 5.803 | 6.031 | 3905.2 | 4124.4 | 2.689 | 1.486 | 1.462 | 1.462 | 20.474 | 24.874 | 0.6825 | 0.711 | 6.5015 | 7.1886 |
| 10/60/30 | -49.42 | -20 | 3.058 | 3.367 | 1824.9 | 2051.3 | 5.327 | 1.676 | 1.641 | 34.194 | 44.534 | 0.6288 | 0.6937 | 12.692 | 13.642 |
| | -10 | 4.115 | 4.401 | 2709.4 | 2956 | 3.732 | 1.519 | 1.489 | 1.489 | 26.649 | 33.597 | 0.658 | 0.7052 | 9.1145 | 9.9051 |
| | 0 | 5.785 | 6.032 | 3919.4 | 4156.4 | 2.69 | 1.476 | 1.451 | 1.451 | 19.776 | 24.04 | 0.6798 | 0.7106 | 6.3317 | 6.958 |
| 10/70/20 | -49.46 | -20 | 3.038 | 3.367 | 1825 | 2067.6 | 5.334 | 1.665 | 1.628 | 32.964 | 42.975 | 0.6244 | 0.6933 | 12.382 | 13.183 |
| | -10 | 4.095 | 4.402 | 2716.4 | 2981.8 | 3.735 | 1.508 | 1.476 | 1.476 | 25.692 | 32.417 | 0.6543 | 0.7047 | 8.8805 | 9.5717 |
| | 0 | 5.766 | 6.035 | 3938.3 | 4195.4 | 2.69 | 1.464 | 1.438 | 1.438 | 19.064 | 23.191 | 0.677 | 0.7101 | 6.1574 | 6.7229 |
| 20/10/70 | -50.79 | -20 | 3.165 | 3.332 | 2001.3 | 2133.7 | 5.261 | 1.581 | 1.562 | 42.944 | 55.674 | 0.6522 | 0.688 | 14.935 | 17.367 |
| | -10 | 4.221 | 4.359 | 2924.5 | 3060.8 | 3.703 | 1.443 | 1.424 | 1.424 | 33.379 | 41.949 | 0.6766 | 0.7003 | 10.794 | 12.571 |
| | 0 | 5.883 | 5.977 | 4170 | 4287.6 | 2.679 | 1.411 | 1.394 | 1.394 | 24.71 | 29.983 | 0.6937 | 0.7066 | 7.5692 | 8.7976 |
| 20/20/60 | -50.73 | -20 | 3.157 | 3.333 | 2000 | 2140.6 | 5.278 | 1.579 | 1.557 | 41.782 | 54.189 | 0.6503 | 0.6881 | 14.613 | 16.902 |
| | -10 | 4.212 | 4.361 | 2927.6 | 3073.5 | 3.711 | 1.439 | 1.419 | 1.419 | 32.479 | 40.831 | 0.675 | 0.7003 | 10.555 | 12.235 |
| | 0 | 5.875 | 5.98 | 4181.1 | 4308.8 | 2.683 | 1.405 | 1.388 | 1.388 | 24.046 | 29.183 | 0.6925 | 0.7066 | 7.3953 | 8.5633 |
| 20/30/50 | -50.68 | -20 | 3.148 | 3.335 | 1999.7 | 2149.2 | 5.293 | 1.574 | 1.552 | 40.609 | 52.693 | 0.6482 | 0.6882 | 14.287 | 16.432 |
| | -10 | 4.203 | 4.363 | 2932.6 | 3088.8 | 3.719 | 1.433 | 1.413 | 1.413 | 31.571 | 39.703 | 0.6733 | 0.7004 | 10.313 | 11.895 |
| | 0 | 5.868 | 5.985 | 4195 | 4333.7 | 2.686 | 1.399 | 1.381 | 1.381 | 23.375 | 28.376 | 0.6912 | 0.7066 | 7.2179 | 8.3254 |
| 20/40/40 | -50.63 | -20 | 3.138 | 3.337 | 2000.7 | 2159.9 | 5.308 | 1.568 | 1.545 | 39.426 | 51.186 | 0.646 | 0.6882 | 13.957 | 15.958 |
| | -10 | 4.195 | 4.367 | 2939.6 | 3107 | 3.726 | 1.427 | 1.406 | 1.406 | 30.653 | 38.565 | 0.6716 | 0.7005 | 10.066 | 11.551 |
| | 0 | 5.861 | 5.991 | 4212.3 | 4362.9 | 2.689 | 1.391 | 1.373 | 1.373 | 22.694 | 27.559 | 0.6899 | 0.7067 | 7.0368 | 8.0836 |
| 20/50/30 | -50.58 | -20 | 3.129 | 3.34 | 2003.1 | 2172.8 | 5.322 | 1.562 | 1.537 | 38.234 | 49.666 | 0.6437 | 0.6883 | 13.624 | 15.48 |
| | -10 | 4.186 | 4.371 | 2949.1 | 3128.6 | 3.732 | 1.419 | 1.397 | 1.397 | 29.726 | 37.416 | 0.6698 | 0.7006 | 9.8161 | 11.203 |
| | 0 | 5.855 | 5.998 | 4233.5 | 4397 | 2.691 | 1.383 | 1.364 | 1.364 | 22.005 | 26.732 | 0.6886 | 0.7068 | 6.8518 | 7.8376 |
| 20/60/20 | -50.54 | -20 | 3.119 | 3.344 | 2007.1 | 2188.2 | 5.334 | 1.554 | 1.528 | 37.031 | 48.134 | 0.6412 | 0.6885 | 13.287 | 14.996 |
| | -10 | 4.178 | 4.376 | 2961.2 | 3154.2 | 3.736 | 1.411 | 1.387 | 1.387 | 28.789 | 36.256 | 0.6679 | 0.7007 | 9.5619 | 10.85 |
| | 0 | 5.851 | 6.008 | 4259.1 | 4436.8 | 2.692 | 1.374 | 1.354 | 1.354 | 21.307 | 25.895 | 0.6873 | 0.707 | 6.6626 | 7.5871 |
| 20/70/10 | -50.52 | -20 | 3.108 | 3.348 | 2012.9 | 2206.7 | 5.344 | 1.544 | 1.517 | 35.819 | 46.591 | 0.6386 | 0.6886 | 12.947 | 14.508 |

Çizelge Ek 1.10. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 30/10/60 | -10 | 4.169 | 4.383 | 2976.5 | 3184.3 | 3.74 | 1.401 | 1.376 | 27.843 | 35.084 | 0.6659 | 0.7009 | 9.3036 | 10.492 |
| | 0 | 5.847 | 6.02 | 4290 | 4483.3 | 2.692 | 1.363 | 1.343 | 20.6 | 25.047 | 0.686 | 0.7073 | 6.4688 | 7.3314 |
| 30/20/50 | -20 | 3.213 | 3.321 | 2150.1 | 2244.3 | 5.24 | 1.494 | 1.480 | 45.712 | 59.166 | 0.6611 | 0.6844 | 15.49 | 18.675 |
| | -10 | 4.276 | 4.352 | 3127.9 | 3219 | 3.689 | 1.367 | 1.352 | 35.439 | 44.495 | 0.6842 | 0.6975 | 11.191 | 13.458 |
| 30/30/40 | 0 | 5.951 | 5.981 | 4441.4 | 4509 | 2.669 | 1.340 | 1.326 | 26.157 | 31.728 | 0.7001 | 0.7049 | 7.8433 | 9.3638 |
| | -20 | 3.208 | 3.324 | 2151.8 | 2252.5 | 5.259 | 1.491 | 1.476 | 44.568 | 57.703 | 0.6599 | 0.6846 | 15.158 | 18.202 |
| 30/40/30 | -10 | 4.272 | 4.356 | 3135.6 | 3234.2 | 3.698 | 1.362 | 1.347 | 34.552 | 43.392 | 0.6833 | 0.6978 | 10.943 | 13.114 |
| | 0 | 5.95 | 5.988 | 4459.2 | 4534.7 | 2.673 | 1.334 | 1.320 | 25.501 | 30.937 | 0.6995 | 0.7051 | 7.6623 | 9.1228 |
| 30/50/20 | -20 | 3.203 | 3.326 | 2154.6 | 2262.2 | 5.277 | 1.487 | 1.470 | 43.417 | 56.233 | 0.6586 | 0.6848 | 14.822 | 17.724 |
| | -10 | 4.268 | 4.36 | 3145.2 | 3251.9 | 3.707 | 1.357 | 1.341 | 33.66 | 42.282 | 0.6824 | 0.698 | 10.692 | 12.767 |
| 30/60/10 | 0 | 5.949 | 5.995 | 4479.9 | 4563.9 | 2.677 | 1.328 | 1.314 | 24.839 | 30.14 | 0.6989 | 0.7054 | 7.4781 | 8.8784 |
| | -20 | 3.198 | 3.33 | 2158.6 | 2273.7 | 5.295 | 1.481 | 1.465 | 42.261 | 54.756 | 0.6573 | 0.6851 | 14.483 | 17.243 |
| 30/50/20 | -10 | 4.264 | 4.365 | 3156.9 | 3272.2 | 3.715 | 1.351 | 1.334 | 32.762 | 41.165 | 0.6814 | 0.6984 | 10.438 | 12.417 |
| | 0 | 5.949 | 6.004 | 4504 | 4597.1 | 2.68 | 1.321 | 1.306 | 24.173 | 29.337 | 0.6984 | 0.7058 | 7.2909 | 8.6307 |
| 30/60/10 | -20 | 3.193 | 3.334 | 2163.9 | 2286.9 | 5.313 | 1.476 | 1.458 | 41.101 | 53.273 | 0.6559 | 0.6854 | 14.141 | 16.759 |
| | -10 | 4.261 | 4.372 | 3170.8 | 3295.4 | 3.723 | 1.344 | 1.327 | 31.86 | 40.044 | 0.6805 | 0.6988 | 10.181 | 12.063 |
| 30/50/20 | 0 | 5.95 | 6.015 | 4531.8 | 4634.7 | 2.683 | 1.313 | 1.298 | 23.501 | 28.529 | 0.6979 | 0.7063 | 7.1007 | 8.3796 |
| | -20 | 3.188 | 3.338 | 2170.6 | 2302.2 | 5.332 | 1.469 | 1.450 | 39.938 | 51.787 | 0.6545 | 0.6858 | 13.797 | 16.272 |
| 30/60/10 | -10 | 4.258 | 4.378 | 3189.2 | 3321.8 | 3.731 | 1.336 | 1.318 | 30.954 | 38.918 | 0.6795 | 0.6992 | 9.9215 | 11.706 |
| | 0 | 5.952 | 6.027 | 4563.8 | 4677.2 | 2.686 | 1.304 | 1.289 | 22.826 | 27.717 | 0.6974 | 0.7068 | 6.9078 | 8.1254 |

Çizelge Ek 1.11. Sabit sıcaklıkta R32/R125/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R125/R134a Karışımı | KNS (°C) | T _b (°C) | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK | | W _k | | O V | | TT | |
|-------------------------|----------|---------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|----------------|----------|--------|----------|--------|----------|
| | | | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. |
| 5/5/90 | -31.78 | -20 | 3.282 | 3.444 | 1007.7 | 1064.5 | 7.096 | 3.257 | 3.235 | 42.582 | 53.211 | 0.684 | 0.725 | 13.455 | 14.633 | |
| | | -10 | 4.341 | 4.482 | 1552.5 | 1616.2 | 4.707 | 2.796 | 2.773 | 33.568 | 40.598 | 0.7065 | 0.7369 | 9.8533 | 10.682 | |
| 15/5/80 | -37.44 | 0 | 5.981 | 6.091 | 2316.3 | 2377.6 | 3.231 | 2.582 | 2.562 | 25.331 | 29.575 | 0.7201 | 0.7411 | 7.0911 | 7.6581 | |
| | | -20 | 3.134 | 3.24 | 1138.9 | 1183.1 | 7.396 | 2.752 | 2.739 | 47.933 | 59.922 | 0.6659 | 0.699 | 16.013 | 18.034 | |
| | | -10 | 4.11 | 4.192 | 1742.7 | 1790.2 | 4.923 | 2.358 | 2.342 | 37.952 | 45.955 | 0.685 | 0.7094 | 11.956 | 13.354 | |

Çizelge Ek 1.11. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 25/5/70 | 0 | 5.593 | 5.643 | 2584 | 2626 | 3.39 | 2.164 | 2.149 | 28.874 | 33.772 | 0.6945 | 0.7115 | 8.8199 |
| | -20 | 3.069 | 3.13 | 1283.3 | 1312.8 | 7.407 | 2.391 | 2.384 | 52.415 | 65.563 | 0.6596 | 0.683 | 17.844 |
| | -10 | 4.01 | 4.046 | 1950.2 | 1979 | 4.95 | 2.056 | 2.044 | 41.487 | 50.3 | 0.677 | 0.6934 | 13.398 |
| 35/5/60 | 0 | 5.431 | 5.435 | 2873.6 | 2893.4 | 3.421 | 1.890 | 1.878 | 31.587 | 37.014 | 0.685 | 0.6955 | 9.9493 |
| | -20 | 3.051 | 3.075 | 1441.6 | 1454.3 | 7.251 | 2.116 | 2.114 | 56.232 | 70.403 | 0.6589 | 0.6725 | 19.184 |
| | -10 | 3.983 | 3.98 | 2175.3 | 2182.8 | 4.868 | 1.831 | 1.823 | 44.385 | 53.901 | 0.6756 | 0.6836 | 14.397 |
| 45/5/50 | 0 | 5.391 | 5.353 | 3185.1 | 3179.4 | 3.378 | 1.693 | 1.684 | 33.695 | 39.569 | 0.6831 | 0.6867 | 10.68 |
| | -20 | 3.065 | 3.054 | 1614.3 | 1607.8 | 7.001 | 1.899 | 1.899 | 59.485 | 74.577 | 0.6614 | 0.6657 | 20.143 |
| | -10 | 4.004 | 3.965 | 2418.3 | 2401.6 | 4.724 | 1.656 | 1.651 | 46.761 | 56.9 | 0.678 | 0.678 | 15.057 |
| 55/5/40 | 0 | 5.428 | 5.352 | 3518 | 3483.5 | 3.293 | 1.543 | 1.536 | 35.322 | 41.582 | 0.6855 | 0.6825 | 11.109 |
| | -20 | 3.103 | 3.06 | 1801.9 | 1773.7 | 6.699 | 1.722 | 1.725 | 62.232 | 78.167 | 0.6661 | 0.6619 | 20.78 |
| | -10 | 4.061 | 3.986 | 2679.3 | 2635.2 | 4.546 | 1.516 | 1.513 | 48.683 | 59.382 | 0.683 | 0.6755 | 15.433 |
| 65/5/30 | 0 | 5.522 | 5.408 | 3871.8 | 3805 | 3.185 | 1.426 | 1.421 | 36.542 | 43.141 | 0.691 | 0.6818 | 11.291 |
| | -20 | 3.159 | 3.086 | 2004.8 | 1952 | 6.373 | 1.576 | 1.581 | 64.516 | 81.227 | 0.6726 | 0.6603 | 21.124 |
| | -10 | 4.145 | 4.037 | 2958.2 | 2883.4 | 4.351 | 1.401 | 1.400 | 50.198 | 61.408 | 0.69 | 0.6755 | 15.56 |
| 75/5/20 | 0 | 5.662 | 5.508 | 4246.1 | 4143 | 3.064 | 1.333 | 1.329 | 37.408 | 44.308 | 0.699 | 0.6837 | 11.26 |
| | -20 | 3.232 | 3.128 | 2223.3 | 2142.9 | 6.04 | 1.454 | 1.460 | 66.365 | 83.798 | 0.6806 | 0.6608 | 21.196 |
| | -10 | 4.254 | 4.111 | 3255.2 | 3146.1 | 4.15 | 1.307 | 1.307 | 51.341 | 63.018 | 0.6989 | 0.6776 | 15.458 |
| 5/10/85 | 0 | 5.84 | 5.647 | 4640.4 | 4497 | 2.94 | 1.259 | 1.256 | 37.958 | 45.125 | 0.7092 | 0.688 | 11.039 |
| | -20 | 3.232 | 3.403 | 1024.8 | 1087.2 | 7.142 | 3.154 | 3.130 | 42.307 | 52.93 | 0.6762 | 0.7204 | 13.698 |
| | -10 | 4.273 | 4.423 | 1579 | 1649.1 | 4.742 | 2.706 | 2.682 | 33.396 | 40.437 | 0.6986 | 0.7317 | 10.064 |
| 15/10/75 | 0 | 5.878 | 5.997 | 2355.9 | 2423.9 | 3.258 | 2.495 | 2.474 | 25.254 | 29.517 | 0.7121 | 0.7352 | 7.2715 |
| | -20 | 3.102 | 3.216 | 1162 | 1211.4 | 7.388 | 2.669 | 2.655 | 47.451 | 59.395 | 0.6608 | 0.6959 | 16.097 |
| | -10 | 4.068 | 4.159 | 1777.5 | 1831 | 4.923 | 2.289 | 2.271 | 37.587 | 45.57 | 0.68 | 0.7061 | 12.029 |
| 25/10/65 | 0 | 5.535 | 5.593 | 2635.1 | 2683.3 | 3.394 | 2.101 | 2.084 | 28.616 | 33.51 | 0.6897 | 0.7079 | 8.8784 |
| | -20 | 3.049 | 3.118 | 1313.4 | 1347.7 | 7.357 | 2.321 | 2.314 | 51.743 | 64.812 | 0.6561 | 0.6809 | 17.795 |
| | -10 | 3.986 | 4.03 | 1994.6 | 2028.9 | 4.923 | 1.998 | 1.986 | 40.948 | 49.716 | 0.6739 | 0.6912 | 13.355 |
| 35/10/55 | 0 | 5.402 | 5.412 | 2937.6 | 2962.8 | 3.407 | 1.839 | 1.827 | 31.169 | 36.574 | 0.6821 | 0.6933 | 9.9075 |
| | -20 | 3.042 | 3.071 | 1479.7 | 1496.7 | 7.168 | 2.056 | 2.052 | 55.369 | 69.431 | 0.6567 | 0.6713 | 19.009 |
| | -10 | 3.974 | 3.977 | 2230.6 | 2242.8 | 4.82 | 1.782 | 1.773 | 43.677 | 53.125 | 0.6738 | 0.6825 | 14.247 |
| 45/10/45 | 0 | 5.385 | 5.353 | 3263.4 | 3262.2 | 3.35 | 1.650 | 1.641 | 33.128 | 38.963 | 0.6816 | 0.6857 | 10.547 |
| | -20 | 3.065 | 3.06 | 1661.6 | 1658.8 | 6.891 | 1.845 | 1.845 | 58.427 | 73.382 | 0.6604 | 0.6654 | 19.843 |
| | -10 | 4.009 | 3.974 | 2485.9 | 2472.9 | 4.66 | 1.613 | 1.607 | 45.884 | 55.933 | 0.6774 | 0.6778 | 14.802 |
| | 0 | 5.443 | 5.371 | 3612.2 | 3581 | 3.254 | 1.507 | 1.500 | 34.607 | 40.813 | 0.6854 | 0.6826 | 10.888 |

Çizelge Ek 1.11. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 55/10/35 | -48.1 | -20 | 3.112 | 3.074 | 1859.7 | 1834.2 | 6.569 | 1.673 | 1.676 | 60.973 | 76.743 | 0.6662 | 0.6624 | 20.352 | 25.907 |
| | | -10 | 4.079 | 4.008 | 2760.5 | 2718.9 | 4.469 | 1.478 | 1.474 | 47.634 | 58.224 | 0.6835 | 0.6762 | 15.074 | 18.851 |
| | | 0 | 5.558 | 5.446 | 3983.4 | 3918.2 | 3.137 | 1.395 | 1.390 | 35.682 | 42.212 | 0.6922 | 0.6828 | 10.984 | 13.389 |
| 65/10/25 | -49.37 | -20 | 3.179 | 3.108 | 2074.5 | 2023.2 | 6.229 | 1.532 | 1.536 | 63.047 | 79.567 | 0.6738 | 0.6618 | 20.564 | 26.913 |
| | | -10 | 4.177 | 4.071 | 3054.5 | 2980.7 | 4.264 | 1.367 | 1.366 | 48.975 | 60.056 | 0.6918 | 0.6772 | 15.095 | 19.389 |
| | | 0 | 5.719 | 5.566 | 4376.5 | 4273.2 | 3.011 | 1.307 | 1.303 | 36.404 | 43.221 | 0.7014 | 0.6858 | 10.869 | 13.578 |
| 75/10/15 | -50.43 | -20 | 3.262 | 3.159 | 2306.3 | 2225.9 | 5.885 | 1.414 | 1.419 | 64.678 | 81.892 | 0.683 | 0.6631 | 20.5 | 27.586 |
| | | -10 | 4.301 | 4.158 | 3368.1 | 3258.1 | 4.057 | 1.277 | 1.276 | 49.94 | 61.468 | 0.7019 | 0.6803 | 14.886 | 19.654 |
| | | 0 | 5.921 | 5.726 | 4791.1 | 4645.3 | 2.881 | 1.236 | 1.233 | 36.81 | 43.88 | 0.713 | 0.6913 | 10.564 | 13.547 |
| 5/15/80 | -34.32 | -20 | 3.186 | 3.367 | 1043.3 | 1111.5 | 7.172 | 3.054 | 3.029 | 41.974 | 52.58 | 0.6689 | 0.7161 | 13.897 | 14.93 |
| | | -10 | 4.21 | 4.37 | 1607.3 | 1684.3 | 4.767 | 2.619 | 2.595 | 33.169 | 40.211 | 0.6914 | 0.727 | 10.236 | 10.98 |
| | | 0 | 5.786 | 5.914 | 2398.3 | 2473.5 | 3.279 | 2.413 | 2.391 | 25.126 | 29.401 | 0.7048 | 0.7299 | 7.4169 | 7.9409 |
| 15/15/70 | -39.42 | -20 | 3.073 | 3.195 | 1187 | 1242 | 7.364 | 2.589 | 2.573 | 46.911 | 58.799 | 0.6559 | 0.6931 | 16.141 | 18.046 |
| | | -10 | 4.031 | 4.13 | 1815 | 1875 | 4.914 | 2.221 | 2.203 | 37.168 | 45.123 | 0.6754 | 0.703 | 12.065 | 13.4 |
| | | 0 | 5.484 | 5.551 | 2689.8 | 2744.6 | 3.392 | 2.039 | 2.022 | 28.307 | 33.191 | 0.6854 | 0.7047 | 8.9045 | 9.8019 |
| 25/15/60 | -42.82 | -20 | 3.032 | 3.108 | 1345.9 | 1385.5 | 7.292 | 2.253 | 2.243 | 51.008 | 63.989 | 0.6529 | 0.6791 | 17.704 | 20.532 |
| | | -10 | 3.967 | 4.018 | 2042.5 | 2082.7 | 4.888 | 1.942 | 1.929 | 40.353 | 49.067 | 0.671 | 0.6894 | 13.275 | 15.239 |
| | | 0 | 5.38 | 5.397 | 3006.3 | 3037.4 | 3.387 | 1.790 | 1.777 | 30.701 | 36.077 | 0.6797 | 0.6915 | 9.8339 | 11.129 |
| 35/15/50 | -45.28 | -20 | 3.035 | 3.071 | 1521.1 | 1542.8 | 7.07 | 1.995 | 1.991 | 54.439 | 68.382 | 0.6549 | 0.6704 | 18.79 | 22.536 |
| | | -10 | 3.97 | 3.979 | 2290.4 | 2307.7 | 4.764 | 1.733 | 1.724 | 42.91 | 52.281 | 0.6724 | 0.6817 | 14.059 | 16.641 |
| | | 0 | 5.386 | 5.36 | 3347.8 | 3351.5 | 3.317 | 1.609 | 1.599 | 32.508 | 38.297 | 0.6807 | 0.6851 | 10.381 | 12.061 |
| 45/15/40 | -47.16 | -20 | 3.069 | 3.069 | 1713.2 | 1714.3 | 6.769 | 1.791 | 1.790 | 57.295 | 72.103 | 0.6597 | 0.6655 | 19.496 | 24.122 |
| | | -10 | 4.019 | 3.989 | 2559.1 | 2550.2 | 4.587 | 1.570 | 1.564 | 44.942 | 54.894 | 0.6772 | 0.678 | 14.508 | 17.676 |
| | | 0 | 5.467 | 5.399 | 3713.9 | 3686.1 | 3.21 | 1.472 | 1.465 | 33.838 | 39.982 | 0.6857 | 0.683 | 10.634 | 12.673 |
| 55/15/30 | -48.65 | -20 | 3.126 | 3.092 | 1922.9 | 1900.3 | 6.429 | 1.626 | 1.627 | 59.632 | 75.226 | 0.6668 | 0.6633 | 19.872 | 25.326 |
| | | -10 | 4.103 | 4.036 | 2848.7 | 2809.8 | 4.385 | 1.440 | 1.436 | 46.516 | 56.988 | 0.6846 | 0.6774 | 14.673 | 18.385 |
| | | 0 | 5.604 | 5.494 | 4104 | 4040.6 | 3.086 | 1.366 | 1.360 | 34.764 | 41.219 | 0.6938 | 0.6844 | 10.643 | 13.009 |
| 65/15/20 | -49.87 | -20 | 3.203 | 3.135 | 2150.8 | 2101.1 | 6.074 | 1.489 | 1.492 | 61.489 | 77.804 | 0.6756 | 0.6636 | 19.949 | 26.172 |
| | | -10 | 4.216 | 4.111 | 3159.3 | 3086.6 | 4.172 | 1.334 | 1.332 | 47.678 | 58.62 | 0.6941 | 0.6793 | 14.585 | 18.798 |
| | | 0 | 5.788 | 5.635 | 4517.6 | 4414.1 | 2.953 | 1.281 | 1.277 | 35.339 | 42.066 | 0.7045 | 0.6885 | 10.442 | 13.102 |
| 75/15/10 | -50.89 | -20 | 3.298 | 3.196 | 2397.6 | 2317.1 | 5.721 | 1.376 | 1.379 | 62.893 | 79.875 | 0.6861 | 0.666 | 19.743 | 26.678 |
| | | -10 | 4.356 | 4.212 | 3491.4 | 3380.4 | 3.957 | 1.248 | 1.246 | 48.459 | 59.829 | 0.7056 | 0.6835 | 14.267 | 18.935 |
| | | 0 | 6.016 | 5.818 | 4954.7 | 4806 | 2.82 | 1.214 | 1.211 | 35.598 | 42.563 | 0.7176 | 0.6952 | 10.053 | 12.973 |

Çizelge Ek 1.12. Sabit sıcaklıkta R125/R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R125/R290/R134a Karışımı | KNS (°C) | T _b °C | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK | | W _k | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|--------------------------|----------|-------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|----------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. |
| 10/5/85 | -49.85 | -20 | 2.824 | 3.055 | 987.21 | 1077.7 | 7.971 | 2.835 | 2.861 | 2.835 | 45.443 | 56.798 | 0.6055 | 0.6847 | 17.929 | 17.911 |
| | | -10 | 3.704 | 3.916 | 1530.9 | 1635.8 | 5.287 | 2.394 | 2.420 | 2.394 | 36.381 | 43.994 | 0.6278 | 0.6951 | 13.541 | 13.416 |
| 20/5/75 | -49.98 | 0 | 5.018 | 5.202 | 2297 | 2404.9 | 3.631 | 2.163 | 2.185 | 2.163 | 28.095 | 32.787 | 0.6415 | 0.6961 | 10.071 | 9.9649 |
| | | -20 | 2.775 | 3.026 | 1025.7 | 1130.7 | 7.863 | 2.676 | 2.705 | 2.676 | 44.188 | 55.388 | 0.5982 | 0.6817 | 17.757 | 17.631 |
| | | -10 | 3.647 | 3.879 | 1590.5 | 1712.3 | 5.228 | 2.265 | 2.293 | 2.265 | 35.357 | 42.876 | 0.6218 | 0.6914 | 13.371 | 13.23 |
| | | 0 | 4.951 | 5.154 | 2386.6 | 2512.2 | 3.599 | 2.052 | 2.074 | 2.052 | 27.285 | 31.927 | 0.6367 | 0.6918 | 9.9116 | 9.8386 |
| 30/5/65 | -50.29 | -20 | 2.732 | 3.005 | 1070.5 | 1192.6 | 7.704 | 2.520 | 2.552 | 2.520 | 42.767 | 53.784 | 0.5913 | 0.6788 | 17.48 | 17.274 |
| | | -10 | 3.601 | 3.856 | 1659.5 | 1801.2 | 5.137 | 2.141 | 2.170 | 2.141 | 34.181 | 41.585 | 0.6163 | 0.6881 | 13.115 | 12.972 |
| 40/5/55 | -50.73 | 0 | 4.903 | 5.128 | 2489.5 | 2635.9 | 3.546 | 1.945 | 1.969 | 1.945 | 26.338 | 30.915 | 0.6325 | 0.6881 | 9.6792 | 9.6425 |
| | | -20 | 2.695 | 2.994 | 1123 | 1265.9 | 7.489 | 2.365 | 2.400 | 2.365 | 41.166 | 51.971 | 0.5848 | 0.6762 | 17.093 | 16.829 |
| 50/5/45 | -51.28 | -10 | 3.566 | 3.846 | 1739.8 | 1905.3 | 5.013 | 2.019 | 2.050 | 2.019 | 32.844 | 40.112 | 0.6112 | 0.6851 | 12.768 | 12.633 |
| | | 0 | 4.874 | 5.124 | 2608.6 | 2779.8 | 3.472 | 1.843 | 1.868 | 1.843 | 25.248 | 29.743 | 0.6288 | 0.685 | 9.3707 | 9.3699 |
| | | -20 | 2.667 | 2.995 | 1185.3 | 1353.7 | 7.218 | 2.212 | 2.250 | 2.212 | 39.368 | 49.93 | 0.5786 | 0.6739 | 16.588 | 16.283 |
| | | -10 | 3.543 | 3.853 | 1834.1 | 2028.7 | 4.853 | 1.899 | 1.932 | 1.899 | 31.334 | 38.442 | 0.6067 | 0.6826 | 12.325 | 12.201 |
| 60/5/35 | -51.93 | 0 | 4.868 | 5.146 | 2747.3 | 2948.4 | 3.376 | 1.745 | 1.772 | 1.745 | 24.006 | 28.404 | 0.6258 | 0.6827 | 8.982 | 9.0132 |
| | | -20 | 2.647 | 3.009 | 1260 | 1460.2 | 6.886 | 2.061 | 2.101 | 2.061 | 37.353 | 47.638 | 0.5729 | 0.6722 | 15.955 | 15.616 |
| 70/5/25 | -52.66 | -10 | 3.536 | 3.88 | 1945.8 | 2176.4 | 4.658 | 1.783 | 1.817 | 1.783 | 29.638 | 36.563 | 0.6026 | 0.6811 | 11.778 | 11.662 |
| | | 0 | 4.888 | 5.2 | 2909.7 | 3147.5 | 3.257 | 1.652 | 1.680 | 1.652 | 22.607 | 26.891 | 0.6236 | 0.6813 | 8.509 | 8.5698 |
| 10/10/80 | -51.41 | -20 | 2.639 | 3.04 | 1350.4 | 1591 | 6.495 | 1.911 | 1.954 | 1.911 | 35.103 | 45.076 | 0.5675 | 0.6714 | 15.182 | 14.813 |
| | | -10 | 3.547 | 3.931 | 2078.8 | 2354.6 | 4.426 | 1.670 | 1.706 | 1.670 | 27.748 | 34.464 | 0.599 | 0.6801 | 11.126 | 11.026 |
| 20/10/70 | -51.59 | 0 | 4.94 | 5.292 | 3100.4 | 3384 | 3.117 | 1.564 | 1.593 | 1.564 | 21.049 | 25.202 | 0.6219 | 0.681 | 7.9588 | 8.0382 |
| | | -20 | 2.662 | 2.919 | 1036.8 | 1147.4 | 7.871 | 2.544 | 2.567 | 2.544 | 47.969 | 59.907 | 0.5866 | 0.6827 | 19.833 | 19.011 |
| 30/10/60 | -51.91 | -10 | 3.504 | 3.745 | 1610 | 1739.1 | 5.228 | 2.153 | 2.176 | 2.153 | 38.356 | 46.35 | 0.6148 | 0.6938 | 14.775 | 14.192 |
| | | 0 | 4.764 | 4.978 | 2417.8 | 2552.2 | 3.597 | 1.950 | 1.970 | 1.950 | 29.586 | 34.507 | 0.6346 | 0.6927 | 10.812 | 10.602 |
| | | -20 | 2.635 | 2.912 | 1083.5 | 1210.7 | 7.674 | 2.405 | 2.432 | 2.405 | 46.356 | 58.087 | 0.5826 | 0.6802 | 19.351 | 18.576 |
| | | -10 | 3.48 | 3.741 | 1681.8 | 1830 | 5.113 | 2.044 | 2.069 | 2.044 | 37 | 44.861 | 0.6116 | 0.6876 | 14.369 | 14.015 |
| 30/10/60 | -51.91 | 0 | 4.748 | 4.982 | 2524.5 | 2678.8 | 3.528 | 1.860 | 1.881 | 1.860 | 28.471 | 33.313 | 0.6317 | 0.6863 | 10.485 | 10.45 |
| | | -20 | 2.613 | 2.914 | 1138 | 1285.1 | 7.434 | 2.268 | 2.296 | 2.268 | 44.579 | 56.08 | 0.5786 | 0.6745 | 18.786 | 18.253 |
| 30/10/60 | -51.91 | -10 | 3.465 | 3.749 | 1764.9 | 1936 | 4.971 | 1.936 | 1.963 | 1.936 | 35.499 | 43.209 | 0.6085 | 0.6822 | 13.899 | 13.731 |
| | | 0 | 4.748 | 5.005 | 2647.1 | 2825 | 3.442 | 1.772 | 1.794 | 1.772 | 27.231 | 31.982 | 0.6279 | 0.6817 | 10.131 | 10.18 |

Çizelge Ek 1.12. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 40/10/50 | -52.36 | -20 | 2.598 | 2.925 | 1202.2 | 1373.6 | 7.147 | 2.161 | 2.129 | 42.618 | 53.863 | 0.5746 | 0.6702 | 18.129 | 17.763 |
| | -10 | 3.461 | 3.771 | 1861.8 | 2060.6 | 4.801 | 1.859 | 1.830 | 1.830 | 33.84 | 41.382 | 0.6041 | 0.6786 | 13.397 | 13.301 |
| | 0 | 4.768 | 5.05 | 2788.8 | 2995.1 | 3.339 | 1.710 | 1.686 | 1.686 | 25.857 | 30.504 | 0.6244 | 0.6789 | 9.7112 | 9.7958 |
| 50/10/40 | -52.91 | -20 | 2.591 | 2.948 | 1278.6 | 1480.1 | 6.811 | 2.026 | 1.992 | 40.454 | 51.414 | 0.5695 | 0.6708 | 17.416 | 16.926 |
| | -10 | 3.47 | 3.811 | 1975.6 | 2208.3 | 4.602 | 1.756 | 1.726 | 1.726 | 32.01 | 39.365 | 0.6022 | 0.6786 | 12.735 | 12.652 |
| | 0 | 4.809 | 5.121 | 2953.2 | 3193.9 | 3.218 | 1.628 | 1.603 | 1.603 | 24.343 | 28.874 | 0.6239 | 0.6786 | 9.1563 | 9.2806 |
| 60/10/30 | -53.55 | -20 | 2.594 | 2.986 | 1370 | 1609.4 | 6.427 | 1.893 | 1.855 | 38.066 | 48.712 | 0.566 | 0.6675 | 16.52 | 16.199 |
| | -10 | 3.494 | 3.871 | 2109.5 | 2384.6 | 4.374 | 1.656 | 1.623 | 1.623 | 30 | 37.148 | 0.5993 | 0.6776 | 12.021 | 11.978 |
| | 0 | 4.878 | 5.225 | 3143.9 | 3427.2 | 3.08 | 1.552 | 1.525 | 1.525 | 22.687 | 27.089 | 0.6231 | 0.679 | 8.5508 | 8.6953 |
| 70/10/20 | -54.27 | -20 | 2.608 | 3.042 | 1479.5 | 1767.9 | 5.997 | 1.763 | 1.721 | 35.441 | 45.743 | 0.5626 | 0.6684 | 15.502 | 15.166 |
| | -10 | 3.536 | 3.956 | 2266.9 | 2595.6 | 4.121 | 1.560 | 1.524 | 1.524 | 27.81 | 34.73 | 0.5969 | 0.678 | 11.211 | 11.183 |
| | 0 | 4.976 | 5.367 | 3364 | 3700.5 | 2.927 | 1.479 | 1.450 | 1.450 | 20.895 | 25.157 | 0.6228 | 0.6807 | 7.8823 | 8.0323 |
| 10/15/75 | -50.86 | -20 | 2.627 | 2.907 | 1107.5 | 1236.9 | 7.389 | 2.372 | 2.350 | 49.048 | 61.261 | 0.5916 | 0.6793 | 20.034 | 19.648 |
| | -10 | 3.488 | 3.754 | 1719.5 | 1870.7 | 4.92 | 2.028 | 2.007 | 2.007 | 38.943 | 47.071 | 0.6208 | 0.6884 | 14.768 | 14.665 |
| | 0 | 4.793 | 5.035 | 2580.2 | 2738 | 3.395 | 1.858 | 1.839 | 1.839 | 29.755 | 34.717 | 0.6407 | 0.6895 | 10.69 | 10.778 |
| 20/15/65 | -51.27 | -20 | 2.616 | 2.917 | 1164.7 | 1312.9 | 7.151 | 2.246 | 2.222 | 47.173 | 59.154 | 0.5864 | 0.6796 | 19.511 | 18.952 |
| | -10 | 3.487 | 3.774 | 1806.2 | 1978.9 | 4.78 | 1.931 | 1.907 | 1.907 | 37.357 | 45.336 | 0.6212 | 0.6875 | 14.153 | 14.165 |
| | 0 | 4.813 | 5.075 | 2707.1 | 2886.8 | 3.311 | 1.778 | 1.758 | 1.758 | 28.447 | 33.319 | 0.64 | 0.6877 | 10.241 | 10.405 |
| 30/15/55 | -51.78 | -20 | 2.612 | 2.936 | 1231.7 | 1402.8 | 6.875 | 2.121 | 2.093 | 45.122 | 56.85 | 0.5849 | 0.6739 | 18.729 | 18.541 |
| | -10 | 3.497 | 3.808 | 1906.7 | 2105.3 | 4.617 | 1.834 | 1.809 | 1.809 | 35.624 | 43.438 | 0.6139 | 0.6845 | 13.756 | 13.705 |
| | 0 | 4.85 | 5.136 | 2852.4 | 3058.4 | 3.212 | 1.700 | 1.679 | 1.679 | 27.02 | 31.792 | 0.6372 | 0.6857 | 9.8021 | 9.9915 |
| 40/15/45 | -52.39 | -20 | 2.616 | 2.967 | 1310.8 | 1509.9 | 6.559 | 1.996 | 1.965 | 42.877 | 54.327 | 0.5818 | 0.6728 | 17.93 | 17.776 |
| | -10 | 3.519 | 3.857 | 2023.6 | 2253.6 | 4.431 | 1.739 | 1.711 | 1.711 | 33.734 | 41.368 | 0.6134 | 0.683 | 13.042 | 13.115 |
| | 0 | 4.908 | 5.22 | 3019.1 | 3256.7 | 3.101 | 1.626 | 1.603 | 1.603 | 25.47 | 30.134 | 0.6357 | 0.6858 | 9.279 | 9.4673 |
| 50/15/35 | -53.1 | -20 | 2.629 | 3.011 | 1404.6 | 1638.7 | 6.204 | 1.872 | 1.837 | 40.423 | 51.569 | 0.5778 | 0.673 | 17.068 | 16.863 |
| | -10 | 3.555 | 3.925 | 2159.5 | 2428.2 | 4.223 | 1.646 | 1.616 | 1.616 | 31.685 | 39.122 | 0.6109 | 0.6839 | 12.328 | 12.365 |
| | 0 | 4.989 | 5.332 | 3209.4 | 3485.3 | 2.977 | 1.555 | 1.530 | 1.530 | 23.804 | 28.35 | 0.6361 | 0.6846 | 8.6616 | 8.9404 |
| 60/15/25 | -53.87 | -20 | 2.652 | 3.072 | 1515.4 | 1793.9 | 5.815 | 1.750 | 1.712 | 37.756 | 48.574 | 0.5751 | 0.6716 | 16.043 | 15.952 |
| | -10 | 3.606 | 4.013 | 2316 | 2633 | 3.997 | 1.557 | 1.524 | 1.524 | 29.486 | 36.714 | 0.6103 | 0.6824 | 11.491 | 11.661 |
| | 0 | 5.092 | 5.473 | 3423.8 | 3746.7 | 2.844 | 1.487 | 1.461 | 1.461 | 22.039 | 26.462 | 0.6332 | 0.6862 | 8.083 | 8.3032 |
| 70/15/15 | -54.72 | -20 | 2.684 | 3.149 | 1644.1 | 1979.4 | 5.402 | 1.633 | 1.591 | 34.905 | 45.376 | 0.57 | 0.6736 | 15.009 | 14.813 |
| | -10 | 3.669 | 4.122 | 2492.2 | 2869.6 | 3.762 | 1.472 | 1.436 | 1.436 | 27.175 | 34.187 | 0.6055 | 0.6845 | 10.719 | 10.788 |
| | 0 | 5.214 | 5.64 | 3659.1 | 4040.2 | 2.707 | 1.425 | 1.396 | 1.396 | 20.212 | 24.509 | 0.6332 | 0.6886 | 7.4133 | 7.6315 |

Çizelge Ek 1.13. Sabit sıcaklıkta R32/R125/R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R125/R290/R134a Karışımı | KNS (°C) | T _b °C | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|------------------------------|----------|-------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. |
| 1) 10/65/5/20 | -55.17 | -20 | 2.698 | 3.004 | 1566.2 | 1776.6 | 6.402 | 1.723 | 1.691 | 38.88 | 49.942 | 0.5809 | 0.6621 | 16.294 | 16.877 | |
| | -10 | -10 | 3.6 | 3.886 | 2379.6 | 2617.1 | 4.384 | 1.513 | 1.485 | 30.67 | 38.144 | 0.6084 | 0.6711 | 12.011 | 12.547 | |
| 2) 20/55/5/20 | -56.56 | -20 | 2.761 | 2.976 | 1711.8 | 1870.9 | 6.434 | 1.613 | 1.591 | 23.219 | 27.86 | 0.6278 | 0.673 | 8.6411 | 9.1099 | |
| | -10 | -10 | 3.658 | 3.851 | 2578.3 | 2754.4 | 4.408 | 1.419 | 1.398 | 43.72 | 55.982 | 0.596 | 0.6569 | 17.663 | 19.207 | |
| 3) 30/45/5/20 | -57.55 | -20 | 2.819 | 2.961 | 1840.2 | 1951.5 | 6.428 | 1.532 | 1.315 | 34.433 | 42.728 | 0.6206 | 0.6665 | 13.063 | 14.25 | |
| | -10 | -10 | 3.719 | 3.836 | 2752.1 | 2871.2 | 4.407 | 1.351 | 1.517 | 48.527 | 61.962 | 0.6092 | 0.6535 | 18.964 | 21.472 | |
| 4) 40/35/5/20 | -58.32 | -20 | 2.87 | 2.951 | 4000.7 | 4108.5 | 3.118 | 1.272 | 1.336 | 38.138 | 47.23 | 0.6311 | 0.664 | 14.07 | 15.871 | |
| | -10 | -10 | 3.775 | 3.829 | 2903.1 | 2969.6 | 4.397 | 1.300 | 1.259 | 28.769 | 34.429 | 0.645 | 0.6668 | 10.214 | 11.471 | |
| 5) 50/25/5/20 | -58.96 | -20 | 2.914 | 2.944 | 2050.5 | 2077.4 | 6.385 | 1.421 | 1.461 | 53.371 | 67.967 | 0.6204 | 0.6506 | 20.259 | 23.748 | |
| | -10 | -10 | 3.825 | 3.826 | 3034 | 3052.4 | 4.384 | 1.261 | 1.289 | 41.852 | 51.73 | 0.6406 | 0.6623 | 15.04 | 17.468 | |
| 6) 60/15/5/20 | -59.5 | -20 | 2.951 | 2.938 | 2135.9 | 2126.1 | 6.364 | 1.382 | 1.217 | 31.495 | 37.645 | 0.6523 | 0.6662 | 10.951 | 12.567 | |
| | -10 | -10 | 3.868 | 3.823 | 3147.3 | 3122 | 4.371 | 1.229 | 1.417 | 58.286 | 74.043 | 0.6294 | 0.648 | 21.599 | 26.064 | |
| 7) 10/55/5/30 | -54.6 | -20 | 2.681 | 2.954 | 1448.9 | 1622 | 6.842 | 1.850 | 1.253 | 45.61 | 56.269 | 0.6487 | 0.6607 | 16.022 | 19.093 | |
| | -10 | -10 | 3.556 | 3.808 | 2211.3 | 2407.8 | 4.647 | 1.608 | 1.186 | 34.244 | 40.878 | 0.6593 | 0.6659 | 11.666 | 13.656 | |
| 8) 30/55/5/10 | -57.94 | -20 | 2.88 | 3.044 | 2013.2 | 2153.5 | 5.951 | 1.431 | 1.382 | 63.293 | 80.211 | 0.6367 | 0.6455 | 22.992 | 28.437 | |
| | -10 | -10 | 3.822 | 3.96 | 2990.6 | 3140.2 | 4.119 | 1.278 | 1.225 | 49.429 | 60.867 | 0.6552 | 0.6591 | 17.042 | 20.747 | |
| 9) 20/25/5/50 | -55.45 | -20 | 2.711 | 2.86 | 1384.9 | 1472.6 | 7.604 | 1.958 | 1.161 | 37.032 | 44.146 | 0.6652 | 0.6655 | 12.397 | 14.769 | |
| | -10 | -10 | 3.541 | 3.669 | 2108.9 | 2206.5 | 5.114 | 1.679 | 1.821 | 41.526 | 52.965 | 0.5829 | 0.6608 | 17.321 | 17.966 | |
| 10) 20/35/5/40 | -55.75 | -20 | 2.714 | 2.882 | 1473.8 | 1580.2 | 7.266 | 1.842 | 1.582 | 32.902 | 40.633 | 0.6087 | 0.6695 | 12.874 | 13.431 | |
| | -10 | -10 | 3.56 | 3.706 | 2238.5 | 2357 | 4.91 | 1.590 | 1.469 | 25.073 | 29.88 | 0.6255 | 0.6698 | 9.391 | 9.8666 | |
| | | 0 | 4.825 | 4.94 | 3298.1 | 3412.7 | 3.429 | 1.463 | 1.413 | 45.116 | 58.067 | 0.6133 | 0.6589 | 17.447 | 19.809 | |
| | | | | | | | | | 1.261 | 35.269 | 44.028 | 0.6368 | 0.6702 | 12.81 | 14.522 | |
| | | | | | | | | | 1.205 | 26.386 | 31.827 | 0.6522 | 0.6743 | 9.1769 | 10.367 | |
| | | | | | | | | | 1.942 | 51.527 | 64.898 | 0.5976 | 0.6527 | 20.735 | 22.537 | |
| | | | | | | | | | 1.663 | 41.059 | 50.115 | 0.6177 | 0.6617 | 15.695 | 16.954 | |
| | | | | | | | | | 1.519 | 31.578 | 37.234 | 0.6287 | 0.6618 | 11.725 | 12.592 | |
| | | | | | | | | | 1.824 | 49.193 | 62.235 | 0.5963 | 0.6531 | 19.862 | 21.59 | |
| | | | | | | | | | 1.572 | 39.074 | 47.905 | 0.6176 | 0.6622 | 14.94 | 16.182 | |
| | | | | | | | | | 1.448 | 29.912 | 35.423 | 0.6299 | 0.6628 | 11.069 | 11.944 | |

Çizelge Ek 1.13.(devam)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 11) 20/45/5/30 | -56.12 | -20 | 2.73 | 2.92 | 1581 | 1710.6 | 6.876 | 1.727 | 1.707 | 46.6 | 59.273 | 0.5957 | 0.6544 | 18.839 | 20.485 |
| | -10 | 3.597 | 3.765 | 2392.8 | 2536.9 | 4.674 | 1.503 | 1.484 | 36.87 | 45.448 | 0.6183 | 0.6636 | 14.072 | 15.287 | |
| | 0 | 4.907 | 5.041 | 3515.1 | 3654.8 | 3.283 | 1.396 | 1.379 | 28.066 | 33.411 | 0.6319 | 0.6646 | 10.33 | 11.207 | |
| 12) 20/65/5/10 | -57.05 | -20 | 2.811 | 3.056 | 1873.2 | 2070.5 | 5.946 | 1.501 | 1.476 | 40.53 | 52.335 | 0.5981 | 0.6615 | 16.291 | 17.715 |
| | -10 | 3.748 | 3.971 | 2802.4 | 3019.5 | 4.114 | 1.337 | 1.315 | 31.754 | 39.736 | 0.6243 | 0.6718 | 11.929 | 13.043 | |
| | 0 | 5.195 | 5.381 | 4077.4 | 4287.2 | 2.935 | 1.274 | 1.255 | 23.812 | 28.768 | 0.6423 | 0.6749 | 8.5164 | 9.3516 | |

Çizelge Ek 1.14. Sabit sıcaklıkta R12 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri

| R12 ve Alternatifleri | KNS (°C) | T _b °C | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|-------------------------|----------|-------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. |
| 1) R152a/R134a 14/86 | -25.49 | -20 | 3.515 | 3.663 | 922.78 | 966.08 | 6.695 | 3.809 | 3.792 | 42.932 | 53.439 | 0.7203 | 0.7507 | 12.008 | 13.324 | |
| | | -10 | 4.683 | 4.81 | 1421.3 | 1469.4 | 4.432 | 3.295 | 3.273 | 33.562 | 40.428 | 0.7453 | 0.7656 | 8.5494 | 9.475 | |
| | | 0 | 6.534 | 6.631 | 2119.9 | 2165.2 | 3.037 | 3.082 | 3.062 | 24.988 | 29.059 | 0.7626 | 0.7741 | 5.9328 | 6.5642 | |
| 2) R600a/R134a 18/82 | -29.45 | -20 | 3.391 | 3.668 | 983.66 | 1074.2 | 6.155 | 3.447 | 3.415 | 42.097 | 52.859 | 0.6946 | 0.7514 | 12.857 | 13.143 | |
| | | -10 | 4.545 | 4.807 | 1501.5 | 1604.3 | 4.152 | 3.027 | 2.996 | 32.972 | 40.039 | 0.7229 | 0.7645 | 9.1368 | 9.4307 | |
| | | 0 | 6.373 | 6.608 | 2221 | 2324.2 | 2.895 | 2.869 | 2.843 | 24.609 | 28.822 | 0.7434 | 0.7709 | 6.3145 | 6.6037 | |
| 3) R12 | -29.75 | -20 | 3.571 | 3.701 | 996.19 | 1039.7 | 5.621 | 3.585 | 3.560 | 30.68 | 38.076 | 0.7314 | 0.758 | 8.239 | 9.2132 | |
| | | -10 | 4.745 | 4.857 | 1473.6 | 1519.9 | 3.871 | 3.220 | 3.196 | 24.069 | 28.845 | 0.7545 | 0.7724 | 5.9078 | 6.5661 | |
| | | 0 | 6.602 | 6.69 | 2118.8 | 2161.2 | 2.748 | 3.116 | 3.095 | 17.981 | 20.772 | 0.7698 | 0.78 | 4.1387 | 4.5692 | |
| 4) R290/R600a 40/60 | -29.98 | -20 | 3.013 | 3.268 | 690.97 | 750.44 | 7.36 | 4.361 | 4.355 | 83.668 | 103.01 | 0.6535 | 0.7246 | 28.992 | 28.363 | |
| | | -10 | 83.668 | 4.173 | 1049.5 | 1118.8 | 4.965 | 79.721 | 3.730 | 67.411 | 80.271 | 0.672 | 0.7287 | 22.112 | 21.776 | |
| | | 0 | 5.52 | 5.52 | 1617.7 | 3.461 | 3.461 | 60.258 | 3.412 | 60.258 | 0.7232 | 0.7232 | 16.679 | 16.679 | | |
| 5) R290/R600a 43/57 | -30.87 | -20 | 3.001 | 3.253 | 710.1 | 770.74 | 7.329 | 4.226 | 4.221 | 84.15 | 103.65 | 0.6523 | 0.7225 | 29.255 | 28.761 | |
| | | -10 | 3.915 | 4.154 | 1077.3 | 1147.7 | 4.95 | 3.634 | 3.619 | 67.793 | 80.765 | 0.6708 | 0.7266 | 22.317 | 22.08 | |
| | | 0 | 5.277 | 5.494 | 1584.4 | 1657.9 | 3.454 | 3.331 | 3.314 | 52.723 | 60.629 | 0.6791 | 0.7212 | 16.92 | 16.904 | |
| 6) R290/R600a 48/52 | -32.27 | -20 | 2.989 | 3.236 | 744.21 | 806.92 | 7.251 | 4.016 | 4.010 | 84.774 | 104.5 | 0.6512 | 0.7196 | 29.567 | 29.302 | |
| | | -10 | 3.899 | 4.132 | 1126.5 | 1199.2 | 4.908 | 3.461 | 3.446 | 68.262 | 81.395 | 0.6697 | 0.7239 | 22.545 | 22.477 | |
| | | 0 | 5.255 | 5.467 | 1653.7 | 1729.1 | 3.432 | 3.178 | 3.162 | 53.059 | 61.07 | 0.6781 | 0.7187 | 17.082 | 17.182 | |

Çizelge Ek 1.14. (devam)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|-----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 7) R290/R600a | -32.79 | -20 | 2.986 | 3.231 | 758.69 | 822.28 | 7.212 | 3.936 | 3.929 | 84.96 | 104.77 | 0.651 | 0.7187 | 29.647 | 29.475 |
| 50/50 | | -10 | 3.895 | 4.127 | 1147.4 | 1221 | 4.886 | 3.395 | 3.380 | 68.39 | 81.578 | 0.6696 | 0.723 | 22.597 | 22.597 |
| | | 0 | 5.252 | 5.461 | 1682.9 | 1759.2 | 3.419 | 3.121 | 3.104 | 53.139 | 61.184 | 0.678 | 0.7179 | 17.111 | 17.258 |
| 8) R290/R600a | -34.28 | -20 | 2.984 | 3.224 | 805.41 | 871.82 | 7.066 | 3.705 | 3.698 | 85.294 | 105.3 | 0.6514 | 0.7166 | 29.735 | 29.843 |
| 56/44 | | -10 | 3.896 | 4.122 | 1214.4 | 1290.9 | 4.801 | 3.208 | 3.193 | 68.569 | 81.891 | 0.6701 | 0.7213 | 22.618 | 22.822 |
| | | 0 | 5.259 | 5.463 | 1776.5 | 1855.3 | 3.369 | 2.960 | 2.944 | 53.188 | 61.315 | 0.6788 | 0.7168 | 17.082 | 17.367 |
| 9) R290/R600a | -35.2 | -20 | 2.989 | 3.227 | 839.59 | 908.05 | 6.947 | 3.560 | 3.554 | 85.324 | 105.43 | 0.6523 | 0.7159 | 29.665 | 29.956 |
| 60/40 | | -10 | 3.906 | 4.129 | 1263.2 | 1341.8 | 4.73 | 3.092 | 3.077 | 68.513 | 81.897 | 0.6713 | 0.7209 | 22.521 | 22.857 |
| | | 0 | 5.279 | 5.48 | 1844.4 | 1924.9 | 3.326 | 2.862 | 2.847 | 53.061 | 61.222 | 0.6803 | 0.7168 | 16.965 | 17.339 |
| 10) R290/R600a | -37.27 | -20 | 3.026 | 3.258 | 937.99 | 1012.3 | 6.579 | 3.226 | 3.219 | 84.685 | 104.9 | 0.6572 | 0.7164 | 29.026 | 29.747 |
| 70/30 | | -10 | 3.967 | 4.183 | 1402.5 | 1486.8 | 4.509 | 2.829 | 2.813 | 67.73 | 81.173 | 0.677 | 0.7226 | 21.877 | 22.52 |
| | | 0 | 5.385 | 5.579 | 2036.3 | 2121.7 | 3.188 | 2.644 | 2.629 | 52.164 | 60.341 | 0.687 | 0.7199 | 16.326 | 16.902 |
| 11) R290/R600a | -39.08 | -20 | 3.102 | 3.33 | 1060.3 | 1141.6 | 6.121 | 2.926 | 2.917 | 82.923 | 103.06 | 0.6662 | 0.721 | 27.677 | 28.752 |
| 80/20 | | -10 | 4.084 | 4.296 | 1572.9 | 1664 | 4.229 | 2.596 | 2.582 | 65.962 | 79.314 | 0.6872 | 0.7286 | 20.632 | 21.524 |
| | | 0 | 5.583 | 5.771 | 2268.2 | 2358.9 | 3.012 | 2.461 | 2.446 | 50.4 | 58.486 | 0.6989 | 0.7279 | 15.176 | 15.912 |
| 12) R290/R600a | -40.67 | -20 | 3.229 | 3.454 | 1216.3 | 1306.3 | 5.585 | 2.655 | 2.644 | 79.872 | 99.696 | 0.6805 | 0.7308 | 25.521 | 26.841 |
| 90/10 | | -10 | 4.276 | 4.484 | 1786.2 | 1885.2 | 3.899 | 2.394 | 2.379 | 63.093 | 76.191 | 0.7032 | 0.7403 | 18.728 | 19.785 |
| | | 0 | 5.901 | 6.083 | 2553.3 | 2649.7 | 2.803 | 2.311 | 2.296 | 47.699 | 55.577 | 0.7173 | 0.7423 | 13.486 | 14.32 |
| 13) R290/R134a | -49.91 | -20 | 2.88 | 3.091 | 933.78 | 1032 | 8.032 | 3.020 | 2.995 | 46.542 | 58.027 | 0.6132 | 0.6878 | 18.001 | 18.118 |
| 5/95 | | -10 | 3.771 | 3.964 | 1478.8 | 1569.4 | 5.316 | 2.550 | 2.526 | 37.261 | 44.949 | 0.6343 | 0.6996 | 13.626 | 13.505 |
| | | 0 | 5.103 | 5.268 | 2218.4 | 2311.2 | 3.644 | 2.300 | 2.279 | 28.771 | 33.5 | 0.6469 | 0.7007 | 10.159 | 10.026 |

Çizelge Ek 1.15. Sabit sıcaklıkta R22 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri

| R22 ve Alternatifleri | KNS (°C) | T _b (°C) | S TK | | HSK | | BO | | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | | TT (kJ/kg) | |
|----------------------------|----------|---------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|----------|------------|----------|
| | | | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. | Klasik | Isı Değ. |
| 1) R32/R134a 25/75 | -40.31 | -20 | 3.092 | 3.146 | 1255.5 | 1280.5 | 7.443 | 2.463 | 2.457 | 53.028 | 66.243 | 0.6634 | 0.6853 | 17.851 | 20.849 | |
| | | -10 | 4.038 | 4.067 | 1908.9 | 1932.7 | 4.968 | 2.115 | 2.104 | 41.971 | 50.821 | 0.6806 | 0.6958 | 13.405 | 15.459 | |
| | 0 | 5.468 | 5.465 | 2814 | 2828.7 | 3.429 | 1.943 | 1.932 | 31.953 | 37.397 | 0.6883 | 0.6981 | 9.9588 | 11.292 | | |
| 2) R22 | -40.81 | -20 | 3.554 | 3.502 | 1659.1 | 1633.8 | 5.528 | 2.142 | 2.143 | 43.336 | 53.95 | 0.7278 | 0.7172 | 11.794 | 15.255 | |
| | | -10 | 4.707 | 4.623 | 2419.8 | 2381.6 | 3.821 | 1.945 | 1.941 | 33.598 | 40.528 | 0.7485 | 0.7352 | 8.449 | 10.732 | |
| | 0 | 6.533 | 6.408 | 3435 | 3379.5 | 2.722 | 1.902 | 1.896 | 24.795 | 28.906 | 0.7618 | 0.7472 | 5.9064 | 7.3076 | | |
| 3) R32/R134a 30/70 | -41.83 | -20 | 3.073 | 3.108 | 1329.3 | 1346.4 | 7.399 | 2.312 | 2.308 | 55.104 | 68.861 | 0.6618 | 0.679 | 18.636 | 22.104 | |
| | | -10 | 4.01 | 4.019 | 2014.4 | 2028.2 | 4.948 | 1.991 | 1.982 | 43.574 | 52.799 | 0.6786 | 0.6898 | 14.005 | 16.378 | |
| | 0 | 5.424 | 5.4 | 2960.6 | 2963.4 | 3.422 | 1.832 | 1.822 | 33.149 | 38.833 | 0.6859 | 0.6924 | 10.413 | 11.947 | | |
| 4) R32/R125/ R134a | -43.39 | -20 | 3.041 | 3.089 | 1394.6 | 1420.6 | 7.277 | 2.180 | 2.174 | 53.632 | 67.212 | 0.6559 | 0.6756 | 18.454 | 21.805 | |
| | | -10 | 3.973 | 3.996 | 2110.2 | 2133.8 | 4.881 | 1.883 | 1.873 | 42.383 | 51.502 | 0.6733 | 0.6863 | 13.848 | 16.158 | |
| | 0 | 5.382 | 5.371 | 3097.6 | 3110.1 | 3.385 | 1.737 | 1.727 | 32.214 | 37.843 | 0.6812 | 0.6888 | 10.269 | 11.775 | | |
| 5) R32/R125/ R134a | -46.8 | -20 | 2.927 | 3.216 | 1525.3 | 1706 | 6.225 | 1.919 | 1.885 | 35.715 | 45.835 | 0.6182 | 0.6851 | 13.635 | 14.433 | |
| | | -10 | 3.913 | 4.179 | 2315.3 | 2517.7 | 4.255 | 1.690 | 1.660 | 28.068 | 34.865 | 0.6455 | 0.6955 | 9.9491 | 10.617 | |
| | 0 | 5.439 | 5.671 | 3412.1 | 3612.6 | 3.002 | 1.594 | 1.570 | 21.108 | 25.29 | 0.6645 | 0.6986 | 7.0821 | 7.6214 | | |
| 6) R290/R134a 46/54 | -48.6 | -20 | 3.263 | 3.593 | 1665.3 | 1853.2 | 4.738 | 1.959 | 1.939 | 49.732 | 62.769 | 0.6697 | 0.7374 | 16.428 | 16.484 | |
| | | -10 | 4.376 | 4.694 | 2406 | 2609 | 3.394 | 1.819 | 1.799 | 39.076 | 47.634 | 0.6978 | 0.7483 | 11.81 | 11.987 | |
| | 0 | 6.138 | 6.434 | 3390.2 | 3587.1 | 2.497 | 1.811 | 1.794 | 29.252 | 34.345 | 0.7183 | 0.753 | 8.2401 | 8.4846 | | |
| 7) R32/R125 50/50 | -51.6 | -20 | 3.305 | 3.323 | 2417.2 | 2444.5 | 5.346 | 1.367 | 1.359 | 47.436 | 61.141 | 0.6774 | 0.6811 | 15.304 | 19.496 | |
| | | -10 | 4.397 | 4.378 | 3521.8 | 3534.2 | 3.733 | 1.249 | 1.239 | 36.566 | 45.761 | 0.6998 | 0.6969 | 10.976 | 13.869 | |
| | 0 | 6.128 | 6.057 | 5005.8 | 4986.1 | 2.682 | 1.224 | 1.215 | 26.797 | 32.433 | 0.7155 | 0.7073 | 7.6247 | 9.4938 | | |
| 8) R32/R125/ R290/R134a | -56.56 | -20 | 2.761 | 2.976 | 1711.8 | 1870.9 | 6.434 | 1.613 | 1.591 | 55.982 | 15.66 | 0.596 | 0.6569 | 17.663 | 19.207 | |
| | | -10 | 3.658 | 3.851 | 2578.3 | 2754.4 | 4.408 | 1.419 | 1.398 | 42.728 | 12.41 | 0.6206 | 0.6665 | 13.063 | 14.25 | |
| | 0 | 5.027 | 5.185 | 3772 | 3942.9 | 3.117 | 1.333 | 1.315 | 31.193 | 9.64 | 0.6364 | 0.6691 | 9.4656 | 10.322 | | |

Çizelge Ek 1.16. Sabit sıcaklıkta R502 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri

| R502 ve Alternatifleri | KNS (°C) | T _b (°C) | S TK | | HSK (kJ/m ³) | | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | | W _k (kJ/kg) | | O V | TT (kJ/kg) |
|------------------------------------|----------|---------------------|--------|----------|--------------------------|----------|-------|------------------------------|----------|------------------------|----------|--------|------------|
| | | | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | | Klasik | Isı Deg. | Klasik | Isı Deg. | | |
| 1) R32/R125/ R134a 20/40/40 | -45.23 | -20 | 2.977 | 3.121 | 1449.4 | 1533.3 | 6.893 | 2.054 | 2.035 | 44.928 | 56.849 | 0.6387 | 16.232 |
| | | -10 | 3.921 | 4.041 | 2197.5 | 2288.7 | 4.655 | 1.784 | 1.766 | 35.465 | 43.478 | 0.6883 | 12.068 |
| | | 0 | 5.359 | 5.443 | 3233.3 | 3317.4 | 3.248 | 1.657 | 1.641 | 26.881 | 31.828 | 0.6716 | 8.8265 |
| 2) R502 | -45.26 | -20 | 3.27 | 3.51 | 1617.7 | 1763.3 | 5.188 | 2.021 | 1.991 | 29.823 | 38.126 | 0.6703 | 9.832 |
| | | -10 | 4.386 | 4.603 | 2381 | 2536.3 | 3.639 | 1.842 | 1.815 | 23.262 | 28.755 | 0.6982 | 7.021 |
| | | 0 | 6.159 | 6.34 | 3413.1 | 3557.5 | 2.627 | 1.805 | 1.782 | 17.261 | 20.569 | 0.7187 | 4.8551 |
| 3) R125/R143a/ R134a 44/52/4 | -46.56 | -20 | 3.064 | 3.423 | 1596.8 | 1823 | 5.36 | 1.919 | 1.878 | 33.544 | 43.548 | 0.6309 | 12.381 |
| | | -10 | 4.14 | 4.479 | 2387.6 | 2636.8 | 3.741 | 1.734 | 1.699 | 26.153 | 32.847 | 0.6624 | 8.8289 |
| | | 0 | 5.846 | 6.15 | 3474.5 | 3718.6 | 2.688 | 1.683 | 1.654 | 19.409 | 23.492 | 0.6867 | 6.0805 |
| 4) R125/R143a 50/50 | -47.11 | -20 | 3.069 | 3.45 | 1645.3 | 1892.9 | 5.224 | 1.865 | 1.823 | 32.346 | 42.145 | 0.6287 | 12.009 |
| | | -10 | 4.156 | 4.518 | 2454.4 | 2726.5 | 3.662 | 1.693 | 1.657 | 25.194 | 31.753 | 0.6611 | 8.5373 |
| | | 0 | 5.886 | 6.213 | 3565.4 | 3831.9 | 2.641 | 1.651 | 1.621 | 18.662 | 22.661 | 0.6865 | 5.8496 |
| 5) R32/R125/ R143a 10/45/45 | -49.41 | -20 | 3.085 | 3.367 | 1827.8 | 2033.1 | 5.31 | 1.688 | 1.656 | 36.009 | 46.84 | 0.6347 | 13.153 |
| | | -10 | 4.143 | 4.4 | 2704.3 | 2926.3 | 3.725 | 1.532 | 1.504 | 28.057 | 35.336 | 0.6629 | 9.4587 |
| | | 0 | 5.812 | 6.031 | 3899.6 | 4110.6 | 2.687 | 1.490 | 1.467 | 20.819 | 25.287 | 0.6837 | 6.5851 |
| 6) R32/R125/ R143a 10/50/40 | -49.41 | -20 | 3.076 | 3.367 | 1826.5 | 2038.5 | 5.316 | 1.684 | 1.652 | 35.407 | 46.075 | 0.6328 | 13 |
| | | -10 | 4.134 | 4.4 | 2705.4 | 2935.2 | 3.728 | 1.528 | 1.499 | 27.591 | 34.76 | 0.6613 | 9.3447 |
| | | 0 | 5.803 | 6.031 | 3905.2 | 4124.4 | 2.689 | 1.486 | 1.462 | 20.474 | 24.874 | 0.6825 | 6.5015 |
| 7) R125/R143a/ R290 50/45/5 | -50.57 | -20 | 2.963 | 3.359 | 1694.9 | 1968.2 | 5.207 | 1.748 | 1.707 | 33.831 | 44.183 | 0.6113 | 13.151 |
| | | -10 | 4.013 | 4.39 | 2524.6 | 2825.4 | 3.662 | 1.590 | 1.554 | 26.381 | 33.332 | 0.6437 | 9.3998 |
| | | 0 | 5.674 | 6.016 | 3662.2 | 3957.9 | 2.649 | 1.549 | 1.520 | 19.586 | 23.847 | 0.6689 | 6.4853 |
| 8) R125/R290/ R134a 50/5/45 | -54.27 | -20 | 2.667 | 2.995 | 1185.3 | 1353.7 | 7.218 | 2.250 | 2.213 | 39.368 | 49.93 | 0.5786 | 16.588 |
| | | -10 | 3.543 | 3.853 | 1834.1 | 2028.7 | 4.853 | 1.932 | 1.899 | 31.334 | 38.44 | 0.6067 | 12.325 |
| | | 0 | 4.868 | 5.146 | 2747.3 | 2948.4 | 3.376 | 1.772 | 1.745 | 24.01 | 28.4 | 0.6258 | 8.982 |
| 9) R125/R290/ R134a 70/10/20 | -54.27 | -20 | 2.608 | 3.042 | 1479.5 | 1767.9 | 5.997 | 1.763 | 1.721 | 35.441 | 45.743 | 0.5626 | 15.502 |
| | | -10 | 3.536 | 3.956 | 2266.9 | 2595.6 | 4.121 | 1.560 | 1.524 | 27.81 | 34.73 | 0.5969 | 11.211 |
| | | 0 | 4.976 | 5.367 | 3364 | 3700.5 | 2.927 | 1.479 | 1.450 | 20.895 | 25.157 | 0.6228 | 7.8823 |

Çizelge Ek 1.17. Sabit soğutma yükünde saf akışkanlar için termodinamik ve performans değerleri

| Saf Soğutucu Akışkan | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|----------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| R600a | -11.61 | 2.224 | 418.175 | 15.445 | 5.318 | 83.183 | 0.427 | 47.65 |
| R152a | -24.02 | 2.248 | 724.48 | 12.897 | 3.103 | 82.295 | 0.4315 | 46.78 |
| R134a | -26.07 | 2.226 | 790.949 | 14.037 | 2.814 | 83.109 | 0.4273 | 47.6 |
| R12 | -29.75 | 2.25 | 850.395 | 10.811 | 2.646 | 82.222 | 0.4319 | 46.71 |
| R22 | -40.81 | 2.227 | 1361.542 | 9.421 | 1.636 | 83.071 | 0.4277 | 47.54 |
| R290 | -42.09 | 2.233 | 1291.277 | 9.273 | 1.729 | 82.848 | 0.4287 | 47.34 |
| R502 | -45.26 | 2.194 | 1508.507 | 9.42 | 1.454 | 84.321 | 0.4215 | 48.77 |
| R143a | -47.22 | 2.182 | 1614.607 | 9.286 | 1.351 | 84.785 | 0.4193 | 49.24 |
| R125 | -48.14 | 2.122 | 1704.76 | 10.272 | 1.245 | 87.182 | 0.4081 | 51.61 |
| R32 | -51.65 | 2.192 | 2185.486 | 8.049 | 1.003 | 84.398 | 0.4211 | 48.87 |

Çizelge Ek 1.18. Sabit soğutma yükünde R32/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R134a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|--------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 0/100 | -26.07 | 2.226 | 790.949 | 14.037 | 2.814 | 83.109 | 0.4273 | 47.6 |
| 10/90 | -33.75 | 2.251 | 976.653 | 12.36 | 2.305 | 82.186 | 0.4321 | 46.68 |
| 20/80 | -38.53 | 2.255 | 1137.73 | 11.324 | 1.982 | 82.040 | 0.4328 | 46.58 |
| 30/70 | -41.83 | 2.249 | 1286.41 | 10.576 | 1.748 | 82.259 | 0.4317 | 46.75 |
| 40/60 | -44.26 | 2.241 | 1425.31 | 10.004 | 1.572 | 82.552 | 0.4301 | 47.05 |
| 50/50 | -46.15 | 2.233 | 1561.57 | 9.526 | 1.430 | 82.848 | 0.4288 | 47.32 |
| 60/40 | -47.67 | 2.227 | 1695.04 | 9.116 | 1.314 | 83.071 | 0.4277 | 47.54 |
| 70/30 | -48.92 | 2.218 | 1820.51 | 8.794 | 1.218 | 83.408 | 0.4259 | 47.9 |
| 80/20 | -49.97 | 2.209 | 1942.53 | 8.513 | 1.137 | 83.748 | 0.4242 | 48.23 |
| 90/10 | -50.87 | 2.198 | 2061.95 | 8.277 | 1.066 | 84.167 | 0.4223 | 48.61 |
| 100/0 | -51.65 | 2.192 | 2185.49 | 8.049 | 1.003 | 84.398 | 0.4211 | 48.87 |

Çizelge Ek 1.19. Sabit soğutma yükünde R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R290/R134a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|---------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 0/100 | -26.07 | 2.226 | 790.949 | 14.037 | 2.814 | 83.109 | 0.4273 | 47.6 |
| 10/90 | -51.39 | 2.229 | 1198.76 | 10.76 | 1.859 | 82.997 | 0.4281 | 47.46 |
| 20/80 | -49.76 | 2.159 | 1369.38 | 10.036 | 1.577 | 85.688 | 0.4151 | 50.11 |
| 30/70 | -48.86 | 2.135 | 1475.34 | 9.597 | 1.447 | 86.651 | 0.4105 | 51.09 |
| 46/54 | -48.6 | 2.198 | 1604.44 | 8.761 | 1.370 | 84.167 | 0.4223 | 48.62 |
| 50/50 | -48.6 | 2.195 | 1587.02 | 8.774 | 1.383 | 84.282 | 0.4217 | 48.74 |
| 60/40 | -48.54 | 2.205 | 1548.12 | 8.751 | 1.424 | 83.900 | 0.4235 | 48.36 |
| 70/30 | -48.16 | 2.222 | 1502.29 | 8.752 | 1.479 | 83.258 | 0.4267 | 47.73 |
| 80/20 | -47.21 | 2.236 | 1444.32 | 8.823 | 1.548 | 82.737 | 0.4293 | 47.22 |
| 90/10 | -45.34 | 2.237 | 1370.34 | 9.019 | 1.632 | 82.700 | 0.4294 | 47.19 |
| 100/0 | -42.09 | 2.233 | 1291.28 | 9.273 | 1.729 | 82.848 | 0.4287 | 47.34 |

Çizelge Ek 1.20. Sabit soğutma yükünde R600a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R600a/R134a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|----------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 0/100 | -26.07 | 2.226 | 790.949 | 14.037 | 2.814 | 83.109 | 0.4273 | 47.6 |
| 10/90 | -29.1 | 2.222 | 863.063 | 13.122 | 2.575 | 83.258 | 0.4267 | 47.73 |
| 18/82 | -29.45 | 2.224 | 876.225 | 12.747 | 2.538 | 83.183 | 0.427 | 47.66 |
| 30/70 | -29.29 | 2.223 | 829.407 | 12.624 | 2.680 | 83.221 | 0.4269 | 47.69 |
| 40/60 | -28.93 | 2.231 | 771.908 | 12.657 | 2.890 | 82.922 | 0.4284 | 47.39 |
| 50/50 | -28.3 | 2.243 | 713.674 | 12.796 | 3.143 | 82.479 | 0.4305 | 46.98 |
| 60/40 | -27.24 | 2.26 | 660.981 | 12.956 | 3.419 | 81.858 | 0.4337 | 46.36 |
| 70/30 | -25.5 | 2.271 | 606.489 | 13.244 | 3.745 | 81.462 | 0.4358 | 45.97 |
| 80/20 | -22.73 | 2.274 | 549.251 | 13.671 | 4.140 | 81.354 | 0.4363 | 45.86 |
| 90/10 | -18.39 | 2.261 | 487.134 | 14.348 | 4.641 | 81.822 | 0.4339 | 46.31 |
| 100/0 | -11.61 | 2.224 | 418.175 | 15.445 | 5.318 | 83.183 | 0.427 | 47.65 |

Çizelge Ek 1.21. Sabit soğutma yükünde R152a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R152a/R134a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|----------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 0/100 | -26.07 | 2.226 | 790.949 | 14.037 | 2.814 | 83.109 | 0.4273 | 47.6 |
| 10/90 | -25.64 | 2.233 | 777.882 | 13.857 | 2.871 | 82.848 | 0.4287 | 47.33 |
| 20/80 | -25.27 | 2.235 | 764.299 | 13.756 | 2.924 | 82.774 | 0.429 | 47.27 |
| 30/70 | -24.97 | 2.237 | 754.128 | 13.641 | 2.966 | 82.700 | 0.4294 | 47.19 |
| 40/60 | -24.72 | 2.239 | 745.191 | 13.546 | 3.005 | 82.626 | 0.4297 | 47.16 |
| 50/50 | -24.52 | 2.24 | 739.054 | 13.424 | 3.031 | 82.589 | 0.43 | 47.07 |
| 60/40 | -24.36 | 2.243 | 735.032 | 13.299 | 3.052 | 82.479 | 0.4306 | 46.96 |
| 70/30 | -24.23 | 2.245 | 730.838 | 13.193 | 3.072 | 82.405 | 0.4308 | 46.91 |
| 80/20 | -24.14 | 2.245 | 727.279 | 13.108 | 3.087 | 82.405 | 0.4309 | 46.91 |
| 90/10 | -24.07 | 2.246 | 725.156 | 13.01 | 3.097 | 82.369 | 0.4311 | 46.87 |
| 100/0 | -24.02 | 2.248 | 724.48 | 12.897 | 3.103 | 82.295 | 0.4315 | 46.78 |

Çizelge Ek 1.22. Sabit soğutma yükünde R125/R143a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R125/R143a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|---------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 0/100 | -47.22 | 2.182 | 1614.61 | 9.286 | 1.351 | 84.785 | 0.4193 | 49.24 |
| 10/90 | -47.15 | 2.18 | 1616.06 | 9.361 | 1.349 | 84.862 | 0.4189 | 49.31 |
| 20/80 | -47.1 | 2.177 | 1617.22 | 9.444 | 1.346 | 84.979 | 0.4184 | 49.42 |
| 30/70 | -47.07 | 2.173 | 1619.9 | 9.537 | 1.341 | 85.136 | 0.4177 | 49.57 |
| 40/60 | -47.07 | 2.17 | 1625.01 | 9.625 | 1.335 | 85.253 | 0.417 | 49.7 |
| 50/50 | -47.11 | 2.164 | 1628.83 | 9.731 | 1.329 | 85.490 | 0.4159 | 49.94 |
| 60/40 | -47.19 | 2.157 | 1635.53 | 9.788 | 1.319 | 85.767 | 0.4146 | 50.22 |
| 70/30 | -47.32 | 2.15 | 1646.72 | 9.889 | 1.306 | 86.047 | 0.4134 | 50.47 |
| 80/20 | -47.52 | 2.144 | 1664.62 | 10.034 | 1.288 | 86.287 | 0.4123 | 50.71 |
| 90/10 | -47.79 | 2.133 | 1681.88 | 10.158 | 1.268 | 86.732 | 0.4103 | 51.14 |
| 100/0 | -48.14 | 2.122 | 1704.76 | 10.272 | 1.245 | 87.182 | 0.4081 | 51.61 |

Çizelge Ek 1.23. Sabit soğutma yükünde R32/R125 karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R125 Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|-------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 0/100 | -48.14 | 2.122 | 1704.76 | 10.272 | 1.245 | 87.182 | 0.4081 | 51.61 |
| 10/90 | -49.63 | 2.146 | 1834.792 | 9.725 | 1.17 | 86.207 | 0.4126 | 50.64 |
| 20/80 | -50.51 | 2.163 | 1931.279 | 9.332 | 1.12 | 85.529 | 0.4157 | 49.98 |
| 30/70 | -51.05 | 2.176 | 2004.865 | 9.022 | 1.085 | 85.018 | 0.4182 | 49.46 |
| 40/60 | -51.39 | 2.182 | 2056.164 | 8.806 | 1.061 | 84.785 | 0.4193 | 49.23 |
| 50/50 | -51.6 | 2.187 | 2094.687 | 8.624 | 1.044 | 84.591 | 0.4202 | 49.05 |
| 60/40 | -51.71 | 2.192 | 2127.592 | 8.459 | 1.03 | 84.398 | 0.4211 | 48.86 |
| 70/30 | -51.76 | 2.193 | 2149.144 | 8.334 | 1.02 | 84.359 | 0.4214 | 48.81 |
| 80/20 | -51.76 | 2.195 | 2166.052 | 8.218 | 1.013 | 84.282 | 0.4216 | 48.76 |
| 90/10 | -51.73 | 2.194 | 2177.548 | 8.128 | 1.008 | 84.321 | 0.4214 | 48.8 |
| 100/0 | -51.65 | 2.192 | 2185.486 | 8.049 | 1.003 | 84.398 | 0.4211 | 48.87 |

Çizelge Ek 1.24. Sabit soğutma yükünde R125/R143a/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R125/R143a/R134a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|---------------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 15/81/4 | -46.63 | 2.181 | 1578.3 | 9.534 | 1.382 | 84.823 | 0.4191 | 49.27 |
| 25/71/4 | -46.58 | 2.177 | 1579.6 | 9.631 | 1.378 | 84.979 | 0.4184 | 49.41 |
| 35/61/4 | -46.56 | 2.173 | 1579.76 | 9.734 | 1.376 | 85.136 | 0.4175 | 49.6 |
| 45/51/4 | -46.57 | 2.167 | 1584.99 | 9.824 | 1.367 | 85.371 | 0.4164 | 49.74 |
| 55/41/4 | -46.62 | 2.162 | 1590.1 | 9.945 | 1.360 | 85.569 | 0.4157 | 49.99 |
| 65/31/4 | -46.73 | 2.156 | 1598.65 | 10.057 | 1.349 | 85.807 | 0.4145 | 50.24 |
| 75/21/4 | -46.9 | 2.148 | 1609.12 | 10.172 | 1.335 | 86.127 | 0.413 | 50.56 |
| 15/75/10 | -45.87 | 2.186 | 1522.77 | 9.732 | 1.436 | 84.629 | 0.42 | 49.1 |
| 25/65/10 | -45.8 | 2.179 | 1519.41 | 9.86 | 1.434 | 84.901 | 0.4188 | 49.34 |
| 35/55/10 | -45.76 | 2.176 | 1520.05 | 9.963 | 1.432 | 85.018 | 0.4181 | 49.48 |
| 45/45/10 | -45.76 | 2.171 | 1523.34 | 10.071 | 1.425 | 85.214 | 0.4174 | 49.64 |
| 55/35/10 | -45.81 | 2.166 | 1529.1 | 10.189 | 1.417 | 85.411 | 0.4164 | 49.85 |
| 65/25/10 | -45.92 | 2.16 | 1535.15 | 10.309 | 1.407 | 85.648 | 0.4151 | 50.1 |
| 75/15/10 | -46.1 | 2.154 | 1549.64 | 10.415 | 1.390 | 85.887 | 0.4141 | 50.31 |
| 15/70/15 | -45.2 | 2.186 | 1474.03 | 9.9291 | 1.483 | 84.629 | 0.4201 | 49.07 |
| 25/60/15 | -45.11 | 2.185 | 1475.53 | 10.017 | 1.481 | 84.668 | 0.4199 | 49.11 |
| 35/50/15 | -45.06 | 2.181 | 1475.29 | 10.139 | 1.478 | 84.823 | 0.4191 | 49.28 |
| 45/40/15 | -45.06 | 2.175 | 1476.41 | 10.265 | 1.473 | 85.057 | 0.4181 | 49.49 |
| 55/30/15 | -45.1 | 2.171 | 1480.7 | 10.384 | 1.466 | 85.214 | 0.4172 | 49.67 |
| 65/20/15 | -45.22 | 2.165 | 1486.61 | 10.51 | 1.456 | 85.450 | 0.4161 | 49.91 |
| 75/10/15 | -45.41 | 2.156 | 1496.07 | 10.655 | 1.441 | 85.807 | 0.4145 | 50.24 |

Çizelge Ek 1.25. Sabit soğutma yükünde R125/R143a/R290 karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R125/R143a/R290 Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|--------------------------|----------|-------|--------------------------|-------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 10/85/5 | -48.87 | 2.176 | 1677.8 | 9.118 | 1.297 | 85.018 | 0.4181 | 49.47 |
| 20/75/5 | -49.16 | 2.172 | 1690.48 | 9.159 | 1.285 | 85.175 | 0.4175 | 49.61 |
| 30/65/5 | -49.54 | 2.168 | 1705.74 | 9.198 | 1.271 | 85.332 | 0.4168 | 49.76 |
| 40/55/5 | -50 | 2.16 | 1720.84 | 9.259 | 1.255 | 85.648 | 0.4153 | 50.07 |
| 50/45/5 | -50.57 | 2.155 | 1743.54 | 9.243 | 1.236 | 85.847 | 0.4142 | 50.3 |
| 60/35/5 | -51.25 | 2.149 | 1772.66 | 9.312 | 1.212 | 86.087 | 0.4132 | 50.51 |
| 70/25/5 | -52.07 | 2.138 | 1801.61 | 9.36 | 1.187 | 86.529 | 0.4112 | 50.94 |
| 10/80/10 | -49.73 | 2.173 | 1715.7 | 8.947 | 1.267 | 85.136 | 0.4177 | 49.56 |
| 20/70/10 | -50.18 | 2.167 | 1733.77 | 8.978 | 1.250 | 85.371 | 0.4165 | 49.82 |
| 30/60/10 | -50.71 | 2.163 | 1759.91 | 8.981 | 1.229 | 85.529 | 0.4157 | 49.98 |
| 40/50/10 | -51.33 | 2.156 | 1787.61 | 8.989 | 1.206 | 85.807 | 0.4145 | 50.24 |
| 50/40/10 | -52.05 | 2.146 | 1817.71 | 9.01 | 1.181 | 86.207 | 0.4126 | 50.63 |
| 60/30/10 | -52.87 | 2.133 | 1857.38 | 9.046 | 1.148 | 86.732 | 0.4102 | 51.15 |
| 70/20/10 | -53.79 | 2.121 | 1899.56 | 9.042 | 1.117 | 87.223 | 0.408 | 51.63 |
| 10/75/15 | -50.17 | 2.173 | 1739.17 | 8.828 | 1.249 | 85.136 | 0.4176 | 49.58 |
| 20/65/15 | -50.71 | 2.166 | 1761.66 | 8.841 | 1.230 | 85.411 | 0.4162 | 49.87 |
| 30/55/15 | -51.34 | 2.162 | 1796.57 | 8.815 | 1.203 | 85.569 | 0.4156 | 50.01 |
| 40/45/15 | -52.04 | 2.156 | 1830.64 | 8.788 | 1.178 | 85.807 | 0.4145 | 50.25 |
| 50/35/15 | -52.82 | 2.141 | 1868.29 | 8.82 | 1.146 | 86.408 | 0.4117 | 50.83 |
| 60/25/15 | -53.68 | 2.132 | 1914.97 | 8.778 | 1.113 | 86.773 | 0.4101 | 51.18 |
| 70/15/15 | -54.6 | 2.118 | 1966.14 | 8.757 | 1.077 | 87.347 | 0.4074 | 51.76 |

Çizelge Ek 1.26. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R143a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R125/R143a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|-------------------------|----------|-------|--------------------------|-------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 10/10/80 | -49.52 | 2.184 | 1756.24 | 8.959 | 1.244 | 84.707 | 0.4197 | 49.15 |
| 10/20/70 | -49.48 | 2.181 | 1759.35 | 9.04 | 1.240 | 84.823 | 0.4191 | 49.27 |
| 10/30/60 | -49.44 | 2.178 | 1763.51 | 9.123 | 1.235 | 84.940 | 0.4185 | 49.4 |
| 10/40/50 | -49.42 | 2.173 | 1769.2 | 9.217 | 1.228 | 85.136 | 0.4177 | 49.57 |
| 10/50/40 | -49.41 | 2.169 | 1777.01 | 9.309 | 1.221 | 85.293 | 0.4169 | 49.74 |
| 10/60/30 | -49.42 | 2.164 | 1785.6 | 9.409 | 1.212 | 85.490 | 0.4159 | 49.94 |
| 10/70/20 | -49.46 | 2.16 | 1801.11 | 9.496 | 1.199 | 85.648 | 0.4152 | 50.08 |
| 20/10/70 | -50.79 | 2.189 | 1867.87 | 8.671 | 1.172 | 84.513 | 0.4206 | 48.97 |
| 20/20/60 | -50.73 | 2.184 | 1869.73 | 8.768 | 1.168 | 84.707 | 0.4196 | 49.17 |
| 20/30/50 | -50.68 | 2.18 | 1875.2 | 8.854 | 1.163 | 84.862 | 0.419 | 49.3 |
| 20/40/40 | -50.63 | 2.179 | 1885.04 | 8.929 | 1.156 | 84.901 | 0.4187 | 49.36 |
| 20/50/30 | -50.58 | 2.174 | 1891.08 | 9.031 | 1.150 | 85.097 | 0.4178 | 49.55 |
| 20/60/20 | -50.54 | 2.171 | 1903.95 | 9.122 | 1.140 | 85.214 | 0.4173 | 49.66 |
| 20/70/10 | -50.52 | 2.167 | 1915.44 | 9.219 | 1.131 | 85.371 | 0.4166 | 49.8 |
| 30/10/60 | -51.51 | 2.188 | 1953.71 | 8.509 | 1.120 | 84.552 | 0.4204 | 49.01 |
| 30/20/50 | -51.43 | 2.187 | 1958.82 | 8.578 | 1.116 | 84.591 | 0.4202 | 49.06 |
| 30/30/40 | -51.36 | 2.185 | 1965.86 | 8.654 | 1.111 | 84.668 | 0.4198 | 49.12 |
| 30/40/30 | -51.28 | 2.183 | 1972.55 | 8.74 | 1.107 | 84.746 | 0.4194 | 49.21 |

Çizelge Ek 1.26. (Devam)

| | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|---------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 30/50/20 | -51.2 | 2.179 | 1980.73 | 8.839 | 1.100 | 84.901 | 0.4188 | 49.34 |
| 30/60/10 | -51.13 | 2.177 | 1989.79 | 8.933 | 1.094 | 84.979 | 0.4183 | 49.43 |

Çizelge Ek 1.27. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R125/R134a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|-------------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 5/5/90 | -31.78 | 2.246 | 923.413 | 12.831 | 2.432 | 82.369 | 0.4311 | 46.87 |
| 15/5/80 | -37.44 | 2.251 | 1093.48 | 11.643 | 2.059 | 82.186 | 0.4321 | 46.68 |
| 25/5/70 | -41.18 | 2.248 | 1249.39 | 10.805 | 1.799 | 82.295 | 0.4314 | 46.8 |
| 35/5/60 | -43.87 | 2.239 | 1395.11 | 10.181 | 1.605 | 82.626 | 0.4299 | 47.1 |
| 45/5/50 | -45.91 | 2.233 | 1537.89 | 9.654 | 1.452 | 82.848 | 0.4288 | 47.31 |
| 55/5/40 | -47.53 | 2.225 | 1672.94 | 9.235 | 1.330 | 83.146 | 0.4273 | 47.62 |
| 65/5/30 | -48.85 | 2.215 | 1801.38 | 8.896 | 1.230 | 83.521 | 0.4254 | 48 |
| 75/5/20 | -49.95 | 2.208 | 1930.92 | 8.587 | 1.143 | 83.786 | 0.424 | 48.27 |
| 5/10/85 | -33.08 | 2.242 | 954.288 | 12.661 | 2.349 | 82.516 | 0.4316 | 47 |
| 15/10/75 | -38.45 | 2.248 | 1129.9 | 11.493 | 1.990 | 82.295 | 0.4309 | 46.78 |
| 25/10/65 | -42.01 | 2.243 | 1287.99 | 10.689 | 1.741 | 82.479 | 0.4306 | 46.96 |
| 35/10/55 | -44.59 | 2.237 | 1438.75 | 10.061 | 1.555 | 82.700 | 0.4299 | 47.19 |
| 45/10/45 | -46.55 | 2.229 | 1582.61 | 9.558 | 1.408 | 82.997 | 0.4294 | 47.46 |
| 55/10/35 | -48.1 | 2.22 | 1716.73 | 9.157 | 1.293 | 83.333 | 0.4286 | 47.82 |
| 65/10/25 | -49.37 | 2.212 | 1851.92 | 8.807 | 1.194 | 83.635 | 0.4249 | 48.1 |
| 75/10/15 | -50.43 | 2.203 | 1981.66 | 8.519 | 1.112 | 83.976 | 0.4233 | 48.43 |
| 5/15/80 | -34.32 | 2.242 | 992.388 | 12.45 | 2.259 | 82.516 | 0.4304 | 47 |
| 15/15/70 | -39.42 | 2.244 | 1167.59 | 11.35 | 1.922 | 82.442 | 0.4308 | 46.92 |
| 25/15/60 | -42.82 | 2.238 | 1326.98 | 10.575 | 1.687 | 82.663 | 0.4297 | 47.14 |
| 35/15/50 | -45.28 | 2.231 | 1479.33 | 9.968 | 1.508 | 82.922 | 0.4283 | 47.41 |
| 45/15/40 | -47.16 | 2.223 | 1625.49 | 9.478 | 1.368 | 83.221 | 0.4269 | 47.69 |
| 55/15/30 | -48.65 | 2.216 | 1767.56 | 9.07 | 1.254 | 83.484 | 0.4255 | 47.96 |
| 65/15/20 | -49.87 | 2.208 | 1904.05 | 8.727 | 1.160 | 83.786 | 0.4241 | 48.25 |
| 75/15/10 | -50.89 | 2.2 | 2037.73 | 8.433 | 1.080 | 84.091 | 0.4227 | 48.53 |

Çizelge Ek 1.28. Sabit soğutma yükünde R125/R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R125/R290/R134a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|--------------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 10/5/85 | -49.85 | 2.232 | 1090.97 | 11.606 | 2.046 | 82.885 | 0.4285 | 47.37 |
| 20/5/75 | -49.98 | 2.223 | 1160.22 | 11.336 | 1.916 | 83.221 | 0.4269 | 47.7 |
| 30/5/65 | -50.29 | 2.209 | 1230.14 | 11.103 | 1.796 | 83.748 | 0.4244 | 48.2 |
| 40/5/55 | -50.73 | 2.196 | 1310.23 | 10.859 | 1.676 | 84.244 | 0.4219 | 48.7 |
| 50/5/45 | -51.28 | 2.18 | 1394.65 | 10.627 | 1.563 | 84.862 | 0.419 | 49.3 |
| 60/5/35 | -51.93 | 2.162 | 1486.39 | 10.399 | 1.455 | 85.569 | 0.4157 | 49.99 |
| 70/5/25 | -52.66 | 2.146 | 1590.33 | 10.14 | 1.349 | 86.207 | 0.4127 | 50.62 |
| 10/10/80 | -51.41 | 2.215 | 1258.17 | 10.614 | 1.760 | 83.521 | 0.4253 | 48.01 |
| 20/10/70 | -51.59 | 2.198 | 1320.7 | 10.472 | 1.664 | 84.167 | 0.4222 | 48.63 |

Çizelge Ek 1.28.(Devam)

| | | | | | | | | |
|----------|--------|-------|---------|--------|-------|--------|--------|-------|
| 30/10/60 | -51.91 | 2.177 | 1383.93 | 10.355 | 1.573 | 84.979 | 0.4184 | 49.42 |
| 40/10/50 | -52.36 | 2.158 | 1457.47 | 10.205 | 1.481 | 85.728 | 0.415 | 50.14 |
| 50/10/40 | -52.91 | 2.149 | 1552.77 | 9.961 | 1.384 | 86.087 | 0.4132 | 50.52 |
| 60/10/30 | -53.55 | 2.128 | 1640.78 | 9.799 | 1.297 | 86.936 | 0.4094 | 51.34 |
| 70/10/20 | -54.27 | 2.117 | 1753.45 | 9.543 | 1.207 | 87.388 | 0.4072 | 51.81 |
| 10/15/75 | -50.86 | 2.17 | 1347.1 | 10.257 | 1.611 | 85.253 | 0.417 | 49.71 |
| 20/15/65 | -51.27 | 2.164 | 1423.39 | 10.05 | 1.520 | 85.49 | 0.4159 | 49.94 |
| 30/15/55 | -51.78 | 2.145 | 1486.56 | 9.95 | 1.443 | 86.247 | 0.4124 | 50.68 |
| 40/15/45 | -52.39 | 2.137 | 1574.04 | 9.738 | 1.358 | 86.57 | 0.411 | 50.99 |
| 50/15/35 | -53.1 | 2.129 | 1668.81 | 9.519 | 1.276 | 86.895 | 0.4095 | 51.32 |
| 60/15/25 | -53.87 | 2.113 | 1762.37 | 9.35 | 1.199 | 87.553 | 0.4066 | 51.95 |
| 70/15/15 | -54.72 | 2.106 | 1878.47 | 9.096 | 1.121 | 87.844 | 0.4053 | 52.24 |

Çizelge Ek 1.29. Sabit soğutma yükünde R32/R125/R290/R134a karışımına ait değişik kütle oranları için termodinamik ve performans değerleri

| R32/R125/R290/R134a Karışımı | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|------------------------------|----------|-------|--------------------------|-------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 1) 10/65/5/20 | -55.17 | 2.155 | 1770.046 | 9.519 | 1.217 | 85.847 | 0.4142 | 50.3 |
| 2) 20/55/5/20 | -56.56 | 2.192 | 1598.785 | 9.822 | 1.371 | 84.398 | 0.4212 | 48.84 |
| 3) 30/45/5/20 | -57.55 | 2.181 | 1942.396 | 8.846 | 1.123 | 84.823 | 0.4192 | 49.26 |
| 4) 40/35/5/20 | -58.32 | 2.191 | 2005.679 | 8.608 | 1.092 | 84.436 | 0.421 | 48.88 |
| 5) 50/25/5/20 | -58.96 | 2.201 | 2052.036 | 8.403 | 1.073 | 84.053 | 0.4228 | 48.52 |
| 6) 60/15/5/20 | -59.5 | 2.205 | 2091.102 | 8.252 | 1.054 | 83.900 | 0.4236 | 48.35 |
| 7) 10/55/5/30 | -54.6 | 2.17 | 1657.994 | 9.741 | 1.309 | 85.253 | 0.4171 | 49.69 |
| 8) 30/55/5/10 | -57.94 | 2.174 | 2075.966 | 8.619 | 1.047 | 85.097 | 0.4179 | 49.52 |
| 9) 20/25/5/50 | -55.45 | 2.201 | 1686.826 | 9.795 | 1.305 | 84.053 | 0.4229 | 48.5 |
| 10) 20/35/5/40 | -55.75 | 2.193 | 1645.144 | 9.566 | 1.333 | 84.359 | 0.4213 | 48.83 |
| 11) 20/45/5/30 | -56.12 | 2.181 | 1752.218 | 9.359 | 1.245 | 84.823 | 0.4191 | 49.27 |
| 12) 20/65/5/10 | -57.05 | 2.16 | 1999.059 | 8.9 | 1.081 | 85.648 | 0.4152 | 50.1 |

Çizelge Ek 1.30. Sabit soğutma yükünde R12 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri

| R12 ve Alternatifleri | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|-----------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 1)R152a/R134a 14/86 | -25.49 | 2.234 | 772.50 | 13.815 | 2.892 | 82.811 | 0.4289 | 47.3 |
| 2)R600a/R134a 18/82 | -29.45 | 2.224 | 876.23 | 12.747 | 2.538 | 83.183 | 0.427 | 47.66 |
| 3)R12 | -29.75 | 2.25 | 850.40 | 10.811 | 2.646 | 82.222 | 0.4319 | 46.71 |
| 4)R290/R600a 40/60 | -29.98 | 2.273 | 724.37 | 11.711 | 3.138 | 81.390 | 0.4362 | 45.89 |
| 5)R290/R600a 43/57 | -30.87 | 2.269 | 745.32 | 11.583 | 3.044 | 81.534 | 0.4353 | 46.05 |
| 6)R290/R600a 48/52 | -32.27 | 2.267 | 785.36 | 11.322 | 2.887 | 81.606 | 0.4349 | 46.12 |
| 7)R290/R600a 50/50 | -32.79 | 2.266 | 802.43 | 11.21 | 2.824 | 81.642 | 0.4349 | 46.13 |
| 8)R290/R600a 56/44 | -34.28 | 2.26 | 850.70 | 10.947 | 2.657 | 81.858 | 0.4338 | 46.34 |
| 9)R290/R600a 60/40 | -35.2 | 2.259 | 885.72 | 10.753 | 2.550 | 81.895 | 0.4336 | 46.38 |
| 10)R290/R600a 70/30 | -37.27 | 2.251 | 974.64 | 10.346 | 2.310 | 82.186 | 0.4321 | 46.67 |
| 11)R290/R600a 80/20 | -39.08 | 2.243 | 1069.58 | 9.978 | 2.097 | 82.479 | 0.4305 | 46.98 |
| 12)R290/R600a 90/10 | -40.67 | 2.237 | 1174.21 | 9.617 | 1.905 | 82.700 | 0.4294 | 47.19 |
| 13)R290/R134a 5/95 | -49.91 | 2.241 | 1028.58 | 11.86 | 2.179 | 82.552 | 0.4303 | 47.03 |

Çizelge Ek 1.31. Sabit soğutma yükünde R22 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri

| R22 ve Alternatifleri | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|----------------------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 1) R32/R134a 25/75 | -40.31 | 2.253 | 1213.43 | 10.915 | 1.857 | 82.113 | 0.4324 | 46.62 |
| 2) R22 | -40.81 | 2.227 | 1361.54 | 9.421 | 1.636 | 83.071 | 0.4277 | 47.54 |
| 3) R32/R134a 30/70 | -41.83 | 2.249 | 1286.41 | 10.576 | 1.748 | 82.259 | 0.4317 | 46.75 |
| 4) R32/R125/R134a 30/10/60 | -43.39 | 2.239 | 1362.51 | 10.37 | 1.643 | 82.626 | 0.4299 | 47.13 |
| 5) R32/R125/R134a 10/70/20 | -46.8 | 2.175 | 1576.48 | 10.318 | 1.380 | 85.057 | 0.418 | 49.51 |
| 6) R290/R134a 46/54 | -48.6 | 2.198 | 1604.44 | 8.761 | 1.370 | 84.167 | 0.4223 | 48.62 |
| 7) R32/R125 50/50 | -51.6 | 2.187 | 2094.69 | 8.624 | 1.044 | 84.591 | 0.4202 | 49.05 |
| 8)R32/R125/R290/R134a 20/55/5/20 | -56.56 | 2.192 | 1598.79 | 9.822 | 1.371 | 84.398 | 0.4212 | 48.84 |

Çizelge Ek 1.32. Sabit soğutma yükünde R502 ve alternatif karışımları için termodinamik ve performans değerleri

| R502 ve Alternatifleri | KNS (°C) | STK | HSK (kJ/m ³) | BO | STK/HSK (*10 ⁻³) | W _k (W) | OV | TT (W) |
|----------------------------|----------|-------|--------------------------|--------|------------------------------|--------------------|--------|--------|
| 1)R32/R125/R134a 20/40/40 | -45.23 | 2.214 | 1463.28 | 10.328 | 1.513 | 83.559 | 0.4253 | 48.02 |
| 2)R502 | -45.26 | 2.194 | 1508.51 | 9.42 | 1.454 | 84.321 | 0.4215 | 48.77 |
| 3)R125/R143a/R134a 44/52/4 | -46.56 | 2.167 | 1635.89 | 9.824 | 1.325 | 85.371 | 0.4164 | 49.74 |
| 4)R125/R143a 50/50 | -47.11 | 2.164 | 1628.83 | 9.731 | 1.329 | 85.490 | 0.4159 | 49.94 |
| 5)R32/R125/R143a 10/45/45 | -49.41 | 2.172 | 1773.17 | 9.256 | 1.225 | 85.175 | 0.4174 | 49.62 |
| 6)R32/R125/R143a 10/50/40 | -49.41 | 2.169 | 1777.01 | 9.309 | 1.221 | 85.293 | 0.4169 | 49.74 |
| 7)R125/R143a/R290 50/45/5 | -50.57 | 2.155 | 1743.54 | 9.243 | 1.236 | 85.847 | 0.4142 | 50.3 |
| 8)R125/R290/R134a 50/5/45 | -51.28 | 2.18 | 1394.65 | 10.627 | 1.563 | 84.862 | 0.419 | 49.3 |
| 9)R125/R290/R134a 70/10/20 | -54.27 | 2.117 | 1753.45 | 9.543 | 1.207 | 87.388 | 0.4072 | 51.81 |

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Beypazarı'nda doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1992 yılında İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirdi. Bir yıl kadar proje mühendisi olarak çalıştı. 1994 yılında Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne araştırma görevlisi olarak başladı. 1994-1997 yıllarında Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansını tamamladı. 1997 yılında aynı enstitüde doktora çalışmasına başladı. Halen Kırıkkale Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve üç çocuk babasıdır.

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**