

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÖRT KADEMELİ PİSTONLU TİP BİR CO₂ KOMPRESÖR SİSTEMİNDE
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Mehmet Ali AKGÜL

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2011

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DÖRT KADEMELİ PİSTONLU TİP BİR CO₂ KOMPRESÖR SİSTEMİNDE
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

Mehmet Ali AKGÜL

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2011

Doç. Dr. Hüsamettin BULUT danışmanlığında, Mehmet Ali AKGÜL' ün hazırladığı "Dört Kademeli Pistonlu Tip Bir CO₂ Kompresör Sisteminde Enerji ve Ekserji Analizi" konulu bu çalışma 08/02/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hüsamettin BULUT



Üye : Prof. Dr. Ramazan SAĞLAM



Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail HİLALİ



Bu Tezin Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet CİCİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompresör Seçim Kriterleri.....	2
1.2. Kompresör Tipleri.....	3
1.2.1. Santrifüj kompresörler.....	3
1.2.2. Vidalı kompresörler.....	5
1.2.3. Pistonlu kompresörler.....	8
1.2. Konun Önemi ve Amacı.....	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Batı Raman AP2 recycle istasyonu.....	18
3.1.2. Recycle kompresörleri.....	21
3.1.3. Glikol sistemi.....	21
3.1.4. Ana scrubber.....	23
3.1.5. Ara soğutucu ünitesi.....	23
3.2. Yöntem.....	24
3.2.1. CO ₂ kompresör sistemi birinci yasa analizi	25
3.2.1.1. Kompresör birinci yasa analizi.....	25
3.2.1.2. Ara soğutucu birinci yasa analizi.....	30
3.2.1.3. Glikol kulesi birinci yasa analiz.....	32
3.2.2. CO ₂ kompresör sistemi ikinci yasa analizi.....	33
3.2.2.1. Ekserji kavramı.....	34
3.2.2.2. Kompresör ekserji analizi.....	36
3.2.2.3. Ara soğutucu ekserji analizi.....	37
3.2.2.4. Glikol kulesi ekserji analizi.....	38
3.2.2.5. Ekserji verimi ve önemi.....	39
3.2.2.6. Sistemin toplam tersinmezliği.....	40
3.2.3. Regresyon ve korelasyon analizi.....	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	42
4.1. CO ₂ Kompresör Sistemi Birinci Yasa Analizi Sonuçları.....	42
4.1.1. Kompresör birinci yasa analizi sonuçları.....	42
4.1.2. Ara soğutucu birinci yasa analizi sonuçları.....	49
4.1.3. Glikol kulesi birinci yasa analizi sonuçları.....	50
4.1.4. Sistem birinci yasa analizi genel sonuçları.....	52
4.2. CO ₂ Kompresör Sistemi İkinci Yasa Analizi Sonuçları.....	53
4.2.1. Kompresör ikinci yasa analizi sonuçları.....	54
4.2.2. Ara soğutucu ikinci yasa analizi sonuçları.....	60
4.2.3. Glikol kulesi ikinci yasa analizi sonuçları.....	64
4.2.4. Sistem ikinci yasa analizi genel sonuçları.....	67
4.3. Aylık Ortalama Veriler ve Sistemin Enerji Maliyet Analizi.....	70
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	81
EKLER.....	82
EK-1	83
EK-2	84

EK-3	85
EK-4	86
EK-5	87
EK-6	88
EK-7	89
EK-8	90
EK-9	91
EK-10	92
EK-11	93
ÖZET.....	94
SUMMARY.....	95

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

DÖRT KADEMELİ PİSTONLU TİP BİR CO₂ KOMPRESÖR SİSTEMİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Mehmet Ali AKGÜL

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüsamettin BULUT

Yıl: 2011, Sayfa: 95

Bu çalışmada, 4 kademeli pistonlu bir kompresör sisteminde enerji ve ekserji verimliliği için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Bu analizin katkısıyla işletmelerde işgücü kaybı ve üretim kaybı, arıza sıklığı, yüksek işletme ve bakım maliyetleri, çevre kirliliği ve iş kazası gibi olumsuzlukların önüne geçmek amaçlanmıştır.

Bu amaçla TPAO Batman Bölge Batı Raman AP2 istasyonu CO₂ Recycle istasyonu örnek uygulaması üzerinde durulmuştur. Öncelikle kompresör tanımı yapılmış, kompresör seçim kriterleri ve kompresör türleri anlatılmıştır. Daha sonra örnek uygulama incelenmiş ve termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına göre sistemin teorik analizi yapılmıştır. Sistem günlük çalışma verilerine göre kompresör, ara soğutucu, glikol kulesi ve sistemin tamamında enerji, tersinmezlik ve ekserji hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucu, sistemin verimlilik açısından iyi durumda olduğu ancak tersinmezlikleri daha da azaltmanın ve verimliliği artırmanın imkan dahilinde olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Kademeli sıkıştırma, enerji analizi, ekserji analizi, tersinmezlik, verimlilik.

ABSTRACT

MSc Thesis

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF FOUR STAGED RECIPROCATED CO₂ COMPRESSOR SYSTEM

Mehmet Ali AKGÜL

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Year: 2011, Page: 95**

In this study, energy and exergy analysis of 4- staged reciprocating CO₂ compressor system has been performed in view of energetic and exergetic efficiency. Furthermore, with contribution of this analysis, it has been intend to prevent loss of productive effort and production, high cost of operating and maintenance, environmental pollution and industrial accident etc at companies. Because of that, TPAO Batman District Batı Raman field AP2 CO₂ recycle compressor system has been considered as an example application.

Previously, compressor, selection criterions of compressor and compressor type have been introduced. After that, the system which considered has been investigated and analyzed theoretically, using 1st and 2nd law of Thermodynamics. According to operating daily data, energy, exergy and irreversibility of the compressor, gas cooler, dehydrator and whole system have been calculated. Obtained results have been evaluated with graphics and tables.

The results of this analysis showed that with regard to productivity and efficiency, results are satisfactory. However, it is possible to reduce irreversibility and improve efficiency much more.

KEY WORDS: Staged compressing, energy analysis, exergy analysis, irreversibility, efficiency

TEŐEKKÖR

Bu tez alıŐmasının baŐından sonuna kadar bana yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hüsamettin BULUT' a ayrıca TPAO Batı Raman AP2 istasyonu çalıŐanlarına ve manevi desteğini benden esirgemeyen eŐime teŐekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kapasite ve basınç değerlerine göre kompresör tipleri	2
Şekil 1.2. Santrifüj kompresörde merkezkaç sıkıştırma	3
Şekil 1.3. Üç kademeli santrifüj kompresörde gaz akışı	4
Şekil 1.4. Vidalı kompresör ve kesiti	6
Şekil 1.5. Vidalı kompresörlerde sıkıştırma çevrimi	7
Şekil 1.6. Dört kademeli pistonlu kompresör	9
Şekil 3.1. AP2 istasyonu recycle kompresörleri.....	19
Şekil 3.2. CO ₂ basınç-sıcaklık faz diyagramı	20
Şekil 3.3. 2. ve 4. kademe silindirleri	21
Şekil 3.4. AP2 istasyonu glikol sistemi.....	22
Şekil 3.5. Ana scrubber	23
Şekil 3.6. Soğutma ünitesi	24
Şekil 3.7. AP2 istasyonu CO ₂ recycle sistemi akış diyagramı.....	25
Şekil 3.8. Çift tesirli kompresör silindirinde P-V diyagramı	26
Şekil 3.9. Çift tesirli kompresör silindir şematik görüntüsü	26
Şekil 3.10. Kompresörün şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.11. Dört kademeli sıkıştırma işlemleri için P-v ve T-s diyagramları	29
Şekil 3.12. Ara soğutucunun şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.13. Glikol kulesinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 4.1. Kompresör emiş basıncı ile kompresör işinin değişimi.....	43
Şekil 4.2. Hacimsel debi ile her bir kademede kompresör işinin değişimi.....	44
Şekil 4.3. Sıkıştırma oranı ile toplam kompresör işinin değişimi.....	45
Şekil 4.4. Sıkıştırma oranı ile kompresör gücünün değişimi.....	45
Şekil 4.5. Kompresör debisi ile verimin değişimi.....	46
Şekil 4.6. Toplam kompresör işi ile kademe emiş sıcaklıklarının değişimi.....	47
Şekil 4.7. Kompresör emiş basıncı ile adyabatik verimin değişimi.....	48
Şekil 4.8. Sıkıştırma oranı ile adyabatik verimin değişimi.....	48
Şekil 4.9. Ara soğutucuda havanın kütleli debisi ile sıcaklık farklarının değişimi.....	49
Şekil 4.10. Ara soğutucuda CO ₂ 'nin kütleli debisi ile havanın kütleli debisinin değişimi.....	50
Şekil 4.11. Glikol kütleli debisi ile CO ₂ 'nin giriş basıncının değişimi.....	51
Şekil 4.12. Glikol giriş basıncı ile glikol kütleli debisinin değişimi.....	51
Şekil 4.13. Glikol kütleli debisi ile CO ₂ hacimsel debisinin değişimi.....	52
Şekil 4.14. Kompresör emiş basıncı ile ikinci yasa veriminin değişimi.....	54
Şekil 4.15. Kompresörde referans sıcaklığı ile ikinci yasa veriminin değişimi.....	55
Şekil 4.16. Kompresör sıkıştırma oranı ile ikinci yasa veriminin değişimi.....	56
Şekil 4.17. Kompresör emiş basıncı ile tersinmezliğin değişimi.....	56
Şekil 4.18. Kompresörde sıkıştırma oranı ile tersinmezliğin değişimi.....	57
Şekil 4.19. Kompresörde referans sıcaklığı ile tersinmezliğin değişimi.....	58
Şekil 4.20. Kompresörde sıkıştırma oranı ile ekserjilerin değişimi.....	59
Şekil 4.21. Kompresörde ikinci yasa verimi ile tersinmezliğin değişimi.....	59
Şekil 4.22. Ara soğutucuda havanın kütleli debisi ile tersinmezliğin değişimi.....	60
Şekil 4.23. Ara soğutucuda CO ₂ 'nin hacimsel debisi ile tersinmezliğin değişimi.....	61
Şekil 4.24. Ara soğutucuda referans sıcaklığı ile tersinmezliğin değişimi.....	61
Şekil 4.25. Ara soğutucuda tersinmezlik ile CO ₂ giriş sıcaklıklarının değişimi.....	62
Şekil 4.26. Ekserji verimi ile havanın çıkış ekserjisinin değişimi.....	63
Şekil 4.27. Ara soğutucuda ekserji verimi ile CO ₂ giriş sıcaklığının değişimi.....	63
Şekil 4.28. Ara soğutucuda ekserji verimi ile tersinmezliğin değişimi.....	64
Şekil 4.29. Glikol kulesi CO ₂ giriş basıncı ile tersinmezliğin değişimi.....	65
Şekil 4.30. Glikol giriş sıcaklığı ile tersinmezliğin değişimi.....	65
Şekil 4.31. Tersinmezlik ile glikolün kütleli debisinin değişimi.....	66
Şekil 4.32. Glikol kulesinde referans sıcaklığı ile ikinci yasa veriminin değişimi.....	66

Şekil 4.33. Glikol kulesinde ikinci yasa verimi ile tersinmezliğin değişimi.....	67
Şekil 4.34. Sistem ekipmanlarının tersinmezlik oranları dağılımı.....	69
Şekil 4.35. Sistem ve ekipmanların ekserji verimi.....	69
Şekil 4.36. Aylara göre ortalama referans sıcaklığı, tersinmezlik ve debinin değişimi.....	71
Şekil 4.37. Aylara göre ortalama referans sıcaklığı ile aylık enerji maliyetinin değişimi.....	71
Şekil 4.38. Aylara göre ortalama kütleli debi ile aylık enerji maliyetinin değişimi.....	72
Şekil 4.39. Aylara göre ortalama tersinmezlik ile aylık enerji tüketiminin değişimi.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Karbondioksitin termodinamik özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. Trietilen glikol özellik tablosu.....	22
Çizelge 4.1. Havanın kütleli debisi ile ara soğutucu sıcaklık farkları arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri.....	49
Çizelge 4.2. Güç, verimlilik ve debi tablosu.....	53
Çizelge 4.3. Referans sıcaklığının sabit ve değişken alınmasına göre ekserji ve ikinci yasa verimleri karşılaştırma tablosu.....	55
Çizelge 4.4. Sıkıştırma oranı ile ekserjiler arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri...	58
Çizelge 4.5. Tersinmezlik ile ara soğutucu CO ₂ giriş sıcaklıkları arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri.....	62
Çizelge 4.6. Ekserji verimi ile ara soğutucu CO ₂ giriş sıcaklıkları arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri.....	63
Çizelge 4.7. Tersinmezlik ve ekserji verimi tablosu	68
Çizelge 4.8. Kompresör sistemi aylık ortalama çalışma, enerji tüketim ve maliyet verileri.....	70

SİMGELER DİZİNİ

C_p	Sabit basınçta özgül ısı
\mathcal{E}	Ekserji verimi
h	Entalpi
h_0	Referans hal entalpisi
I	Tersinmezlik
\dot{m}_{CO_2}	Karbondioksitin kütleli debisi
\dot{m}_{gl}	Glikolün kütleli debisi
\dot{m}_h	Havanın kütleli debisi
n	Politropik üs
P	Basınç
P_0	Referans hal basıncı
R	Gaz sabiti
Q	Hacimsel debi
ρ	Yoğunluk
s	Entropi
s_0	Referans hal entropisi
T	Sıcaklık
T_0	Referans sıcaklığı
v	Özgül hacim
η_k	Kompresör verimi
η_a	Adyabatik verim
η_{II}	2.Yasa verimi
w_k	Birim kütle için kompresör işi
W	Birim zaman için kompresör gücü
ψ	Ekserji
psig	Pound per square inch olarak gösterge basıncı birimi

1. GİRİŞ

Kompresörler gaz veya havanın basıncını düşük bir emiş basıncından daha yüksek bir çıkış basıncına çıkarmak amacıyla kullanılan makinelerdir. Kompresörler mekanik enerjiyi basınç enerjisine dönüştürür. Gazlar sıkıştırılabilir maddelerdir ve sıkıştırma sırasında gazların basıncı ile birlikte molekül hızları ve sıcaklığı artarken hacimleri küçülür.

Kompresörler soğutma uygulamalarında yeraltına gaz depolama uygulamalarına oradan şehir içi gaz dolaşım şebekelerine kadar çok yaygın kullanım alanları olan ekipmanlardır. Kompresörlerin yaygın kullanım alanlarına sahip olması ve ciddi boyutta enerji tüketen makineler olması; kompresör seçimi, enerji analizi, ilk yatırım maliyeti ile işletme ve bakım masrafı gibi hususların dikkate alınmasını gerekli kılmıştır.

Çok kademeli kompresör sistemleri göz önüne alındığında, her kademenin çıkışında gaz, ara soğutucu denilen elemanlardan geçerek yaklaşık sıkıştırma öncesi sıcaklığa getirilir. Sıkıştırma sonu sıcaklığını ve dolayısıyla güç harcamasını düşürmek, yağlama ve malzeme problemlerinin önüne geçmek için her bir kademenin sonunda gaz ara soğutuculardan geçirilir.

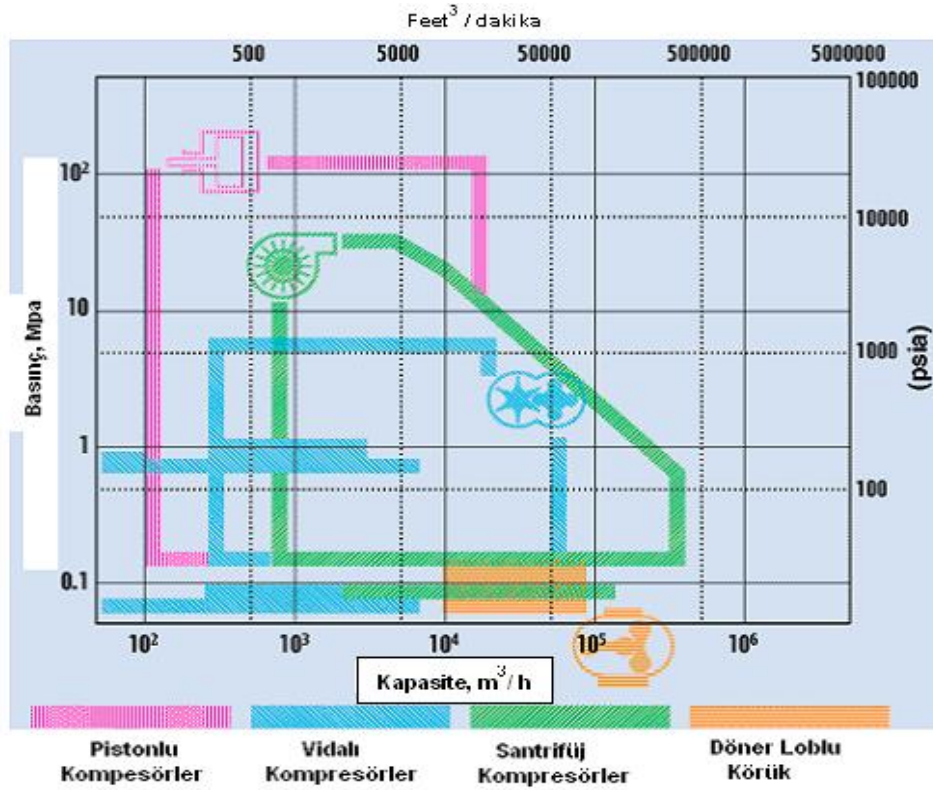
Gazın içerisindeki su, işletme, taşıma, depolama ve kullanımda problemlere neden olabilir. Ayrıca, gazın içerisindeki su, boru hatlarında korozyonunun yanında gaz enjeksiyon uygulamalarında formasyonda buzlanma veya hidrat oluşturabilir. Formasyonda buzlanma ve hidrat oluşumu akışı bloke ederek gaz enjeksiyonunu veya iletimini engelleyebilir. Bu tür olumsuzlukların önüne geçmek için gazın içerisindeki suyun alınması önemlidir. Bu amaçla kompresör ve ara soğutucuların yanında glikol sistemi de tesis edilir ve gaz glikol sisteminden geçirilerek kullanım yerlerine gönderilir.

1.1. Kompresör Seçim Kriterleri

Kompresör seçiminde aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınır:

- Kullanılacak azami ve ortalama gaz debisi,
- Gerekli basınç seviyesi,
- Ortam sıcaklığı,
- Rakım,
- Rutubet ve gazın kirlilik oranı,
- Bakım ve işletme masrafları,
- Çalışma ve yerleşim alanı,
- Enerji temini.

Şekil 1.1.' de kapasite ve basınç aralıklarına göre kompresörler sınıflandırılmıştır. Burada görüldüğü gibi kompresör seçim parametrelerinden kapasite ve basınç göz önüne alındığında; yüksek kapasiteler için santrifüj (turbo), yüksek basınçlar için ise pistonlu kompresörlerin daha uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 1.1. Kapasite ve basınç değerlerine göre kompresör tipleri

1.2. Kompresör Tipleri

1.2.1. Santrifüj kompresörler

Santrifüj (turbo) kompresörler, yaygın olarak hava ve gaz basmak için kullanılan, dinamik kompresörlerdir. Kompresyon, havanın yüksek bir hızla (dönerek) savrulurken kinetik enerji kazanmasından kaynaklanır. Santrifüj kompresörlerde havanın santrifüj kuvvetle (fan dışına) savrulurarak hızlanması ve fan çıkışında yığılması, taşıdığı kinetik enerjinin basınç enerjisine dönüşmesini sağlar. Santrifüj (Turbo) kompresörün fanının havayı (emip, savurarak) sıkıştırma oranı genellikle 1' den 2' ye kadardır.

Santrifüj kompresörlerin güçleri 125 hp (93 kW)'dan 10000 hp (7500 kW) ve üstü değerlere kadar çıkabilmektedir. Bu tip kompresörler, yüksek debili ancak düşük sıkıştırma oranlı kompresörlerdir. Bu sebeple yüksek sıkıştırma oranı sağlamak için çok sayıda sıkıştırma odası arka arkaya sıralanır.

Bu makinalar dinamik ilkesine göre basınç oluşturur; bunun anlamı pozitif yer değiştirmeli kompresörlerin çalışmasındaki gibi herhangi bir mekanik hacim daraltması (sürme) olmadan (havanın hızını kullanarak) basınç artışı sağlanmasıdır. Santrifüj kompresörlerde havayı (gazı) basmak için yüksek hızla dönen elemana fan veya impeller adı verilir. Şekil 1.2.' de santrifüj kompresörde merkezkaç sıkıştırma gösterilmiştir.

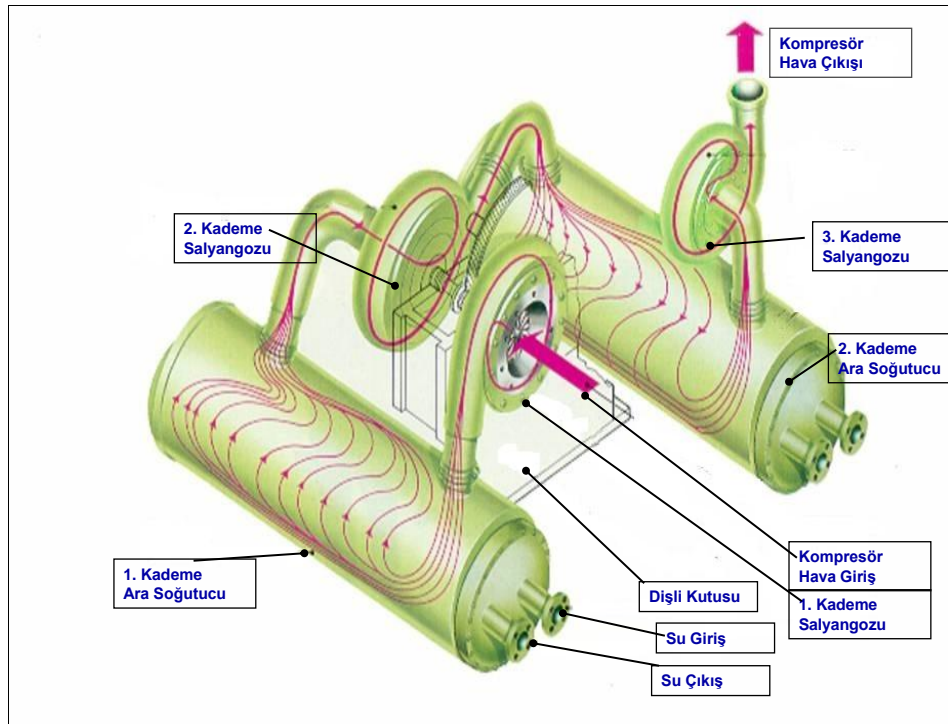


Şekil 1.2. Santrifüj kompresörde merkezkaç sıkıştırma

Santrifüj kompresörler havayı emiş ağzından (ortadan) emer ve yüksek hızla dönen fan kanatları santrifüj (savurma) kuvveti oluşturup havayı içten dışa doğru (çevresine) savurur. Şekil 1.3.' de 3 kademeli bir türbo kompresörün gaz akışı şeması gösterilmiştir.

Dinamik olarak benzer olan fanlar için, karakteristik değişkenler arasındaki ilişkileri veren denklemler, fan kanunları olarak adlandırılırlar. Santrifüj (Türbo) kompresörler "**fanların üç kanunu**" olarak da adlandırılan şu prensiplere göre çalışır:

- Fan giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı fan dönme hızının karesiyle doğru orantılıdır.
- Debi fan dönme hızıyla doğru orantılıdır.
- Fanın çektiği güç fan dönme hızının küpü ile doğru orantılıdır.



Şekil 1.3. Üç kademeli santrifüj kompresörde gaz akışı (Tari, 2007)

Avantajları:

- Durusuz operasyonlar için uygundur,
- Aşınan parçaları az ve kurulumu kolaydır,
- Stabil akış ve çalışma,

- Çok yüksek debilere ulaşılabilir,
- Yüksek politropik verim,
- Tek ve kademeli sıkıştırma olanağı,
- Sabit hızda değişken debi olanağı,
- Havanın yanında birçok gaz uygulamasında kullanım olanağı,
- Yağlama gerektirmeyen tasarımlar,
- Tahrik sistemi yönünden esnek olması.

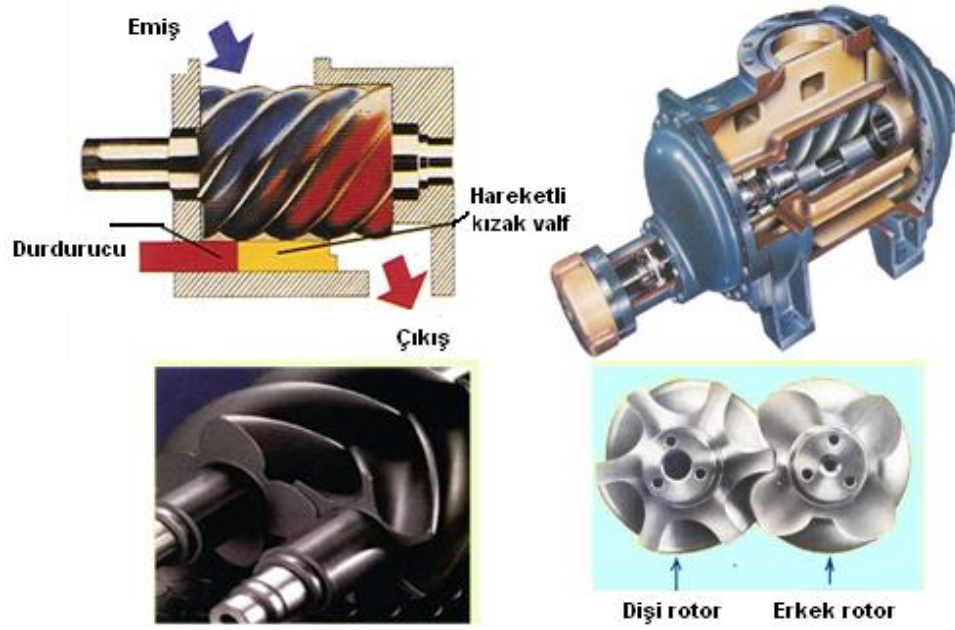
Dezavantajları:

- Ortam koşullarının değişiminden etkilenme,
- Dalgalanmaya karşı özel koruma sistemi gereksinimi,
- Gazların molekül ağırlığının çalışmayı kısıtlaması,
- Sıvı girişini engellemek için düzeneklerin gerekmesi,
- Hava için filtrasyon sistemi gereklidir,
- Gürültülü çalışma,
- Frekans değişimlerine karşı özel önlemler gerektirmektedir,
- Yüksek devirli çalışmadan dolayı vibrasyon ölçme ve görüntüleme sistemi olmalıdır,
- İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması.

1.2.2. Vidalı kompresörler

Vidalı kompresör basınçlı hava üretmek için piston yerine birbirine geçmiş rotor çiftinin kullanıldığı pozitif yer değiştirmeli makinedir (Şekil 1.4). Rotorlar bir mil üzerindeki helisel loblardan oluşur. Rotorların biri erkek rotor olarak adlandırılır ve onun helisleri dolgun yuvarlak çıkıntılardan/loblardan oluşur. Diğer rotor dişi rotor olarak adlandırılır ve erkek rotorun loblarına karşılık gelen yivleri/yuvaları vardır.

Tipik olarak, erkek rotorun dört lobuna karşılık, dişi rotorda altı yiv kullanılır. İki rotor birbirine geçmiş olarak dönerken, erkek rotorun bir turuna karşılık, dişi rotor sadece 240° döner. Dişi rotorun bir tam tur dönmesi için erkek rotor 1.5 tur döner. Şekil 1.5.' de vidalı kompresörde sıkıştırma çevrimi verilmiştir.



Şekil 1.4. Vidalı kompresör ve kesiti (Tari, 2007)

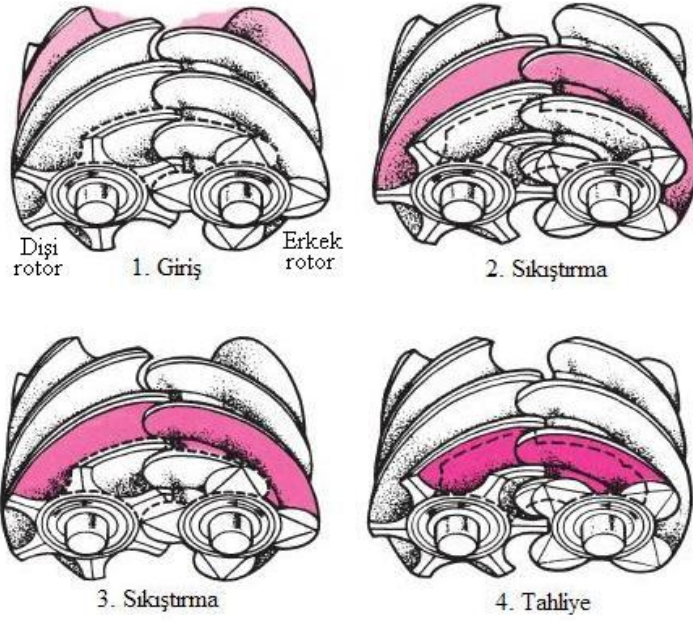
Vidalı kompresörlerde sıkıştırma işlemi birbirine kenetlenerek çalışan rotolar sayesinde gerçekleşir. Giriş kanalından erkek rotorun dönüşüyle içeri belli miktarda gaz alınır. Bu gaz, erkek ve dişi rotorların (vidaların) profilleri arasındaki gittikçe daralan helisel bir yörünge izleyerek çıkış (tahliye) kanalından dışarı bırakılır.

Erkek vidanın dört lobu olduğu düşünülürse tek bir turunda dört sıkıştırma çevrimi yapılacağı anlamına gelir. Özellikle yüksek devirlerde dönen vidalar kesintili sıkıştırma yapan bu tür kompresörlerde çıkışta yaşanabilecek basınç dalgalanmalarını ihmal edilebilir seviyeye indirmiş olurlar (Ersever, 2008).

Vidaların çapı ve uzunluğu kompresörün kapasitesini etkiler. Daha uzun vida, daha yüksek basınç demektir. Daha büyük çap ise daha yüksek kapasite anlamına gelmektedir.

Kullanım alanları çok geniş olmakla birlikte; başta doğalgaz ve petrol tesisleri olmak üzere çeşitli kirli ve zehirli gazların sevkinde, genel amaçlı basınçlı hava uygulamalarında tekstil, gıda, ilaç, kimya sanayilerinde basınçlı gaz ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca soğutucu gazların sevkinde basınçlandırılmasında özellikle buzdolabı kompresörlerinde yararlanılmaktadır.

Vidalı kompresörler, kapasitelerinin yüksekliği ve düşük emme basınçlarında da çalışabilmeleri gibi nedenlerle endüstriyel uygulamalarda popülerliği artmıştır. Bunun dışında bazı temel avantajlarından söz etmek gerekirse; bakımları basit ve ucuzdur. Ömürleri uzundur. Verilen dış tahriği en verimli şekilde sıkıştırma işleminde kullanırlar. Yüksek sıkıştırma oranı elde edilebilir. Kompakt bir yapıya sahiptirler. Vidalı kompresörler, değişken hız kontrolü ve düşük titreşim gibi avantajlara da sahiptir.



Şekil 1.5. Vidalı kompresörlerde sıkıştırma çevrimi (Ersever, 2008).

Avantajları:

- Az sayıda komponentten oluşması,
- Taşınabilir uygulamalara uygun olması,
- Skid olarak montajının yapılabilmesi,
- Hafif olmaları ve montajının hızlı bir şekilde yapılabilmesi,
- Ortam koşullarından etkilenmemeleri,
- Yağlama gerektirmeyen tasarımların mümkün olması,
- Düzgün akış.

Dezavantajları:

- Yatak ömürleri kısa,

- Vida elemanları arasındaki hassas tolerans,
- Yerinde tamiri olanaklı değildir,
- Rotorlar arasındaki kaçaklardan dolayı yüksek enerji tüketimi,
- Yağlama yağı çok temiz olmalıdır. Aksi takdirde arıza sıklığı artar,
- Kademeli sıkıştırma oldukça zordur,
- Yüksek hızlar ve gürültülü çalışma.

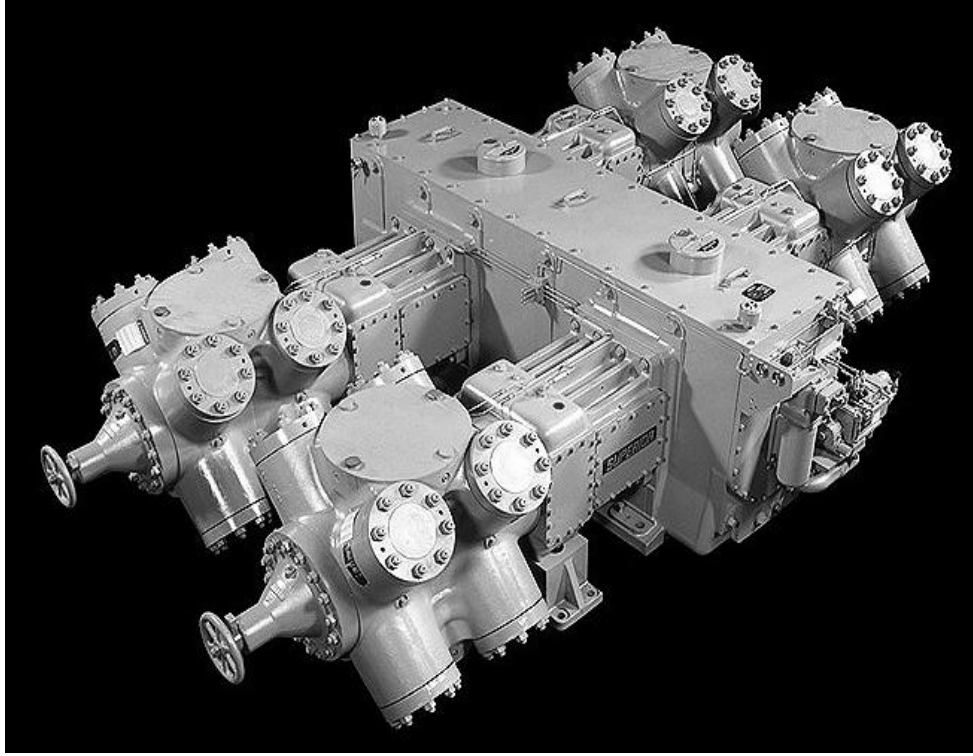
1.2.3. Pistonlu kompresörler

En çok bilinen ve en yaygın kullanılan kompresör çeşididir. Temel olarak bir silindirin içinde aksel olarak çalışan bir pistonun gazı sıkıştırmasına dayanır. Piston, bir krank biyel mekanizması ile elektrik motoruna bağlıdır. Yağlı ya da yağsız çalışabilmektedir (Ersever, 2008).

Kesikli akışlı olarak da tanımlanan bu tip pozitif deplasmanlı kompresörlerde önceden belirlenen miktardaki hava sıkıştırma haznesi diye tanımlanan kapalı bir hacme hapsedilir. Ardından mekaniksel olarak bu haznenin hacmi azaltılarak gazın basıncı artırılmış olur.

Havayı piston silindir sistemi içinde sıkıştıran pozitif deplasmanlı (gazın hacmini düşürerek basıncını yükseltmek) tip kompresörlerdir. Piston deplasmanı kompresör kapasitesini belirten, pistonun dakikada kat ettiği toplam hacmi belirten bir değerdir.

Şekil 1.6.' da 4 kademeli bir gaz kompresörünün ana blok ve silindir yerleşimi gösterilmiştir. Krank-biyel mekanizması ile dönel hareket doğrusal harekete çevrilerek pistonların hareketi sağlanır.



Şekil 1.6. Dört kademeli pistonlu kompresör (Tari, 2007)

Pistonlu kompresörler genelde:

- 70-100 psi (4.82 - 6.90 bar) arası tek kademeli
- 100-250 psi (6.90 - 17.24 bar) arası iki kademeli
- >250 psi (17.24 bar) durumunda ise çok kademeli yapılıdır.

Ara soğutmalı çok kademeli sıkıştırmada gaz bir kaç kademede sıkıştırılır ve gaz kademelerin arasında ara soğutucu adı verilen bir ısı değiştiricisinden geçirilerek soğutulur. Soğutma işlemi sabit basınçta gerçekleşir ve her soğutma işlemi sonunda gazın sıkıştırma öncesi sıcaklığına getirilmesi amaçlanır (Çengel ve Boles, 1996).

Ara soğutmalı kademeli sıkıştırma, özellikle gazlar yüksek basınçlara sıkıştırıldıkları zaman uygulanır. Daha sonraki bölümde üzerinde durulacağı gibi kompresör işini en aza indirmek için sıkıştırma işlemi sırasında gazın özgül hacmini olabildiğince küçük tutmak gerekir. Bu da gazın sıcaklığını düşürerek sağlanabilir, çünkü bir gazın özgül hacmi sıcaklıkla doğru orantılıdır. Dolayısıyla kompresör işini azaltmak için, gazın sıkıştırılırken soğutulması gerekir.

Kendi arasında tek etkili ve çift etkili olarak iki türü bulunur. Tek etkili tipte pistonun gazı sıkıştırması tek yönlü gerçekleşir. Çift etkili tipinde ise sıkıştırma işlemi pistonun silindirik hazne içinde hem geliş hem de gidiş istikametinde gerçekleşmektedir.

Tek bir kademede yüksek sıkıştırma oranı elde etmek mümkündür. Aynı basıncı dinamik kompresörlere göre daha küçük bir hacimde elde edebilirler. Ayrıca kısmi yükleme durumları için hız kontrolü daha kolay yapılabilir. Hazneye alma, sıkıştırma ve salıverme çevrimlerinin hızı ve süreleri uygun şekilde ayarlandığı zaman kesikli akışın sebep olabileceği basınç dalgalanmalarının etkisi minimuma iner. Bu kompresörler, yüksek kapasiteli akışın gerekli olduğu uygulamalar için uygun değildir.

Gaz iletim, enjeksiyon ve depolama uygulamalarında, CNG ve LNG uygulamalarında, kriyojenik soğutma uygulamalarında, endüstride enstrüman havası ihtiyacını karşılamada ve pnömatik konveyör uygulamaları gibi çok yaygın kullanım alanları vardır.

Avantajları:

- Yerinde tamirin yapılabilmesi,
- Ortam koşullarının değişiminden ve sıkıştırılan gazın mol ağırlığından olumsuz etkilenmeme,
- Tek kademeli veya ara soğutmalı olarak çok kademeli olması,
- Yüksek sıkıştırma oranları elde etmek,
- Düşük ve orta hızlarda (250-1200 devir/dak.) ve gürültüsüz çalışma,
- Silindirlerin soğutulması ve ara soğutma vasıtasıyla sıcaklığın düşük tutularak enerji tasarrufu sağlanması,
- Özel piston ve rider ringler kullanıldığı zaman silindirlerin yağlama gerektirmemesi.

Dezavantajları:

- Valf ile piston veya rider ringlerde sık sık problemlerin olması,
- Fazla yer kaplamaları,

- Uzun kurulum süresi,
- Bazı parçalarının montaj ve demontajının vinç gerektirmesi,
- Darbeli akışın oluşması
- Kademesiz kapasite ayarının mümkün olmaması,
- Kapasite kaybı.

1.3. Konunun Önemi ve Amacı

Günümüzde enerji ve enerji verimliliği oldukça önem kazanmıştır. Bu yüzden işletmelerin ihtiyacına en uygun kompresör sistemlerini belirlemek ve bu sistemlerin istenilen parametrelerde ve performansta çalışıp çalışmadığını tespit etmek önemli bir husustur. Bu amaçla sistem ve yardımcı ekipmanlarda, basınç, sıcaklık, güç, debi gibi çalışma parametrelerine göre enerji ve ekserji analizi yapmak gerekir.

Bu çalışmanın amacı, 4 kademeli bir kompresör sisteminde enerji ve ekserji analizi yaparak kompresör sistemlerinin performansını incelemek, dolayısıyla enerji ve ekserji verimliliği sağlamanın yanında işletmelerde işgücü kaybı, üretim kaybı, arıza sıklığı, yüksek işletme ve bakım maliyetleri, çevre ve iş güvenliği riski gibi olumsuzlukların önüne geçmektir.

Bu çalışmada; “Dört Kademeli Pistonlu Tip Bir CO₂ Kompresör Sisteminde Enerji ve Ekserji Analizi” kapsamında, TPAO Batman Bölge Batı Raman Sahası AP2 istasyonu CO₂ recycle kompresör istasyonunu örnek uygulaması incelenecektir. Sistemin ana ekipmanları tanıtılıp proses akışı irdelenecektir.

Çalışmanın diğer aşamasında kompresör, ara soğutucu ve glikol kulesi çalışma parametreleri baz alınarak elde edilen ölçüm verileri ile sistemin Termodinamiğin 1. ve 2.yasasına göre analizler yapılacaktır. Daha sonra, yapılan analizlerin sonucu tablo ve grafikler halinde sunulacak ve elde edilen sonuçlar üzerinde tartışma ve değerlendirmeler yapılacaktır. En son aşamada ise sistemin performansını ve verimini arttırmaya dönük çözüm önerileri sunulacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, daha çok soğutma sisteminde kullanılan kompresörleri ve basınçlı hava kullanımına yönelik uygulamalar için kullanılan kompresörleri ele alan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ancak, endüstriyel uygulamalarda kullanılan çok kademeli CO₂ kompresörleri ile ilgili mevcut bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tanneberger ve Feldmann (1983), pistonlu tip kompresörlerde ıslak CO₂ gazının sıkıştırılmasındaki problemler ve çözüm yollarını araştırmışlardır. Uygulamadaki problemlerin önlenmesi için mevcut uygulamalara yönelik özel önlemler önermişlerdir.

Kürümoğlu (1987), hava kompresörlerini anlatan bir çalışma gerçekleştirmiştir.

McGovern ve Harte (1994), kompresör performans analizinde ekserji yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemle, kompresör gücünde kayıplara neden olan ekserji kayıplarının olduğu yerler ile bu kayıpların büyüklüğü tespit edilmiştir. Elde edilen bilgiler kompresör dizaynı için bir temel teşkil edebilir. Kayıplar; sürtünme, tersinmez ısı transferi, akışkan kısılması ve tersinmez akışkan karışımı sonucu meydana gelir. Yöntem herhangi bir pozitif deplasmanlı kompresör için kullanılabilir. Yapılan çalışmada, R12 soğutucu akışkanı kullanılan pistonlu bir soğutma kompresörünün analizi yapılmıştır.

Block ve Hoefner (1996), pistonlu kompresörler ve uygulamaları üzerinde durmuştur. Pistonlu kompresörlerde dizayn ve malzeme seçimi, kompresörlerin işletilmesi, bakımı ve tamiri ile pistonlu kompresörlerde koruyucu bakım gibi konular işlenmiştir. Ayrıca emniyetli çalışma ve pistonlu kompresörlerde hesaplamalar göz önüne alınarak analizler yapılmıştır.

Zubair ve ark. (1996), yaptıkları çalışmada termodinamiğin 1. ve 2. yasalarına göre HFC-134a soğutucu akışkanı kullanan bir buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin analizini yapmışlardır. Analiz sistemdeki tersinmezliklerin bulunması için her bir elemana ayrı ayrı uygulanmıştır.

Stouffs ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada pistonlu kompresörlerin termodinamik analizi için global bir model sunmuşlardır. Model beş ana ve dört ikincil boyutsuz ve fiziksel olarak anlamlı parametre üzerine oturtulmuştur. Volümetrik verimlilik, birim kütle başına iş ve verim ifadeleri çıkarılmıştır. Model farklı çalışma koşulları altında pistonlu bir hava kompresörünün performansını öngörmek için kullanılmıştır. Çeşitli kayıpların izafi önemi ve farklı parametrelerin pistonlu kompresör davranışları üzerindeki etkileri tartışılmıştır.

Gültekin (2000), kompresör deneyleri ile ilgili detaylı bilgileri yaptığı çalışmada vermiştir.

Özkaymak (2001), tarafından yapılan çalışmada buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde kondenser ve evaporatörün Termodinamiğin 2. yasasına göre analizi yapılmıştır. Sistemin her bir elemanının (kondenser, evaporatör, genleşme valfi, kompresör) tersinmezlik incelenmesi yapılarak tüm sistemin toplam tersinmezliği hesaplanmıştır. Toplam tersinmezliğin kondenser sıcaklığına, evaporatör sıcaklığına ve kompresör verimine göre değişimi incelenmiştir.

Yumrutaş ve ark. (2002), buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarının basınç kaybı, ekserji kaybı, 2.yasa verimliliği ve buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi performans katsayısı (COP) üzerindeki etkisini gözlemek için ekserji analizini temel alan bir matematiksel model üzerinde çalışmışlardır. Buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığının; buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda ekserji kaybı, Termodinamiğin 2. yasa verimi ve COP katsayısı üzerinde güçlü etkiye sahip olduğu ancak kompresör ve genleşme valfinden önemli etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Buharlaştırıcı ile soğutulan hacim ve yoğuşturucu ile dış hava arasındaki sıcaklık farkının düşmesi ile 2.yasa verimi, COP artar ve toplam ekserji kaybı azalır.

Kara (2003), kompresörlerde enerji geri kazanım sistemleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Basınçlı hava üretiminde kullanılan hava kompresörlerinin hepsinden değişik yöntemlerle isi geri kazanımı elde etmek mümkün olduğunu bildirmektedir.

Turgut (2003), yaptığı çalışmada bir aksenel akışlı kompresörün ön tasarımımda kullanılan temel parametreler hakkında bilgi vererek tasarım sürecini tanıtmıştır. Daha sonra ise belli bazı özelliklere sahip bir kompresör içindeki akışkanın termodinamik özelliklerini karşılaştıran ve bir kompresörün boyutlandırma işlemini ön tasarım açısından değerlendiren bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bedback ve Gopal (2004), metal hidritli soğutma sistemindeki bir kompresörün enerjetik ve ekserjetik kavramları ile analizini yapmışlardır. Termodinamiğin 1. ve 2. yasaları uygulanarak COP, tersinmezlikler ve sistemin ikinci yasa verimi elde edilmiştir. Önemli dizayn ve çalışma parametrelerinin sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, sistem performansının esas olarak yüksek ve düşük-sıcaklık reaktörü ve kompresördeki sıcaklık düşümlerine bağlı olduğunu açığa çıkarmıştır.

Phillippi (2004), pistonlu gaz kompresörlerinin temel termodinamik prensipleri üzerinde durmuştur. Çalışmada, krank açısına göre basınç-hacim diyagramı, kapasite, volümetrik verim, güç ve rod yükü analizleri üzerinde durulmuş ve buna ilaveten gaz analizi, sıcaklık ve vibrasyon gibi dataların kompresörler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Brown (2005), çalışmasında kompresör tipleri, kompresör tahrik sistemleri, gaz yasaları, kompresör denge ve dinamiği, kompresörlerin termodinamik analizi, kompresör parça ve aksesuarları üzerinde durmuştur. Kompresör seçim ve boyutlandırılması işlenerek uygun dizaynın nasıl olacağı üzerinde durulmuştur.

Özdemir (2007), tarafından yapılan çalışmada; hermetik soğutucu akışkan kompresörlerindeki ısı geçişi prosesleri teorik ve deneysel olarak incelenmiş, kompresör bileşenleri üzerinde gerçekleştirilen çeşitli tasarımların, kompresör bileşenleri arasındaki ısı geçişine; dolayısıyla kompresör performansına etkisi irdelenmiştir.

Apra ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada “kompresör sistemleri genellikle azami yük altında çalışacak şekilde dizayn edilmelerine karşın pratikte çoğunlukla kısmi yükte çalışırlar” gerçeğinden hareketle farklı çalışma yükleri altında kompresörlerde enerji, ekserji ve tasarruf bakımından optimum çalışmayı sağlayan kompresör frekansının bulunması üzerinde durmuşlardır. Her bir çalışma koşulu için saptanan optimum frekans, bir inverter vasıtasıyla kompresör hızının devamlı düzenlenmesine olanak sağlayan bir kontrol algoritması oluşturmak için önemli bir anahtar vazifesi görmüştür.

Bayır (2008), yaptığı çalışmada scroll ve pistonlu tip soğutma kompresörlerinin kapasite ve verimlerinin çalışma şartları ile değişimini konu edinmiştir. Bu çalışmada, üretici firmalar tarafından yayınlanan kompresör kataloglarından hareketle, farklı tip ve marka kompresörlerin performans tabloları oluşturulmuştur. Firmaların yayınladığı bu kataloglarda soğutma kapasitesi ve kompresör gücü mevcut olup izantropik verim, basınç oranı, emiş hacmi, hacimsel verim ve soğutma etkinlik katsayısı hesaplama ile elde edilmiştir. Öncelikle scroll ve pistonlu tip kompresörlerin kapasite ve verimlerinin çalışma şartları ile değişimi incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Daha sonra aynı tip kompresörlerin farklı markaları arasında kapasiteye bağlı izantropik verim ve soğutma etkinlik katsayısı değişimi araştırılmıştır.

Ekin (2008), tarafından yapılan çalışmada; tipik bir 250 litrelik soğutucuda, bileşen düzeyindeki kayıpları ölçmek ve her bir elemanın potansiyel verimliliğini belirlemek için, kararlı halde alınan deneysel veriler altında termodinamiğin 1. ve 2. yasası uygulanmıştır. Buzdolabı, sıcaklık, basınç, debi ve güç tüketimini ölçmek için soğutma çevriminin önemli noktalarında veri toplayıcılarla donatılmış ve standart test odasında çalıştırılmıştır. Soğutma çevrimi kararlı hale gelinceye kadar bütün veriler belirli aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Ersever (2008), yapmış olduğu çalışmada kompresör tipleri üzerinde durduktan sonra, pozitif deplasmanlı kompresörlerden olan vidalı kompresörlerde gazın içindeki yağın ayrıştırılması uygulamasını konu edinmiştir. Düşünülen yeni yağ ayrıştırma sistemi, ayrı birimlerden oluşan bir yağ deposu, siklon ayrıştırıcı ve yağ

filtresinden oluşmaktadır. Bu haliyle önceki sistemden daha az elemana sahiptir, daha az yer kaplar ve bakımı hem kolay hem de daha ucuzdur. Elde edilen verilere dayanılarak soğutucunun, entalpi ve entropi gibi bazı önemli özellikleri belirlenmiş ve komponentleri kararlı akış sistemleri olarak modelleyen enerji ve ekserji oranları ile enerji ve ekserji kayıplarının miktarı hesaplanmıştır.

Kızılkın (2008), bu çalışmada buhar sıkıştırımlı bir soğutma sisteminde kompresör hızının frekans düzenleyici sayesinde değiştirilmesi suretiyle, farklı soğutma yükleri için sistem performansını ve enerji tüketimini teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Sistemin teorik hesaplamaları ve termodinamik analizleri yapılmıştır. Çalışmanın diğer safhasında, elde edilen teorik veriler ışığında tasarlanan soğutma sistemi üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, farklı soğutma yükleri ve farklı kompresör frekansları için basınç, sıcaklık, güç gibi sistem parametreleri ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm verileri ile deneysel sistemin termodinamik analizleri yapılmıştır. Farklı soğutma yüklerinde frekansın değiştirilmesiyle enerji tüketiminin ne oranda değiştiği incelenmiş ve sağlanan enerji tasarrufu belirlenmiştir.

Romeo ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada karbondioksit yakalama ve depolama sistemlerinde ara sıkıştırmanın optimizasyonu üzerinde durmuşlardır. Çalışmanın amacı, ara soğutma ısısından faydalanmak için ara soğutmalı sıkıştırma sistemini bir buhar çevriminin düşük basınçlı kısmına entegre etmek ve farklı kabuller altında enerji ve ekonomiklik bakımından sonuçları analiz etmektir. Ara soğutma düzeneğini, enerji gereksinimini ve maliyet-verimlilik durumunu değerlendirmek için simülasyon ve optimizasyon yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sıkıştırma işlemi için enerji gereksiniminde yaklaşık % 40 maliyetlerde de yaklaşık % 23 azalma olduğunu göstermiştir.

Arora ve Kaushik (2009), yapmış oldukları çalışmada iki kademeli soğutma sisteminde HCFC22, R410A ve R717 soğutucu akışkanları için optimum ara kademe sıcaklık (basınç) değerinin irdelenmesi için ekserji analizi yapmışlardır. Bu amaçla kütle, enerji ve ekserji dengesi prensiplerine dayalı bir termodinamik model geliştirilmiştir.

Sarkar (2009), çalışma parametrelerinin optimum sıkıştırma oranı, ekserjetik ve enerjetik verimlilik ve komponent tersinmezlikleri üzerindeki etkisini araştırmak için S- CO₂ (süper kritik karbondioksit) sıkıştırma çevriminin ekserjetik ve optimizasyon çalışmasını yapmıştır. Ayrıca izentropik verimlilik, reküparatör (geri kazanım) verimliliği ve komponent basınç düşümünün 2.yasa verimliliği üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Sonuçlar minimum çalışma sıcaklığının, sıkıştırma oranı ve çevrimin verimliliği üzerindeki etkisinin, maksimum çalışma sıcaklığının etkisinden daha önemli olduğunu göstermektedir ancak maksimum çevrim basıncının etkisi yalnızca daha düşük değerler için anlamlıdır ve optimum sıkıştırma oranı, minimum kritik çevrim basıncına yaklaşılmasına yol açar.

Suri (2009), çalışmasında yeni bir karbondioksit sıkıştırma teknolojisinin (şok sıkıştırma) değerlendirilmesini konu edinmiştir. Öncelikle, güç santrallerini yaydığı emisyonlardan karbondioksitin verimli bir şekilde alınması için CO₂ tutma teknolojilerinin sunduğu farklı seçenekleri göz önüne almak suretiyle karbondioksitin sıkıştırılması ile ilgili teknik bir içerik sunulmuştur. Klasik sıkıştırma teknolojileri ve bunların zaman içinde nasıl değişim geçirdiği üzerinde durulduktan sonra şok sıkıştırma konusuna değinilmiştir. Son olarak şok sıkıştırma ile ilgili ekonomik açıdan bir değerlendirme yapılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

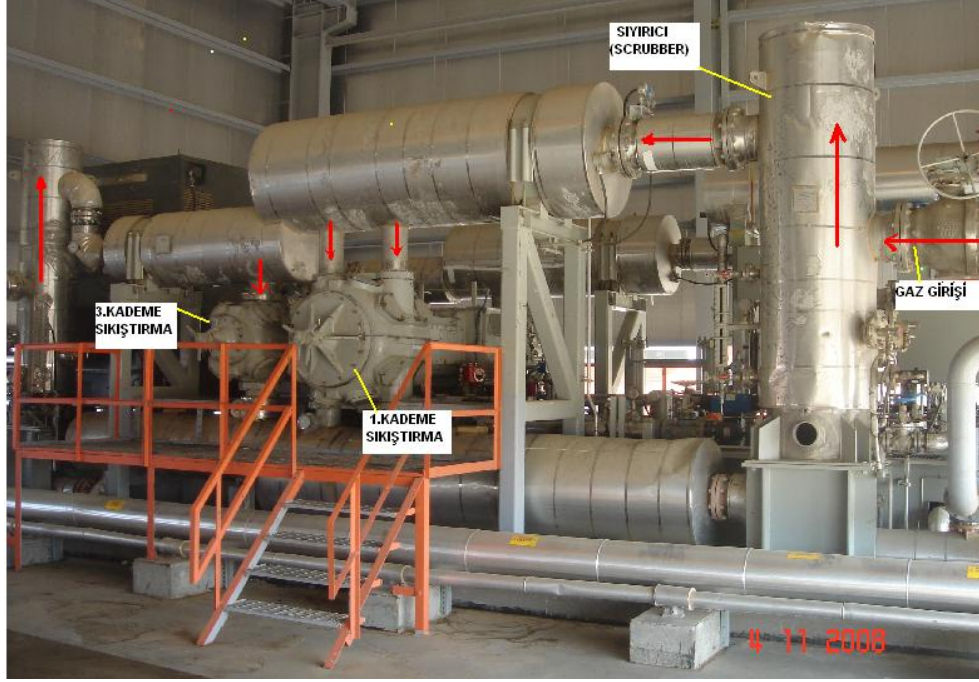
3.1. Materyal

3.1.1. Batı Raman AP2 recycle istasyonu

Siirt ili Dodan sahasından üretilen CO₂ gazı TPAO Batman Bölge Batı Raman sahasına 90 km' lik bir boru hattı ile getirilip enjeksiyon kuyuları vasıtasıyla rezervuara enjekte edilmektedir. Rezervuar basıncını ve petrolün akıcılığını arttırıp daha fazla üretim yapabilmek için CO₂ enjeksiyon işlemi, petrolde ikincil bir üretim metodu olarak bilhassa ağır petrol sahalarında uygulanmaktadır.

Enjeksiyon kuyularına basılan CO₂ gazı, üretim kuyularına etkiyerek petrolle birlikte geri üretilmektedir. Petrolle birlikte geri üretilen bu gaz, üretim istasyonlarında seperatörler vasıtasıyla ayrıştırılır. Bu ayrıştırılan gazı tekrar sahaya enjekte etmek için rezervuar basıncını yenecek basınç değerlerine çıkarmak gerekmektedir.

Üretim istasyonlarındaki seperatörlerde ayrıştırılan CO₂ gazının atmosfere atılmayıp enjeksiyon kuyuları vasıtası ile tekrar sahaya enjekte edilmesi amacıyla Batı Raman üretimi arttırma projesinin 2. Kısmı olarak 2008 yılında AP2 istasyonunda gaz recycle kompresörleri istasyonu kurulmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. AP2 istasyonu recycle kompresörleri

Karbondioksit renksiz, kokusuz, saydam ve kimyasal aktivitesi az olan bir maddedir. Yanıcı değildir ve havadan daha ağırdır. Basınç ve sıcaklığa bağlı olarak katı, sıvı veya gaz halinde bulunabilir (Şahin, 1990). Çizelge 3.1.' de karbondioksit gazının termodinamik özellikleri verilmiştir. Şekil 3.2.' deki CO₂ basınç- sıcaklık faz diyagramında gazın farklı sıcaklık ve basınç bölgelerindeki davranışı görülmektedir.

Çizelge 3.1. Karbondioksitin termodinamik özellikleri

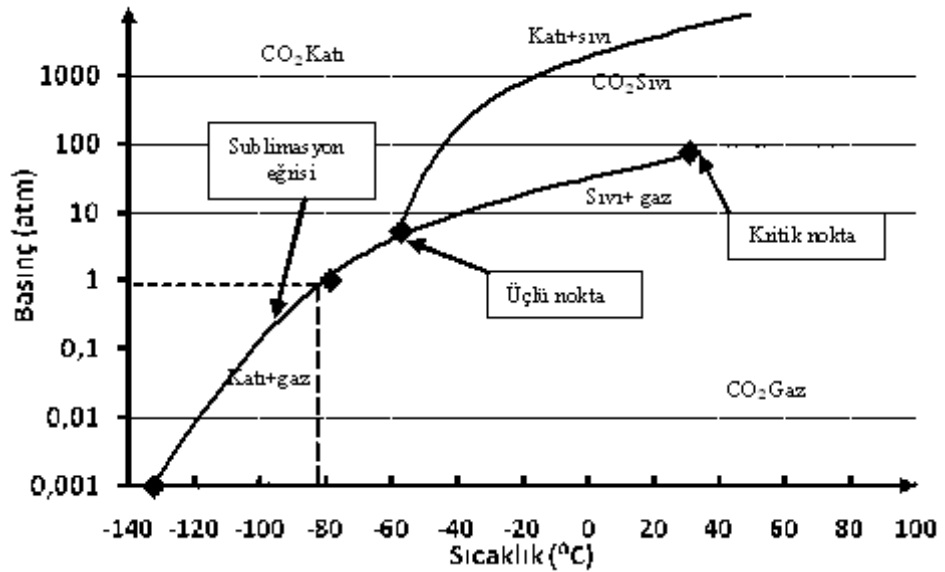
Kimyasal formülü	CO ₂
Mol kütlesi	44.01 kg/kmol
Gaz sabiti (R)	0.1889 kJ/(kg.K)
Özgül ısı (C _{po})	0.846 kJ/(kg.K) (300 K sıcaklıkta)
Özgül ısı (C _{vo})	0.657 kJ/(kg.K) (300 K sıcaklıkta)
Özgül ısıların oranı (k)	1.289 (300 K sıcaklıkta)
Yoğunluk	1.98 kg/m ³ (298 K sıcaklıkta)
Ergime noktası	-56.6 °C (5,11 atm basınçta)
Kaynama noktası	-78.5 °C (1 atm basınçta)
Asitlik (pK _a)	6.35 ve 10.33
Viskozite	0.07 Cp (-78 °C sıcaklıkta)

Karbondiyoksit rezervuara enjekte edildiğinde:

- Petrolü genişletir ve viskozitesini azaltır.
- Belirli şartlarda petrol ile karışabilir.
- Tam karışım olmadığı durumlarda çözülmüş gaz itişimi mekanizması gibi davranır.
- Karbondiyoksit su içinde önemli ölçüde çözünür, suyun genişmesine ve oldukça asidik özellik kazanmasına sebep olur.

Yukarıda belirtilen avantajlarına karşın rezervuara CO₂ enjekte edildiğinde gerekli şartlar elde edilmediği zaman gaz petrolü süpürmeden (az petrol getirerek) çabuk üretim kuyularına ulaşır ve kuyular gittikçe artan oranlarda gaz üretmeye başlar. Ayrıca CO₂'nin suda çözünerek asit oluşturma özelliği üretim sistemlerinde oldukça korozif etkiler oluşturur (Şahin, 1990).

Karbondiyoksit enjeksiyonu uygulamalarında gaz, teknik özellikler bakımından uygun noktalarda formasyona enjekte edilir. Gaz petrol içerisinde çözünür, petrolü şişirir, viskozitesini düşürür, bazı durumlarda asidik etki yapar, petrolün bir bölümünü buharlaştırır. Bir varil petrol üretimi için rezervuara kaba bir hesapla 6-10 MSCF(Thousand Standard Cubic Feet - bin feet küp) CO₂ enjeksiyonu gereklidir.

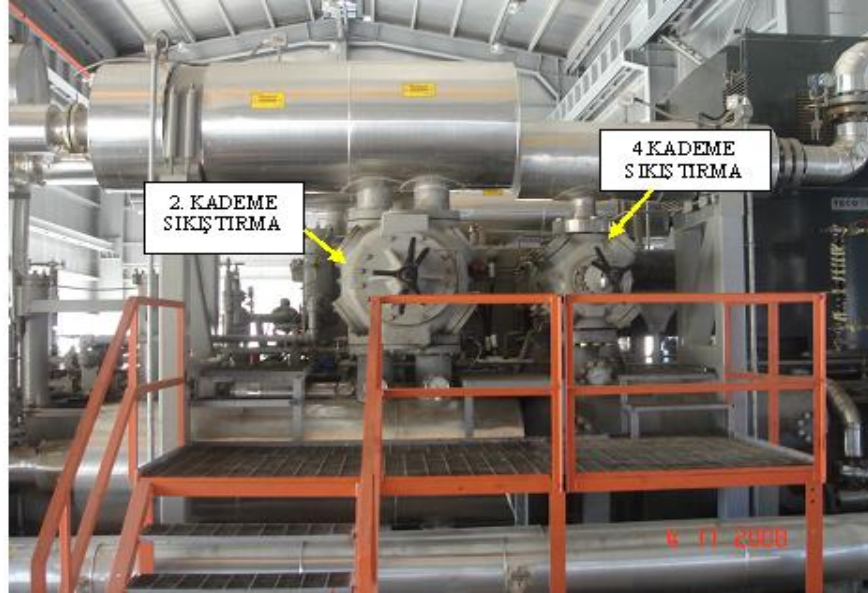


Şekil 3.2. CO₂ basınç-sıcaklık faz diyagramı

3.1.2. Recycle kompresörleri

Seperatörlerde ayrıştırılan CO₂ gazı, fiber boru hatları vasıtası AP2 geri kazanım tesisine getirilir. Bu gazı tekrar sahaya enjekte edebilmek için gaz basıncını, 20-40 psig seperatör çıkış basınç değerlerinden 1150-1300 psig basınç değerlerine yükseltmek gerekmektedir.

Gaz basıncını, enjeksiyon basınç değerlerine (1150-1300 psig) çıkarmak için yüksek basınçlı 2 adet, 4 kademeli pistonlu gaz kompresörü kullanılmaktadır (Şekil 3.3). Şekilde 2. kademe ve 4. kademe silindirleri görülmektedir. Gaz emişi silindirlerin üstünden çıkışlar ise alt taraftan olmaktadır. Silindir ve piston ebatları 1. kademedan 4. kademe doğru gidildikçe özgül hacimler küçüldüğü için azalmaktadır.



Şekil 3.3. 2. ve 4. kademe silindirleri

3.1.3. Glikol sistemi

Gazın içindeki nemin alınarak, boru hatlarında ve kompresörlerde korozyona neden olmasına engel olmak için **Glikol sistemi** kurulmuştur. Glikol sistemi Şekil 3.4.' de gösterilmiştir. Glikol sistemi 3. kademe ile 4. kademe arasında tesis edilmiştir. Glikol kulesinde yeterli bir kurutma sağlamak için 500-650 psig basınç değerlerinin sağlanması gerekmektedir. Bu basınç değeri de ancak 3. kademe çıkışında sağlanmaktadır. Glikol kulesinde gaz girişi alt taraftan, glikol girişi ise

üstten olmakta ve böylece glikol ve gazın ters istikametlerde karşılaşması sağlanmaktadır.

Glikol sisteminde kurutucu akışkan olarak Trietilen Glikol (TEG) kullanılmaktadır. Trietilen glikol gazın içindeki sıvıyı tutmak için kullanılan en yaygın glikol çeşididir. TEG renksiz, kokusuz viskoz bir sıvıdır. TEG' in, güçlü su tutma özelliği, yüksek kaynama noktası, iyi rejenerasyon, düşük maliyet, korozyon oluşturmama, hidrokarbonların içinde çözünmemesi ve düşük viskozite gibi önemli özellikleri vardır (Mohamad, 2009). Çizelge 3.2.' de TEG' in özellik tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.2. Trietilen glikol özellik tablosu

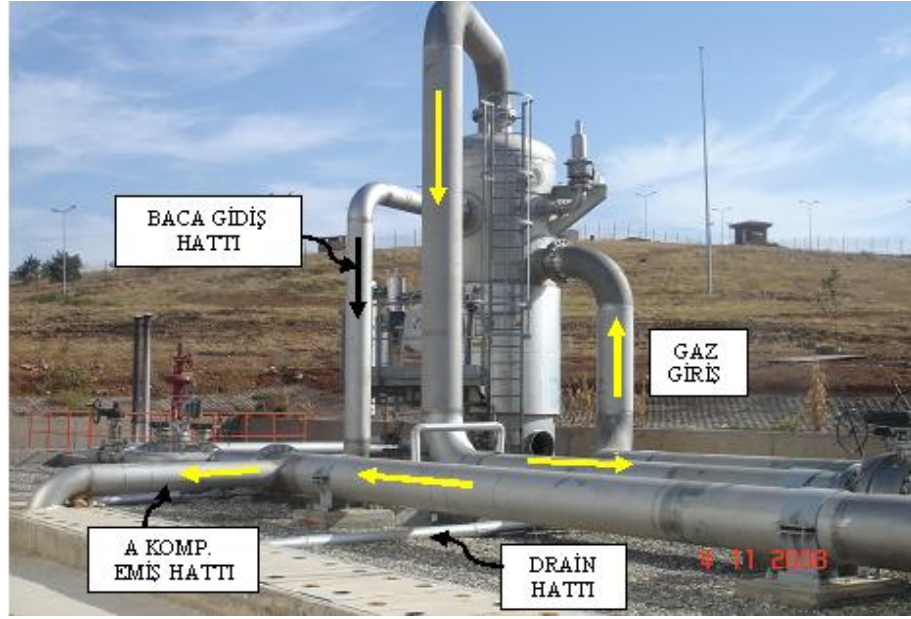
Formülü	Kaynama Noktası 760 mm Hg' de	Yoğunluğu 20° C' de	Donma Noktası	Viskozite 25° C' de	Özgül Isı 25° C' de	Isı iletim Katsayısı 25° C' de	Parlama Noktası
C ₆ H ₁₄ O ₄	288 °C	1.125 gr/cm ³	-4.3 °C	49.0 cP	2.168 kj/kg°C	0.1960 W/m°C	177 °C



Şekil 3.4. AP2 istasyonu glikol sistemi

3.1.4. Ana scrubber

Kompresör emiş hattı üzerinde sıvı ve tortu tutucu **ana scrubber** (sıyırıcı) bulunmaktadır (Şekil 3.5). Sıyırıcının görevi sıvıları tutarak kompresöre sıvı (petrol, su vb.) kaçmasına engel olmaktır. Çünkü kompresöre sıvı kaçması çok ciddi hasarlara neden olabilir. Scrubber tankında otomatik sıvı tahliye sistemi vardır. Sıvı seviyesine göre boşaltma işlemi gerçekleşir.



Şekil 3.5. Ana scrubber

3.1.5. Ara soğutucu ünitesi

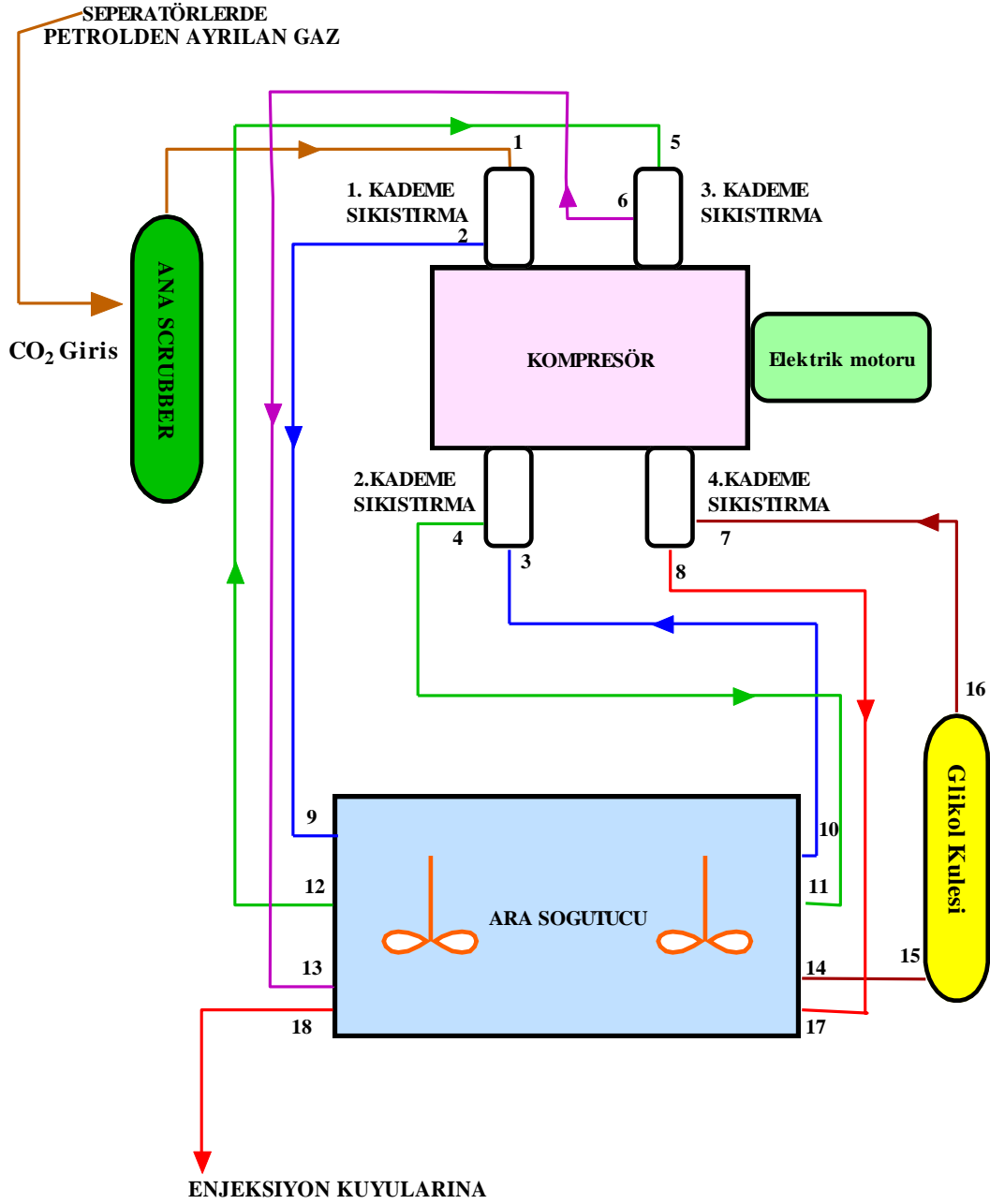
Kompresörde her bir kademedeki gaz, sıkıştırıldıktan sonra gaz sıcaklığını tekrar sıkıştırma öncesi sıcaklığa getirmek için **soğutma ünitesine** gider (Şekil 3.6). Ara soğutucuda gaz, fanlar vasıtasıyla soğutulur. Gaz serpantinlerin içinde hareket ederken, serpantin dışındaki hava tarafından soğutulur. Soğutma grubunun yanlarında ve üst tarafında gazın sıcaklığına göre açılıp kapanan klapeler mevcuttur. Havanın debisi sıcaklığa göre bu hava klapeleri ile otomatik olarak kontrol edilmektedir.



Şekil 3.6. Soğutma ünitesi

3.2. Yöntem

Şekil 3.7.' de AP2 recycle sisteminin basit bir akış şeması verilmiştir. Sıkıştırma 4 kademe olmakta ve her kademedeki sıkıştırmanın sonunda, gaz ara soğutucudan geçmektedir. Gazın içinde yoğuşan sıvı sıyırıcılarda tutulmakta ve gaz glikol sisteminde kurutulmaktadır. Bünyesine nemi alan glikol tekrar temizlenerek sistemde çevrime dahil olmaktadır.

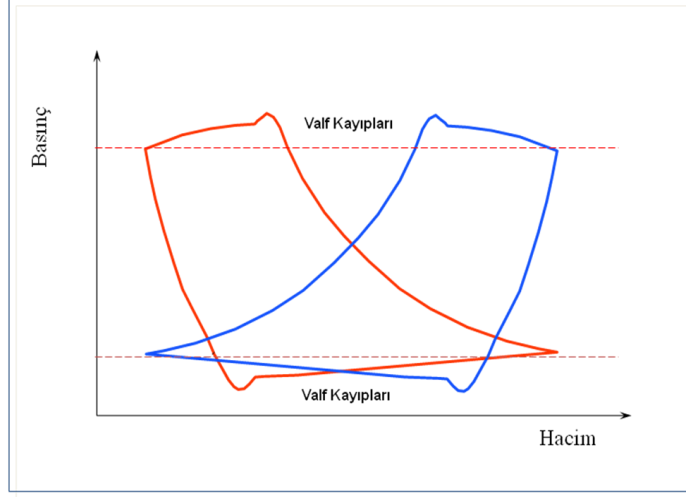
Şekil 3.7. AP2 istasyonu CO₂ recycle sistemi akış diyagramı

3.2.1. CO₂ kompresör sistemi birinci yasa analizi

3.2.1.1. Kompresör birinci yasa analizi

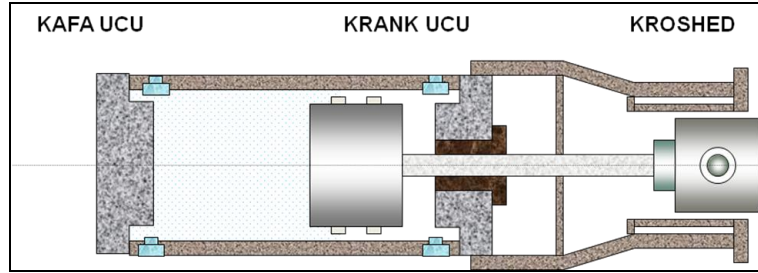
Batı Raman AP2 istasyonunda 2 adet, çift tesirli pistonlu tip CO₂ kompresörü bulunmaktadır. Pistonun her iki yöndeki hareketinde de silindire gaz emişi ya da silindirden gaz çıkışı olmaktadır. Şekil 3.8.' de tipik bir çift tesirli P-V diyagramı gösterilmiştir. Çift tesirli kompresör silindiri şematik görünüşünde anlaşıldığı üzere

silindirde kafa ucu ve krank ucu arasında piston hareket etmektedir. Bu hareket miktarı strok boyu olarak adlandırılır (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Çift tesirli kompresör silindirinde P-V diyagramı

Şekil 3.9.' de görüldüğü gibi silindirin her iki ucunda olmak üzere üstte emiş altta ise çıkış valfleri mevcuttur. Bu valfler pistonun konumuna göre açık veya kapalı konumda bulunur. Emiş valfleri açıldığında silindire gaz girişi olur, çıkış valfleri açıldığında ise basınçlandırılmış gaz silindiri terk eder. Krank milinin hareketi biyel kolu-kroshead vasıtasıyla pistonu aktarılır.

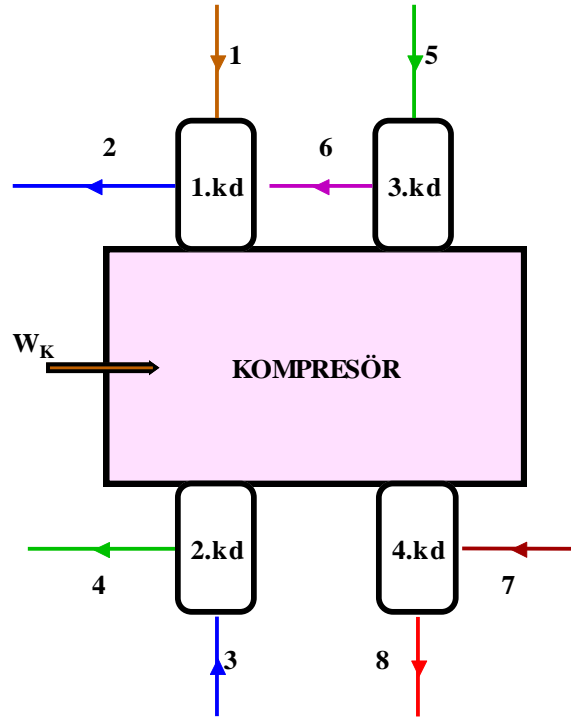


Şekil 3.9. Çift tesirli kompresör silindir şematik görüntüsü

Kabuller:

- Sürekli akışlı açık sistem,
- Adyabatik sistem,
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir,
- CO₂' nin mükemmel gaz olduğu kabul edilmiştir.

Şekil 3.10.' da kompresörün şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.10. Kompresörün şematik gösterimi

Şekil 3.10. için kütle ve enerjinin korunumu yasalarını yazalım:

a) Kütlelenin korunumu:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (3.1)$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (3.2)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (3.3)$$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (3.4)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_{CO_2} \quad (3.5)$$

b) Enerjinin korunumu:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_8 h_8 - \dot{W}_K \eta_K \quad (3.6)$$

$$\dot{W}_K = \frac{\dot{m}_{CO_2} [(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) + (h_6 - h_5) + (h_8 - h_7)]}{\eta_K} \quad (3.7)$$

olarak bulunur.

En az kompresör işi, sıkıştırmanın içten tersinir olduğu zaman gerçekleşecektir. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edildiği zaman birim kütle için kompresör işi,

$$w_k = -\int_1^2 v dP \quad (3.8)$$

olarak elde edilir.

Sıkıştırma sırasında gazın özgül hacmi olabildiğince küçük tutulursa kompresör işi en aza indirilmiş olur. Özgül hacmi düşürmek için gazın sıcaklığını düşürmek gerekir. İdeal gaz denkleminde ($Pv = RT$) görüleceği gibi bir gazın özgül hacmi sıcaklıkla doğru orantılıdır. Bu nedenle kompresör işini azaltmak için gazın sıkıştırılırken soğutulması gerekir (Çengel ve Boles, 1996).

Sıkıştırılan bir gazı soğutmak sıkıştırma işini azaltacaktır. Ancak, genelde kompresör gövdesinde yapılacak soğutma yeterli olmaz ve bundan dolayı başka etkili soğutma yöntemleri uygulamak gerekir. Bu yöntemlerden biri de **ara soğutmalı kademeli sıkıştırmadır**. Bu yöntemde gaz birkaç kademede sıkıştırılır ve kademeler arasında ara soğutucu adı verilen bir ısı değiştiricisinden geçirilerek soğutulur.

Soğutma işlemi yaklaşık sabit basınçta gerçekleşir ve her soğutma işlemi sonunda gazın sıkıştırma öncesi sıcaklığa getirilmesi amaçlanır. Ara soğutmalı kademeli sıkıştırma gazlar yüksek basınçlara sıkıştırıldıkları zaman uygulanır (Çengel ve Boles, 1996).

Burada analiz edeceğimiz AP2 istasyonu CO₂ recycle sisteminde gaz basıncı 20-40 psig basınç değerlerinden 1200-1300 psig basınç değerlerine kadar sıkıştırılır. Buradan açıkça görüleceği gibi gaz yüksek basınç değerlerine sıkıştırılmaktadır.

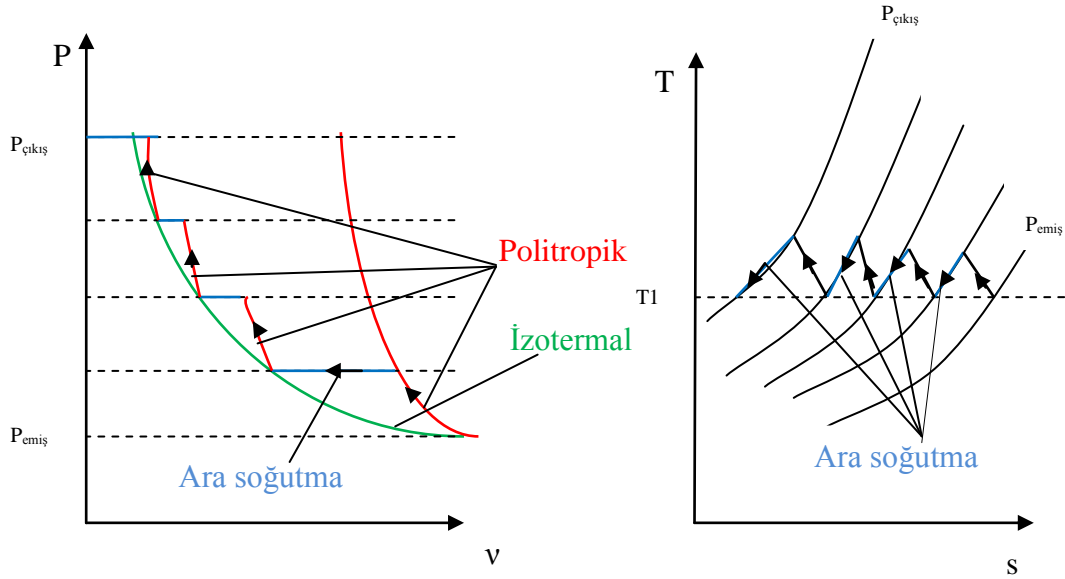
Sıkıştırma sırasında izantropik hal değişiminde ısı geçişi ve buna bağlı olarak soğutma yoktur. Politropik hal değişiminde ise bir miktar soğutma gerçekleşir. Sabit sıcaklıkta (izotermal) ise önemli oranda soğutma gerçekleşir. Burada analiz edeceğimiz sistemi politropik ($Pv^n = \text{sabit}$, $n=1.268$) bir hal değişimi olarak modelleyeceğiz. Politropik durumda:

$$w_k = \frac{nR(T_1 - T_2)}{n-1} = \frac{nRT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} \right] \quad (3.9)$$

denkleminde kompresörün gerektirdiği iş bulunur.

Dört kademeli sıkıştırma işlemleri için P-v ve T-s diyagramları Şekil 3.11.' de verilmiştir. CO₂ gazı kompresörde P₁ emiş basıncından P₈ çıkış basıncına kadar sıkıştırılmaktadır. Her kademedan sonra sıkıştırılan gaz ara soğutuculardan geçmektedir. Ara soğutucu çıkışında gazın sıcaklığı yaklaşık olarak aynı değerlerdedir, yani gaz sıkıştırma öncesi sıcaklığa getirilmektedir.

Sıkıştırma işleminin izlediği yol Şekil 3.11.' de oklarla gösterildiği gibidir ve eğrinin altındaki alanın azaldığı net olarak anlaşılmaktadır. Bu durumda (3.8) bağıntısındaki sonucun daha küçük olacağı aşikardır. Buradan kademeli sıkıştırmada kompresörün gerektirdiği işin daha az olacağı sonucunu çıkarabiliriz. Dört kademeli kompresörde kompresörün gerektirdiği güç, her kademedede yapılması gereken işlerin toplamıdır.



Şekil 3.11. Dört kademeli sıkıştırma işlemleri için P-v ve T-s diyagramları

(3.9) no'lu denklem dört kademeye ayrı ayrı uygulanırsa;

$$w_k = w_{k,1.kd} + w_{k,2.kd} + w_{k,3.kd} + w_{k,4.kd}$$

$$\begin{aligned}
w_k = & \frac{nRT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} \right] + \frac{nRT_3}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{(n-1)/n} \right] + \\
& + \frac{nRT_5}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_6}{P_5} \right)^{(n-1)/n} \right] + \frac{nRT_7}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_8}{P_7} \right)^{(n-1)/n} \right]
\end{aligned} \quad (3.10)$$

elde edilir. Dört kademede de basınç oranları birbirine eşit olursa (3.10) bağıntısından görüleceği gibi her kademede yapılan işler birbirine eşit olacaktır.

Adyabatik verim ise gazı verilen basınca izantropik hal değişimi ile sıkıştırmak için gerekli kompresör işinin, gerçek işe oranı olarak tanımlanır (Çengel ve Boles, 1996). Bu oran bir bağıntı ile ifade edilirse,

$$\eta_a = \frac{w_s}{w} \quad (3.11)$$

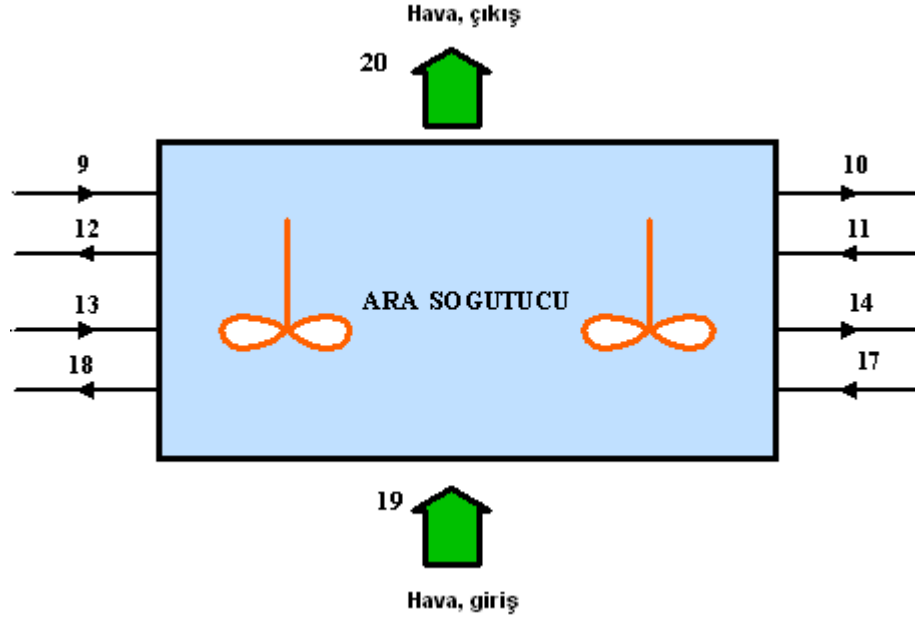
şeklinde yazılabilir. Sıkıştırılan gazın kinetik ve potansiyel enerji değişimleri küçük olduğu zaman adyabatik kompresörün sıkıştırma işi entalpi değişimine eşit olur ve (3.11) no' lu denklem şöyle yazılabilir:

$$\eta_a = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (3.12)$$

Bu bağıntıda h_2 ve h_{2s} sırasıyla gerçek ve izantropik hal değişimleri sonundaki çıkış entalpilerini simgelemektedir. İyi tasarlanmış kompresörlerde adyabatik verim yüzde 75 ile 85 arasındadır (Çengel ve Boles, 1996).

3.2.1.2. Ara soğutucu birinci yasa analizi

Her bir kademede sıkıştırılan gaz bir sonraki kademeye girmeden önce sıkıştırma öncesi sıcaklığa getirmek için ara soğutuculardan geçmektedir. Ara soğutucu esasında hava soğutuculu bir eşanjördür. Kanatlı boruların dışından geçen cebri hava sayesinde kanatlı boru demeti içindeki CO₂ gazı soğutulmaktadır. Şekil 3.12.' de ara soğutucunun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.12. Ara soğutucunun şematik gösterimi

Kabuller:

- Ara soğutucuda sürekli akış vardır,
- Ara soğutucudan çevreye olan ısı transferi ihmal edilmiştir.
- Hava ve CO₂ mükemmel gaz kabul edilmiştir.

Şekil 3.12. için Kütle ve enerjinin korunumu yasalarını yazalım:

a) Kütle korunumu:

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad (3.13)$$

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} \quad (3.14)$$

$$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14} \quad (3.15)$$

$$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{18} \quad (3.16)$$

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} = \dot{m}_{13} = \dot{m}_{14} = \dot{m}_{17} = \dot{m}_{18} = \dot{m}_{CO_2} \quad (3.17)$$

$$\dot{m}_{19} = \dot{m}_{20} = \dot{m}_h \quad (3.18)$$

b) Enerjinin korunumu:

$$\dot{m}_9 h_9 + \dot{m}_{11} h_{11} + \dot{m}_{13} h_{13} + \dot{m}_{17} h_{17} + \dot{m}_{19} h_{19}$$

$$= \dot{m}_{10} h_{10} + \dot{m}_{12} h_{12} + \dot{m}_{14} h_{14} + \dot{m}_{18} h_{18} + \dot{m}_{20} h_{20} \quad (3.19)$$

buradan

$$\dot{m}_{CO_2} [(h_9 - h_{10}) + (h_{11} - h_{12}) + (h_{13} - h_{14}) + (h_{17} - h_{18})] = \dot{m}_h (h_{20} - h_{19}) \quad (3.20)$$

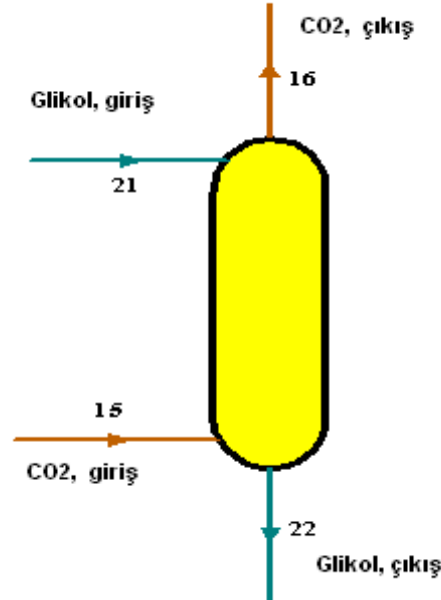
$$\frac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_h} = \frac{(h_{20} - h_{19})}{(h_9 - h_{10}) + (h_{11} - h_{12}) + (h_{13} - h_{14}) + (h_{17} - h_{18})} \quad (3.21)$$

$$\frac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_h} = \frac{c_{p,h} (T_{20} - T_{19})}{c_{p,CO_2} [(T_9 - T_{10}) + (T_{11} - T_{12}) + (T_{13} - T_{14}) + (T_{17} - T_{18})]} \quad (3.22)$$

elde edilir. Burada (h) alt indisi havayı belirtmektedir.

3.2.1.3. Glikol kulesi birinci yasa analizi

CO₂ gazı kompresör 3.kademesinde sıkıştırıldıktan sonra ara soğutucudan geçer. Ara soğutucuda soğutulan gaz kompresör 4. kademesine giriş yapmadan önce glikol kulesinden geçerek içerisindeki nemi bırakır. Gaz kuleye alttan giriş yaparken, glikolün kuleye girişi üstten olmaktadır. Dolayısıyla akışlar ters istikamette olmaktadır. Şekil 3.13.' de glikol kulesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.13. Glikol kulesinin şematik gösterimi

Kabuller:

- Glikol kulesinde sürekli akış vardır,
- Gaz ve su ile birlikte giden glikol kaybı ihmal edilmiştir,
- Glikol kulesinden çevreye olan ısı transferi ihmal edilmiştir.

Şekil 3.13. için kütle ve enerjinin korunumu yasalarını yazılırsa;

a) Kütle korunumu:

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16} = \dot{m}_{CO_2} \quad (3.23)$$

$$\dot{m}_{21} = \dot{m}_{22} = \dot{m}_{gl} \quad (3.24)$$

olarak yazılır. Burada (gl) alt indisi glikolu ifade etmektedir.

b) Enerjinin korunumu:

$$\dot{m}_{15} h_{15} + \dot{m}_{21} h_{21} = \dot{m}_{16} h_{16} + \dot{m}_{22} h_{22} \quad (3.25)$$

$$\dot{m}_{CO_2} (h_{15} - h_{16}) = \dot{m}_{gl} (h_{22} - h_{21}) \quad (3.26)$$

$$\frac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_{gl}} = \frac{(h_{22} - h_{21})}{(h_{15} - h_{16})} = \frac{c_{ort,gl}(T_{22} - T_{21}) + v(P_{22} - P_{21})}{c_{p,ort,CO_2}(T_{15} - T_{16})} \quad (3.27)$$

3.2.2. CO₂ kompresör sistemi ikinci yasa analizi

Termodinamiğin birinci yasası, enerji türlerinin birbirlerine kendiliğinden dönüşebilme yetenekleri hakkında bir sınırlama getirmemekte ve enerji türlerinin birbirine eşdeğer miktarda dönüştüğünü ifade etmektedir. Halbuki, diğer enerji türleri ısıya dönüştüğü halde, ısı diğer enerji türlerine kendiliğinden dönüşmemektedir. Termodinamiğin birinci yasası enerjinin bir formdan diğer bir forma dönüşümü ile ilgili bilgi verirken, ikinci yasa bu dönüşümün ne oranda olabileceği hususunu irdeler (Olcayer, 2005).

Birinci yasa, hal değişimlerinin yönü üzerinde herhangi bir sınırlama getirmez. Ancak bu hal değişiminin gerçekleşeceği anlamına gelmez. Dolayısıyla bu hal değişiminin olup olmayacağı konusunda birinci yasanın yetersizliği, ikinci yasa ile giderilmektedir. Bir olayın kendiliğinden gerçekleşip gerçekleşmeyeceği ya da ısı ve

iş arasındaki kalite farkı ancak termodinamiğin ikinci yasası ile açıklanabilmektedir (Olcayer, 2005).

Termodinamiğin ikinci yasası mühendislik sistemlerinde verimlerin alt ve üst sınırını ve kimyasal reaksiyonların hangi oranda gerçekleşeceğini belirler. İkinci yasa enerjinin kalitesini ve bir hal değişimi esnasında enerjinin kalitesindeki değişimi tespit etmek için somut çözüm ve yöntemler ortaya koymaktadır (Olcayer, 2005).

3.2.2.1. Ekserji kavramı

Ekserji bir sistemin sahip olduğu enerji ile iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Ekserji analizi, sistemlerin tasarım, analiz, seçim, sınıflandırma, iş yapma oranı ile kayıplardan kaynaklı tersinmezliklerin tespitinde önemli bir yöntemdir (Güzenge, 2007).

Termal ve kimyasal proseslerin birinci ve ikinci kanun analizi 19. yüzyılda hızlı bir şekilde gelişmiştir. Bu gelişme, iç enerji, entropi, entalpi, Helmholtz fonksiyonu, Gibbs serbest enerjisi gibi yeni termodinamik fonksiyonların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bir başka yeni termodinamik fonksiyon ise 20. yüzyılda, enerjinin kalitesinin diğer enerji biçimlerine dönüşebilme yeteneğini tanımlamak için ortaya çıkmıştır (Kızıllan, 2008).

Geçmişten 20. yüzyılın başlarına doğru birçok çalışmada ekserjinin tam olarak ifadesi termodinamik bir fonksiyondan ibarettir. Bu ifade, kullanılabilir enerji, kullanılabilirlik veya maksimum potansiyel enerji olarak tanımlanabilir (Kızıllan, 2008).

Diğer enerji türlerine sınırlı olarak dönüştürülebilen enerjinin kullanılabilir enerji (ekserji) ve kullanılamaz enerji (anerji) toplamından meydana geldiği kolaylıkla görülebilir. Dolayısıyla bütün enerji türleri için aşağıdaki eşitlik yazılabilir (Büyüktür, 1995)

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$$

Ekserji, enerjinin işe yarayan kısmı, enerji ise işe yaramayan kısmıdır. Herhangi bir enerji türünün (ısı, entalpi, vb.) ne kadarının işe yarayan enerji olduğunun belirlenmesi için ekserjinin tanımlanması gereklidir. Ekserjiyi ilk olarak teknik iş kapasitesi olarak tanımlayan Rant'tan sonra ekserjinin daha geniş bir tanımı ise Baehr tarafından, enerjinin diğer enerji türlerine dönüştürülebilen kısmı olarak yapılmıştır (Kızılkın, 2008).

Ekserji çözümlenmesinde ilk hal önemlidir. İki hal arasında sistem tarafından yapılan en çok iş, hal değişiminin tersinir olması durumunda gerçekleşir. Bu nedenle sistemden elde edilebilecek en çok işi belirlerken tersinmezlikler göz önüne alınmaz. Son olarak, sistemden en çok işi elde edebilmek için, hal değişimi sonunda sistemin ölü halde olması gerekir (Çengel ve Boles, 1996).

Bir sistemin **ölü halde (referans hal)** olması, çevresi ile termodinamik dengede olması anlamına gelir. Ölü halde iken sistem çevre sıcaklığında ve basıncındadır. Başka bir ifade ile çevre ile ısı ve mekanik dengededir. Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjisi sıfırdır. Sistemin ölü halde iken özellikleri (P_o , T_o , u_o ve s_o) sıfır indisleri ile gösterilir. Aksi belirtilmedikçe ölü hal sıcaklığı ve basıncı $T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $P_o = 1 \text{ atm}$ (101.325 kPa) alınacaktır. Bir sistemin ölü halde ekserjisi sıfırdır (Çengel ve Boles, 1996).

Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale (ölü hal) getirilirse elde edilir. Bu değer, verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını göstermektedir ve **ekserji** olarak adlandırılır.

Verilen bir halde sistemin ekserjisi sistemin özelliklerinin yanı sıra çevre koşullarına, başka bir deyişle ölü hale bağlıdır. Bu nedenle **ekserji** sadece sistemin değil, sistem çevre ikilisinin bir özelliğidir. Bir sistemin ekserjisi ile gerçekte yaptığı iş arasında küçük veya büyük bir fark her zaman vardır (Çengel ve Boles, 1996).

3.2.2.2. Kompresör ekserji analizi

Burada kompresörün ekserji analizi yapılarak tersinmezlikler belirlenecektir. Akışkanın kinetik ve potansiyel enerjileri ihmal edilerek Şekil 3.10. için ekserji dengesi yazılırsa;

$$\dot{m}_1 \psi_1 + \dot{m}_3 \psi_3 + \dot{m}_5 \psi_5 + \dot{m}_7 \psi_7 + \dot{W}_K = \dot{m}_2 \psi_2 + \dot{m}_4 \psi_4 + \dot{m}_6 \psi_6 + \dot{m}_8 \psi_8 + \dot{I}_K \quad (3.28)$$

$$\dot{I}_K = \dot{m}_{CO_2} [(\psi_1 - \psi_2) + (\psi_3 - \psi_4) + (\psi_5 - \psi_6) + (\psi_7 - \psi_8)] + \dot{W}_K \quad (3.29)$$

elde edilir. Özgül ekserjiler de;

$$\psi_1 = (h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0) \quad (3.30)$$

$$\psi_2 = (h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0) \quad (3.31)$$

$$\psi_3 = (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0) \quad (3.32)$$

$$\psi_4 = (h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0) \quad (3.33)$$

$$\psi_5 = (h_5 - h_0) - T_0(s_5 - s_0) \quad (3.34)$$

$$\psi_6 = (h_6 - h_0) - T_0(s_6 - s_0) \quad (3.35)$$

$$\psi_7 = (h_7 - h_0) - T_0(s_7 - s_0) \quad (3.36)$$

$$\psi_8 = (h_8 - h_0) - T_0(s_8 - s_0) \quad (3.37)$$

şeklinde elde edilir. Ayrıca

$$\dot{W}_K = \dot{m}_{CO_2} [(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) + (h_6 - h_5) + (h_8 - h_7)] \quad (3.38)$$

şeklinde ifade edilir ve denklemler düzenlenirse;

$$\dot{I}_K = \dot{m}_{CO_2} T_0 [(s_2 - s_1) + (s_4 - s_3) + (s_6 - s_5) + (s_8 - s_7)] \quad (3.39)$$

elde edilir. Elde edilen bu denklem kompresördeki tersinmezlik miktarını verir.

Burada,

$$s_2 - s_1 = C_{p,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (3.40)$$

$$s_4 - s_3 = C_{p,ort} \ln \frac{T_4}{T_3} - R \ln \frac{P_4}{P_3} \quad (3.41)$$

$$s_6 - s_5 = C_{p,ort} \ln \frac{T_6}{T_5} - R \ln \frac{P_6}{P_5} \quad (3.42)$$

$$s_8 - s_7 = C_{p,ort} \ln \frac{T_8}{T_7} - R \ln \frac{P_8}{P_7} \quad (3.43)$$

olarak ifade edilir.

3.2.2.3. Ara soğutucu ekserji analizi

Burada ara soğutucunun ekserji analizi yapılarak tersinmezlikler belirlenecektir. Akışkanın kinetik ve potansiyel enerjileri ihmal edilerek Şekil 3.12. için ekserji dengesi yazılırsa;

$$\begin{aligned} & \dot{m}_9 \psi_9 + \dot{m}_{11} \psi_{11} + \dot{m}_{13} \psi_{13} + \dot{m}_{17} \psi_{17} + \dot{m}_{19} \psi_{19} \\ & = \dot{m}_{10} \psi_{10} + \dot{m}_{12} \psi_{12} + \dot{m}_{14} \psi_{14} + \dot{m}_{18} \psi_{18} + \dot{m}_{20} \psi_{20} + \dot{I}_{AS} \end{aligned} \quad (3.44)$$

$$\dot{I}_{AS} = \dot{m}_{CO_2} [(\psi_9 + \psi_{11} + \psi_{13} + \psi_{17}) - (\psi_{10} + \psi_{12} + \psi_{14} + \psi_{18})] + \dot{m}_h (\psi_{19} - \psi_{20}) \quad (3.45)$$

elde edilir. Özgül ekserjiler de;

$$\psi_9 = (h_9 - h_0) - T_0 (s_9 - s_0) \quad (3.46)$$

$$\psi_{10} = (h_{10} - h_0) - T_0 (s_{10} - s_0) \quad (3.47)$$

$$\psi_{11} = (h_{11} - h_0) - T_0 (s_{11} - s_0) \quad (3.48)$$

$$\psi_{12} = (h_{12} - h_0) - T_0 (s_{12} - s_0) \quad (3.49)$$

$$\psi_{13} = (h_{13} - h_0) - T_0 (s_{13} - s_0) \quad (3.50)$$

$$\psi_{14} = (h_{14} - h_0) - T_0 (s_{14} - s_0) \quad (3.51)$$

$$\psi_{17} = (h_{17} - h_0) - T_0 (s_{17} - s_0) \quad (3.52)$$

$$\psi_{18} = (h_{18} - h_0) - T_0 (s_{18} - s_0) \quad (3.53)$$

$$\psi_{19} = (h_{19} - h_0) - T_0 (s_{19} - s_0) \quad (3.54)$$

$$\psi_{20} = (h_{20} - h_0) - T_0 (s_{20} - s_0) \quad (3.55)$$

şeklinde ifade edilir. Denklemler düzenlenirse;

$$\dot{I}_{AS} = T_0 \left[\dot{m}_h (s_{20} - s_{19}) + \dot{m}_{CO_2} [(s_{10} - s_9) + (s_{12} - s_{11}) + (s_{14} - s_{13}) + (s_{18} - s_{17})] \right] \quad (3.56)$$

eşitliği elde edilir. Bu denklem ara soğutucunun tersinmezlik miktarını ifade eder.

Burada,

$$s_{10} - s_9 = C_{p,ort} \ln \frac{T_{10}}{T_9} - R \ln \frac{P_{10}}{P_9} \quad (3.57)$$

$$s_{12} - s_{11} = C_{p,ort} \ln \frac{T_{12}}{T_{11}} - R \ln \frac{P_{12}}{P_{11}} \quad (3.58)$$

$$s_{14} - s_{13} = C_{p,ort} \ln \frac{T_{14}}{T_{13}} - R \ln \frac{P_{14}}{P_{13}} \quad (3.59)$$

$$s_{18} - s_{17} = C_{p,ort} \ln \frac{T_{18}}{T_{17}} - R \ln \frac{P_{18}}{P_{17}} \quad (3.60)$$

$$s_{20} - s_{19} = C_{p,ort} \ln \frac{T_{20}}{T_{19}} - R \ln \frac{P_{20}}{P_{19}} \quad (3.61)$$

olarak ifade edilir.

3.2.2.4. Glikol kulesi ekserji analizi

Akışkanın kinetik ve potansiyel enerjileri ihmal edilerek Şekil 3.13. için ekserji dengesi yazılırsa;

$$\dot{m}_{15} \psi_{15} + \dot{m}_{21} \psi_{21} = \dot{m}_{16} \psi_{16} + \dot{m}_{22} \psi_{22} + \dot{I}_{GK} \quad (3.62)$$

$$\dot{I}_{GK} = \dot{m}_{CO_2} (\psi_{15} - \psi_{16}) - \dot{m}_{gl} (\psi_{22} - \psi_{21}) \quad (3.63)$$

$$\psi_{15} = (h_{15} - h_0) - T_0 (s_{15} - s_0) \quad (3.64)$$

$$\psi_{16} = (h_{16} - h_0) - T_0 (s_{16} - s_0) \quad (3.65)$$

$$\psi_{21} = (h_{21} - h_0) - T_0 (s_{21} - s_0) \quad (3.66)$$

$$\psi_{22} = (h_{22} - h_0) - T_0 (s_{22} - s_0) \quad (3.67)$$

denklemler düzenlenirse;

$$\dot{I}_{GK} = T_0 \left[\dot{m}_{gl} (s_{22} - s_{21}) + \dot{m}_{CO_2} (s_{16} - s_{15}) \right] \quad (3.68)$$

elde edilir. Bu denklem glikol kulesindeki tersinmezlik miktarını verir. Sıkıştırılmamış maddeler için entropi değişim denklemi yazılırsa, glikol için

$$s_{22} - s_{21} = C_{p,ort,gl} \ln \frac{T_{22}}{T_{21}} \quad (3.69)$$

eşitliği elde edilir (Çengel ve Boles, 1996). CO₂ için ise entropi farkı

$$s_{16} - s_{15} = C_{p,ort} \ln \frac{T_{16}}{T_{15}} - R \ln \frac{P_{16}}{P_{15}} \quad (3.70)$$

olarak ifade edilir.

3.2.2.5. Ekserji verimi ve önemi

Birinci yasa verimi mühendislik yaklaşımlarında her zaman doğru sonuç vermeyerek, sistemlerle ilgili yanlış değerlendirmeler yapmamıza neden olabilmektedir. Bu nedenle birinci yasa veriminin mühendislik problemlerine yaklaşımda tek başına bir ölçü olamayacağı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla olabilecek yanlışları önleyebilmek için ikinci yasa verimi ya da ekserji verimi tanımlanmıştır (Olcayer, 2005).

İkinci yasa verimi, sistemlerde gerçekleşen hal değişimlerinin tersinir hal değişimlerine ne kadar yaklaştığını ifade eden bir kavramdır. Böylece sistemde hal değişimlerinin ne derece iyi ve ideale yakın olduğu belirlenebilir.

Ekserji verimi elde edilen ekserjinin harcanan ekserjiye oranı şeklinde aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Kızıllıkan, 2008).

$$\varepsilon = \frac{\text{Elde edilmek istenen ekserji}}{\text{Harcanan ekserji}}$$

- Kompresör için:

$$\varepsilon_K = \frac{(\psi_2 - \psi_1) + (\psi_4 - \psi_3) + (\psi_6 - \psi_5) + (\psi_8 - \psi_7)}{(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) + (h_6 - h_5) + (h_8 - h_7)} \quad (3.71)$$

yada

$$\varepsilon_K = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{\text{üretim}}}{(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) + (h_6 - h_5) + (h_8 - h_7)} \quad (3.72)$$

olarak ifade edilir. Burada,

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = (s_2 - s_1) + (s_4 - s_3) + (s_6 - s_5) + (s_8 - s_7) \quad (3.73)$$

olmaktadır.

- Ara soğutucu için:

$$\varepsilon_{AS} = \frac{\dot{m}_h (\psi_{20} - \psi_{19})}{\dot{m}_{CO_2} [(\psi_9 - \psi_{10}) + (\psi_{11} - \psi_{12}) + (\psi_{13} - \psi_{14}) + (\psi_{17} - \psi_{18})]} \quad (3.74)$$

yada

$$\varepsilon_{AS} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{\text{üretim}}}{\dot{m}_{CO_2} [(\psi_9 - \psi_{10}) + (\psi_{11} - \psi_{12}) + (\psi_{13} - \psi_{14}) + (\psi_{17} - \psi_{18})]} \quad (3.75)$$

olarak ifade edilir. Burada

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}_h(s_{20} - s_{19}) + \dot{m}_{CO_2} [(s_{10} - s_9) + (s_{12} - s_{11}) + (s_{14} - s_{13}) + (s_{18} - s_{17})] \quad (3.76)$$

olmaktadır.

- Glikol kulesi için:

$$\varepsilon_{GK} = \frac{\dot{m}_{CO_2}(\psi_{16} - \psi_{15})}{\dot{m}_{gl}(\psi_{21} - \psi_{22})} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{\text{üretim}}}{\dot{m}_{gl}(\psi_{21} - \psi_{22})} \quad (3.77)$$

olarak ifade edilir. Burada;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}_{gl}(s_{22} - s_{21}) + \dot{m}_{CO_2}(s_{16} - s_{15}) \quad (3.78)$$

olmaktadır.

- Sistem için:

$$\varepsilon_{SYS} = \frac{\dot{m}_{CO_2}[(\psi_2 - \psi_1) + (\psi_4 - \psi_3) + (\psi_6 - \psi_5) + (\psi_8 - \psi_7)]}{\dot{W}_{K,EL} + \dot{W}_{AS,FAN,EL}} \quad (3.79)$$

elde edilir.

3.2.2.6. Sistemin toplam tersinmezliği

Sistemdeki her bir elemanın tersinmezlik değerleri belirlendikten sonra sistemin toplam tersinmezliği aşağıdaki denklemle hesaplanır (Kızıllıkan, 2008).

$$\dot{I}_T = \dot{I}_K + \dot{I}_{AS} + \dot{I}_{GK} \quad (3.80)$$

3.2.3. Regresyon ve korelasyon analizi

Herhangi bir bağımlı değişken ile bir veya birden fazla bağımsız değişken arasındaki matematiksel ilişki fonksiyonuna **regresyon denklemi** denir. Parametreler arasındaki regresyon denklemini oluşturmak ve bu denklemlerin uygunluğunu ifade eden belirleme katsayısını (R^2) tespit etmek için EXCEL programı kullanılmıştır. R^2 değerinin 1'e yaklaşması denklemin uygunluğunu gösterir.

Kompresör sistemi parametreleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için parametreler arasındaki ilişkiyi ifade eden korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Bu

amaç için MINITAB istatistik programı kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı r ; iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değerler alır. Bir değişken artarken diğeri azalıyorsa korelasyon katsayısı negatif, her ikisi de artıyorsa korelasyon katsayısı pozitif değer alır. İlişkinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığı, seçilen önem seviyesi (α değeri) ile hesaplanan önem seviyesi (p değeri) karşılaştırılarak belirlenir (Bulut, 2008).

Bu çalışmada önem seviyesi, $\alpha=0.05$ olarak seçilmiştir. Eğer p değeri, $\alpha=0.05$ değerinden küçükse ilişki istatistiksel olarak önemlidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. CO₂ Kompresör Sistemi Birinci Yasa Analizi Sonuçları

Dört kademeli CO₂ kompresör sisteminde birinci yasa analizi, hem teorik olarak hem de sisteminin günlük çalışma verileri kullanılarak yapılmıştır. Kompresör, ara soğutucu ve glikol sistemi çalışma verileri (basınç, debi, sıcaklık, elektrik ve fan motorlarının çektiği güç) kullanılarak; iş, güç, debi, verim hesaplamaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar halinde verilmiştir.

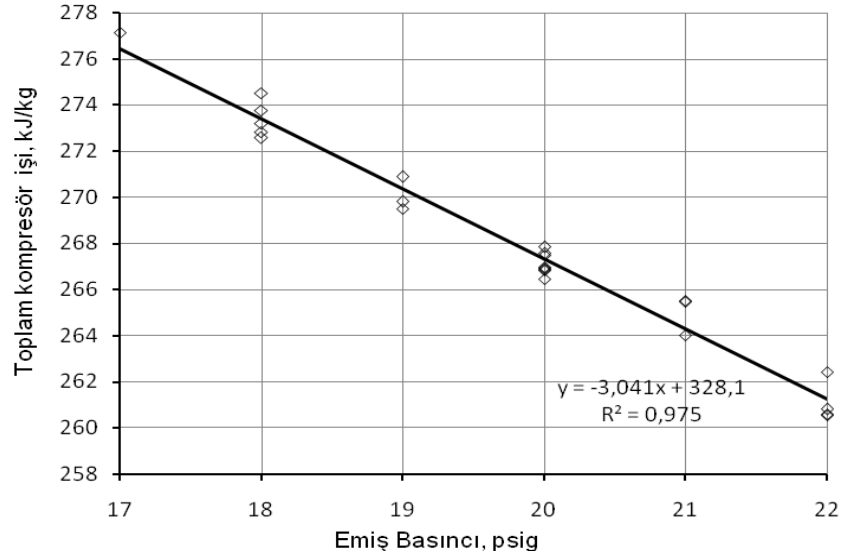
Farklı çalışma sıcaklık, basınç ve debi değerlerinde yapılan analizler ve parametrelerin birbirine göre değişimleri tablo ve grafiklerde sunulmuş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Analizde 04 Şubat 2010 ile 20 Aralık 2010 arasındaki ölçüm verileri kullanılmıştır. Sistemin analizinde rastgele günler seçmek yerine, ay (31 gün) kartillere (çeyreklere) ayrılarak her kartilde orta gündeki veriler kullanılmıştır. Analizler her ayın 4., 12., 20. ve 28. günleri için yapılmıştır.

4.1.1. Kompresör birinci yasa analizi sonuçları

Kompresör emiş basıncı ile gerekli kompresör işinin değişimi Şekil 4.1.' de verilmiştir. Grafikten de görüleceği gibi emiş basıncı arttıkça birim kütle başına kompresör işi azalmaktadır.

Emiş basıncı ile toplam kompresör işi arasındaki korelasyon katsayısı $r = -0.988$, önem seviyesi $p=0$ ' dir. Bu durum, parametreler arasında negatif yüksek bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0$ seçilen $p= 0.05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. Aynı zamanda R^2 değerinin 1' e yakın olması grafikte gösterilen denklemin uygunluğunu göstermektedir.

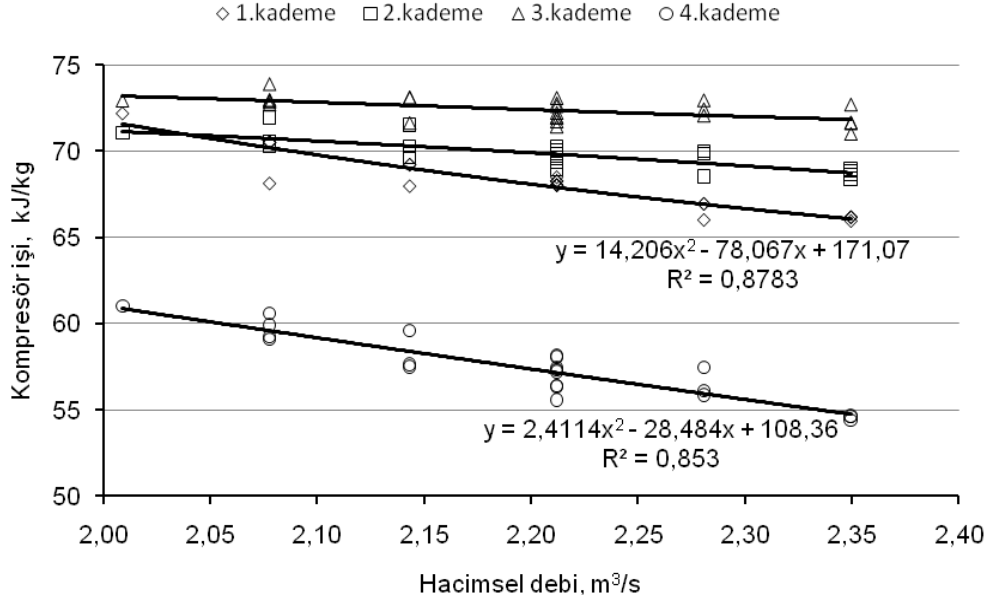


Şekil 4.1. Kompresör emiş basıncı ile kompresör işinin değişimi

Çalışma verileri kullanılarak, yapılan değerlendirmede kompresör hacimsel debisi ile her bir kademedeki kompresör işinin değişimi incelendiğinde en fazla işin 3. kademe, en az işin de 4.kademe gerekli olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Burada istatistiksel değerlendirme yapılırsa:

- Kompresör hacimsel debisi ile 1. kademe işi arasında korelasyon katsayısı $r = -0.932$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında negatif yüksek bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0$ seçilen $p= 0.05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. R^2 değerinin 1' e yakın olması grafikte gösterilen denklemin uygunluğunu göstermektedir.
- Hacimsel debi ile 2. kademe işi arasında korelasyon katsayısı $r = -0.798$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0$ seçilen $p= 0.05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır.
- Hacimsel debi ile 3. kademe işi arasında korelasyon katsayısı $r= -0.584$, önem seviyesi $p=0.003$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0.003$ seçilen $p= 0.05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır.
- 4.kademe ise hacimsel debi ile iş arasında korelasyon katsayısı $r=-0.923$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında negatif yüksek bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0$ seçilen $p= 0.05$ ' den küçük olduğundan

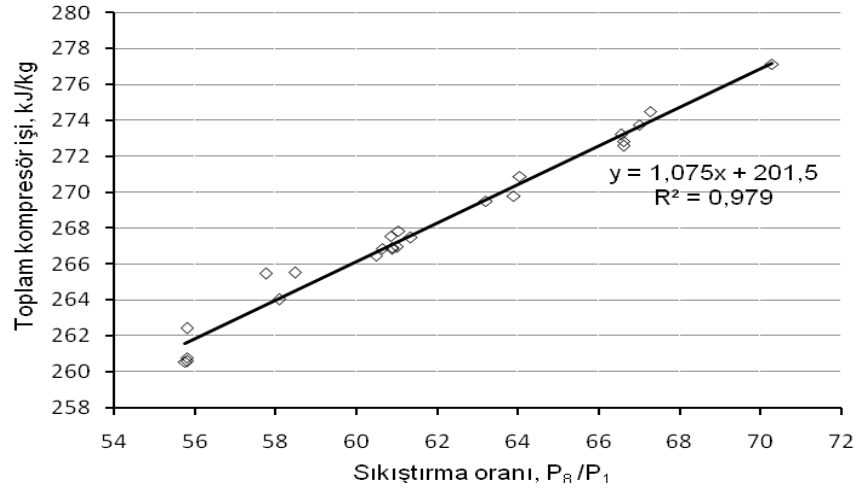
sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. Denklemin uygunluğunu, R^2 değerinin 1'e yakın olması göstermektedir.



Şekil 4.2. Hacimsel debi ile her bir kademedeki kompresör işinin değişimi

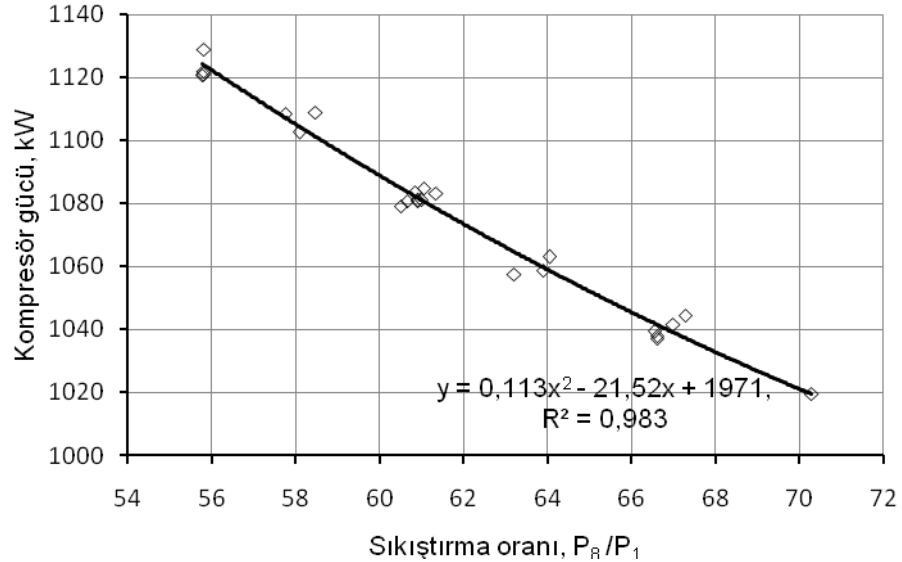
Elde edilen sonuçlara göre sıkıştırma oranı arttıkça birim kütle başına gerekli toplam kompresör işi beklendiği gibi artmaktadır (Şekil 4.3).

Sıkıştırma oranı ile toplam kompresör işi arasında korelasyon katsayısı $r = 0.990$, önem seviyesi $p=0$ 'dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif çok yüksek bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. $R^2=0.979$ olması ve 1'e çok yakın olması uydurulan denklemin uygunluğunu göstermektedir.



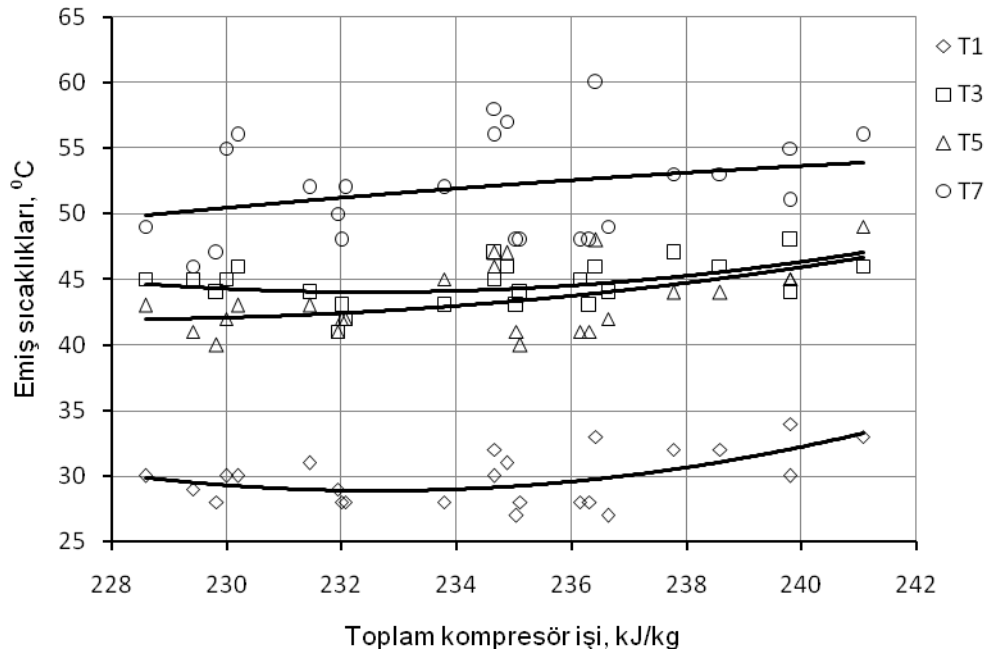
Şekil 4.3. Sıkıştırma oranı ile toplam kompresör işinin değişimi

Şekil 4.4.' de sıkıştırma oranı ile kompresör gücünün değişimi verilmiştir. Sıkıştırma oranı arttıkça kompresör gücü azalmaktadır. Sıkıştırma oranı ile kompresör gücü arasında korelasyon katsayısı $r = -0,990$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında negatif çok yüksek bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0$ seçilen $p= 0,05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. R^2 değerinin 1' e çok yakın olması grafikteki denklemin uygunluğunu göstermektedir.



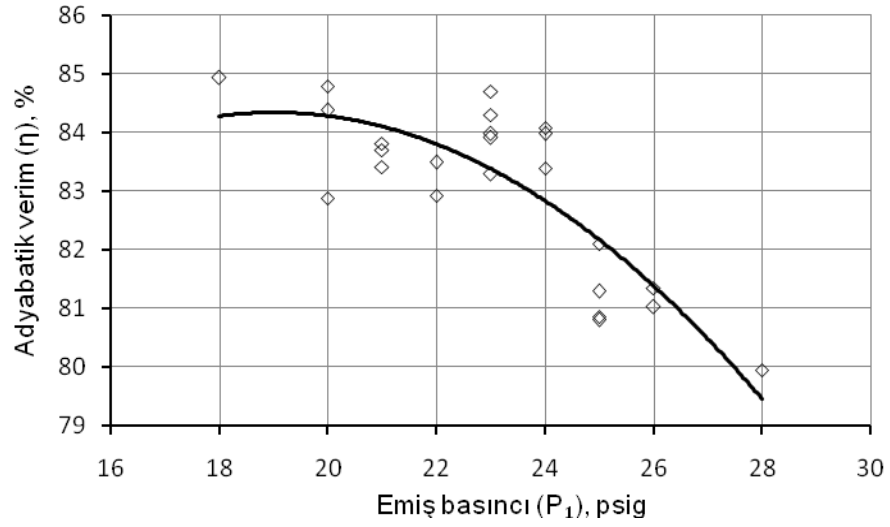
Şekil 4.4. Sıkıştırma oranı ile kompresör gücünün değişimi

- Kompresör işi ile 3. kademe gaz emiş sıcaklığı arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.502$, önem seviyesi $p=0.012$ 'dir. Bu durum, parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0.012$ seçilen $p= 0.05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır.
- Kompresör işi ile 4. kademe gaz emiş sıcaklığı arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.292$, önem seviyesi $p=0.167$ ' dir. $p=0.167$ seçilen $p= 0.05$ ' den büyük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlı değildir.



Şekil 4.6. Toplam kompresör işi ile kademe emiş sıcaklıklarının değişimi

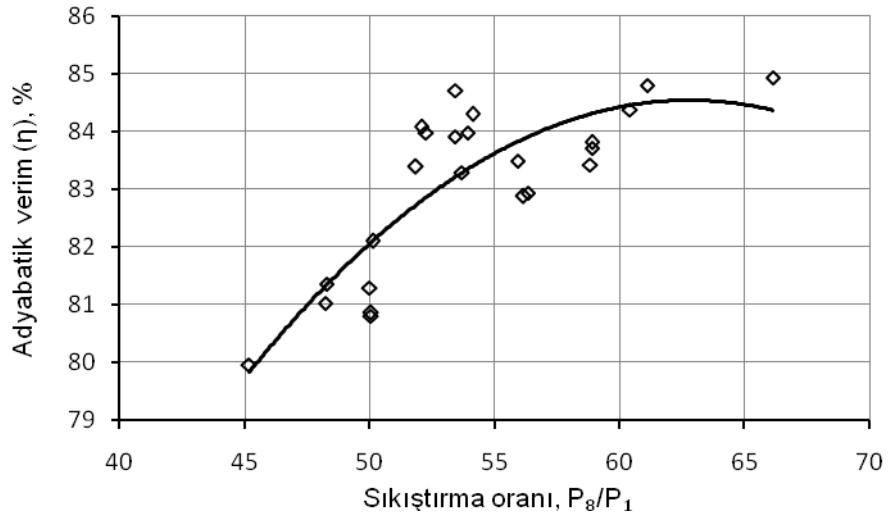
Şekil 4.7.' de emiş basıncı ile adyabatik verimin değişim grafiği verilmiştir. Burada görüldüğü üzere emiş basıncının artışı ile birlikte adyabatik verim azalmaktadır. İstatistiksel olarak incelendiğinde; emiş basıncı ile adyabatik verim arasında korelasyon katsayısı $r = -0.773$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.7. Kompresör emiş basıncı ile adyabatik verimin değişimi

Sıkıştırma oranı arttıkça adyabatik verim artmakta ancak yüksek sıkıştırma oranlarında verim sabit bir seyir izlemektedir (Şekil4.8). Bunun nedeni, sıkıştırma oranının artışı ile birlikte gerçek ve izantropik haldeki sıcaklık değerlerinin birbirine yaklaşmasıdır. Bayır (2008) yapmış olduğu çalışmada benzer sonuçlar elde etmiştir.

Sıkıştırma oranı ile adyabatik verim arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.768$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.8. Sıkıştırma oranı ile adyabatik verimin değişimi

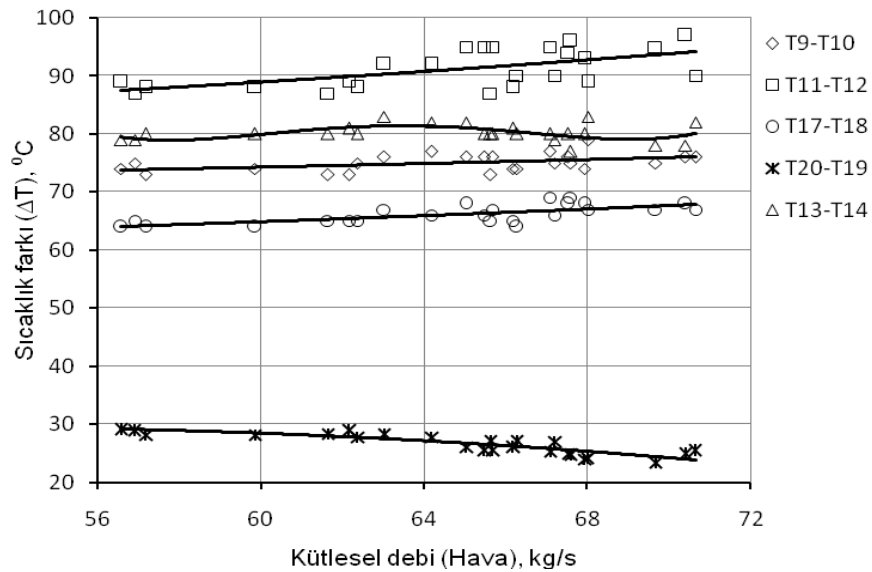
4.1.2. Ara soğutucu birinci yasa analizi sonuçları

Ara soğutucuda farklı çalışma verilerine göre analizler yapılmıştır. Şekil 4.9.' da ara soğutucuya giren ve çıkan CO₂ ve havanın sıcaklık farkının, havanın kütleli debisine göre değişim eğrileri verilmiştir. Burada (T₉-T₁₀) 1.kademe, (T₁₁-T₁₂) 2. kademe, (T₁₃-T₁₄) 3. kademe ve (T₁₇-T₁₈) de 4. kademe sıkıştırması sonrasında ara soğutucuya giren CO₂'nin giriş ve çıkış sıcaklıkları farkını ifade etmektedir. (T₂₀-T₁₉) ise ara soğutucuda ısınan havanın sıcaklığındaki artış miktarını belirtmektedir. Çizelge 4.1.'de havanın kütleli debisi ile ara soğutucu sıcaklık farkları arasındaki korelasyon ve önem katsayıları verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere p=0.05 önem seviyesine göre koyu olarak işaretlenen sonuçların istatistiksel olarak bir anlamı yoktur.

Çizelge 4.1. Havanın kütleli debisi ile ara soğutucu sıcaklık farkları arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri

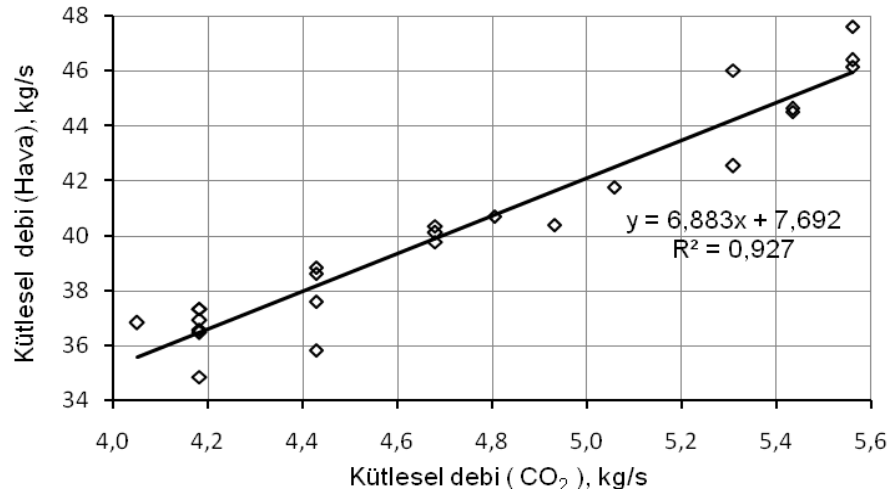
	m _h ile (T ₉ -T ₁₀)	m _h ile (T ₁₁ -T ₁₂)	m _h ile (T ₁₃ -T ₁₄)	m _h ile (T ₁₇ -T ₁₈)	m _h ile (T ₂₀ -T ₁₉)
r	0.432	0.592	-0.172	0.688	-0.857
p	0.035	0.002	0.422	0	0

Şekil 4.9.' da görüldüğü üzere havanın debisindeki artışla beraber CO₂ gazında oluşan sıcaklık farkı artmakta buna karşın havada ise azalmaktadır. Hava soğutucu akışkan, CO₂ ise soğutulan akışkan olduğundan bu sonuç beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.9. Ara soğutucuda havanın kütleli debisi ile sıcaklık farklarının değişimi

ΔT farkları stabil seyrettiğinden, ara soğutucuda CO₂ gazının kütleli debisi ile havanın kütleli debisi arasında doğru orantıya yakın bir bağıntı vardır (Şekil 4.10). Burada, CO₂'nin kütleli debisi ile havanın kütleli debisi arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.963$, önem seviyesi $p=0$ 'dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif yüksek bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0$ seçilen $p=0.05$ 'den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. R^2 değerinin 1'e yakın olması uydurulan denklemin uygunluğunu göstermektedir.



Şekil 4.10. Ara soğutucuda CO₂'nin kütleli debisi ile havanın kütleli debisinin değişimi

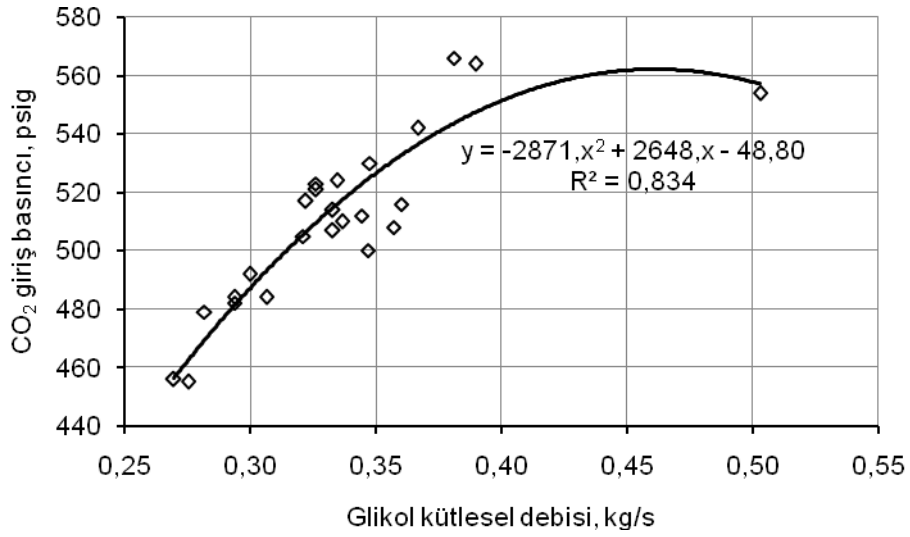
4.1.3. Glikol kulesi birinci yasa analizi sonuçları

Glikol kulesinde karşılaşılan glikol ve CO₂ ikilisinden glikolun sıcaklığı azalırken CO₂ gazının ise sıcaklığı artmaktadır. Şekil 4.11.'de glikol debisinin CO₂ giriş basıncı ile değişim grafiği verilmiştir. Burada gazın basıncının artışı ile beraber glikolun debisi de artmaktadır. Çünkü gazın basıncının artması ile birlikte debisi de artmaktadır.

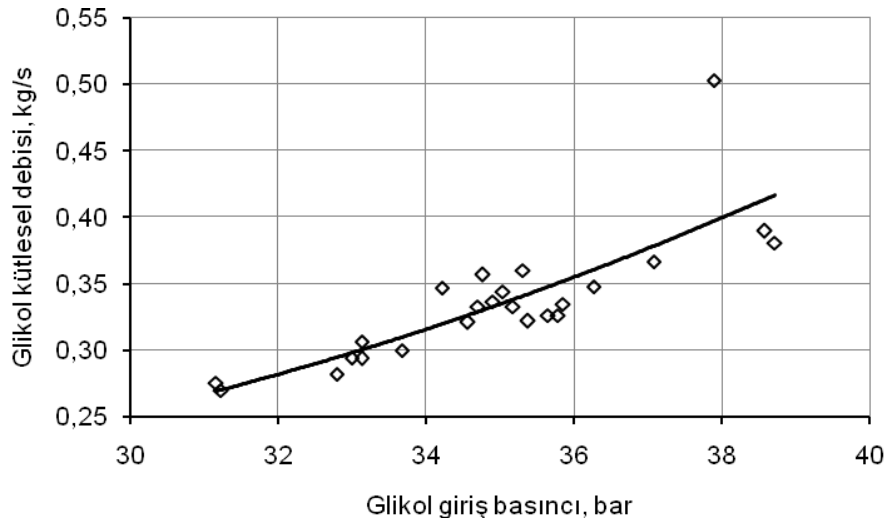
CO₂ giriş basıncı ile glikol kütleli debisi arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.812$, önem seviyesi $p=0$ 'dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. $R^2=0.834$ olması ve grafikteki denklemin uygunluğunu göstermektedir.

Aynı zamanda glikolün giriş basıncının artması ile birlikte glikolün kütleli debisi de artmaktadır (Şekil 4.12). Glikol giriş basıncı ile glikol kütleli debisi arasında korelasyon katsayısı $r = 0.811$, önem seviyesi $p=0'$ dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Glikol kulesine akış olabilmesi için glikolün basıncı, gazın basıncından 3-5 psi daha fazladır. Gazın basıncı yaklaşık olarak 3.kademe ara soğutucu çıkışındaki gaz basıncına eşittir.



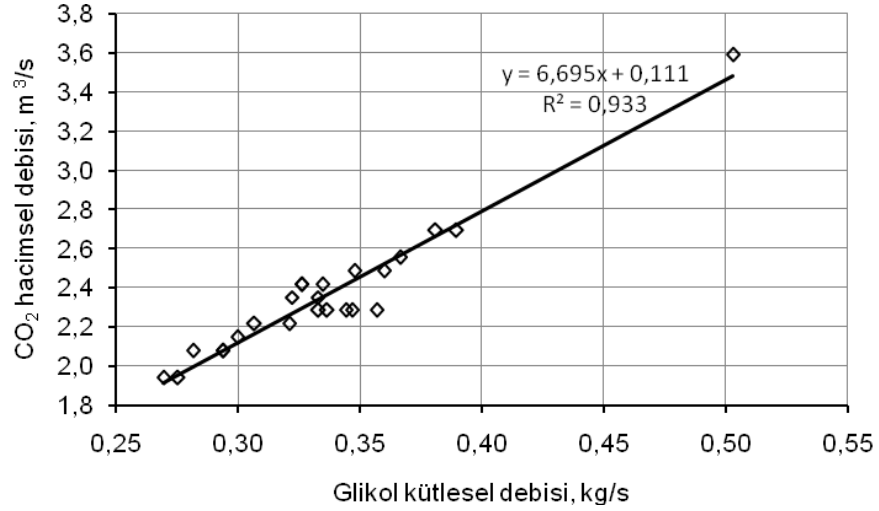
Şekil 4.11. Glikol kütleli debisi ile CO₂ giriş basıncının değişimi



Şekil 4.12. Glikol giriş basıncı ile glikol kütleli debisinin değişimi

Şekil 4.13.' de görüldüğü üzere glikol kütleli debisinin artması ile beraber CO₂ hacimsel debisi de artmaktadır. Bu, beklenen bir sonuçtur, çünkü gazın miktarı arttığında dolayısıyla gazı kurutmak için gerekli glikol miktarı da artacaktır. Sıcaklık ve basınç farklarının değişimi yaklaşık sabit kaldığında, gazın debisi ile glikolün debisi arasında doğru orantıya yakın bir ilişki vardır.

İstatistiksel olarak incelendiğinde; glikol kütleli debisi ile CO₂ hacimsel debisi arasında korelasyon katsayısı $r = 0.961$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif yüksek bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Grafikte R^2 değerinin 1'e yakın olması denklemin uygunluğunu göstermektedir.



Şekil 4.13. Glikol kütleli debisi ile CO₂ hacimsel debisinin değişimi

4.1.4. Sistem birinci yasa analizi genel sonuçları

Kompresörde güç, verimlilik, adyabatik verim, debi ile ara soğutucu ve glikol kulesinde debi hesaplamaları yapılmıştır. Çizelge 4.2.' de hesaplamaların sonucu tablo olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2. Güç, verimlilik ve debi tablosu (20.08.2010)

Saat	Hesaplanan Kompresör gücü (kW)	Kompresör Elektrik Panosundan okunan(kW)	Kompresör adyabatik verimi (η_a , %)	Kompresör verimi (η_k , %)	m_{CO_2} (kg/s)	m_h (kg/s)	m_{gl} (kg/s)
00:00	1391.81	1769.19	79.68	78.67	5.80	46.77	0.41
01:00	1419.74	1777.57	81.32	79.87	5.94	47.25	0.43
02:00	1410.94	1716.48	80.41	82.20	5.93	47.09	0.42
03:00	1407.52	1785.91	81.52	78.81	5.93	46.59	0.42
04:00	1440.30	1728.18	80.61	83.34	6.19	47.03	0.46
05:00	1458.25	1766.86	79.74	82.53	6.32	46.81	0.48
06:00	1472.24	1810.69	81.95	81.31	6.32	48.89	0.48
07:00	1514.51	1879.76	82.11	80.57	6.57	53.39	0.49
08:00	1448.87	1852.06	80.84	78.23	6.19	52.71	0.46
09:00	1479.29	1857.65	79.91	79.63	6.32	52.83	0.46
10:00	1498.56	1882.29	79.29	79.61	6.45	50.69	0.47
11:00	1369.09	1843.81	80.79	74.25	5.56	48.01	0.41
12:00	1377.33	1796.94	82.49	76.65	5.56	48.44	0.40
13:00	1443.16	1829.78	80.30	78.87	5.93	52.01	0.45
14:00	1414.36	1810.16	80.73	78.13	5.80	48.88	0.44
15:00	1445.90	1793.63	81.42	80.61	5.93	47.84	0.46
16:00	1540.80	1994.86	77.60	77.24	6.57	53.18	0.48
17:00	1476.38	1849.33	78.73	79.83	6.19	52.49	0.48
18:00	1454.40	1877.20	78.47	77.48	6.06	52.53	0.46
19:00	1468.41	1885.41	78.31	77.88	6.19	52.03	0.47
20:00	1458.32	1899.35	77.84	76.78	6.18	51.35	0.46
21:00	1397.53	1893.89	79.30	73.79	5.80	47.47	0.44
22:00	1430.80	1860.47	77.43	76.91	6.06	49.20	0.44
23:00	1424.31	1868.82	77.99	76.21	6.06	51.71	0.44

4.2. CO₂ Kompresör Sistemi İkinci Yasa Analizi Sonuçları

Sistemde ikinci yasa analizi kapsamında kompresör, ara soğutucu ve glikol kulesinde tersinmezlik, ekserji ve ikinci yasa verimliliği için hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

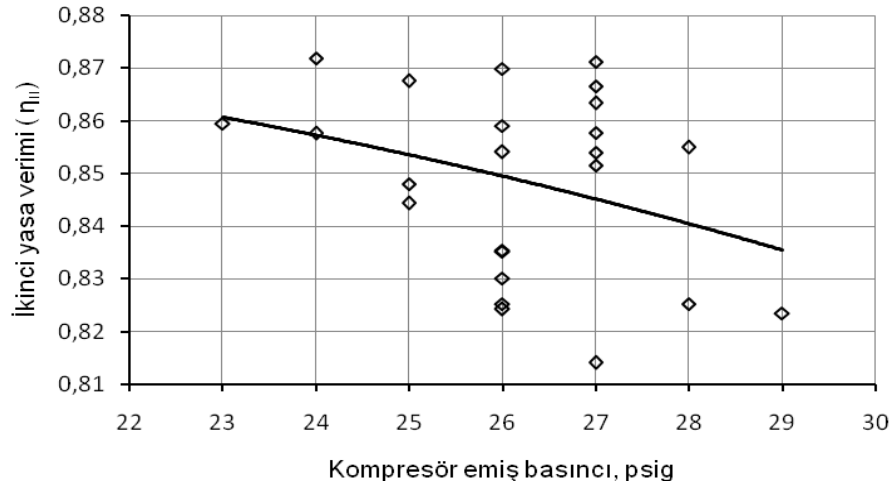
İkinci yasa analizinde referans sıcaklığı T_0 için Batman Meteoroloji' den alınan saatlik değerler kullanılmış, referans basıncı P_0 için ise Batı Raman' daki atmosferik basınç değeri olan 0.93 Bar (13.7 psi) değeri kullanılmıştır. Dolayısıyla burada sabit bir referans sıcaklığı kabulü yapılmamıştır.

4.2.1. Kompresör ikinci yasa analizi sonuçları

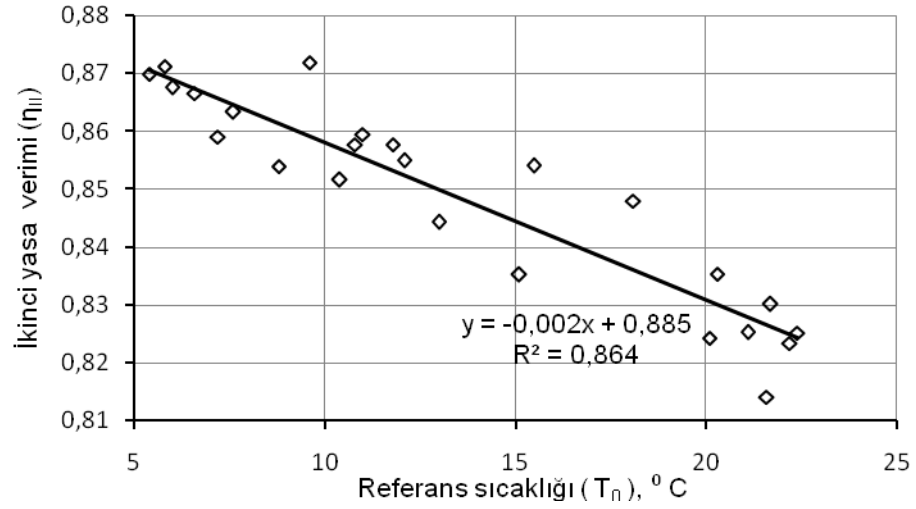
Kompresör emiş basıncı ile kompresörde ikinci yasa veriminin değişimi görülmektedir (Şekil 4.14). İstatistiksel olarak bakıldığında; emiş basıncı ile kompresör ikinci yasa verimi arasındaki korelasyon katsayısı $r = -0.361$, önem seviyesi $p=0.083$ ’dür. $p=0.083$ seçilen $p=0.05$ ’den büyük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Şekil 4.15’ de referans sıcaklığının (T_0) ikinci yasa verimi üzerindeki etkisi görülmektedir. Burada açıkça görüldüğü üzere referans sıcaklığının artması ile birlikte ikinci yasa verimi azalmaktadır. Referans sıcaklığı ile kompresör ikinci yasa verimi arasında korelasyon katsayısı $r = -0.902$, önem seviyesi $p=0$ ’dır. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0$ seçilen $p=0.05$ ’den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. $R^2=0.864$ olması uydurulan bağıntının uygunluğunu göstermektedir.

Ancak referans sıcaklığının sabit bir değer kabul edilmesi durumunda elde edilecek ekserji ve verimlilik değerleri ile değişken kabul edilmesi durumunda elde edilecek ekserji ve verimlilik değerler arasında ciddi bir fark bulunmamaktadır (Çizelge 4.3). Çizelgede yalnızca 4. kademe giriş ve çıkış ekserjilerinin kıyaslaması yapılmıştır. Çünkü diğer kademeler için oluşan ekserji farkları daha azdır. İkinci yasa verimi hesabında ise tüm kademelerin verileri kullanılmıştır.



Şekil 4.14. Kompresör emiş basıncı ile ikinci yasa veriminin değişimi

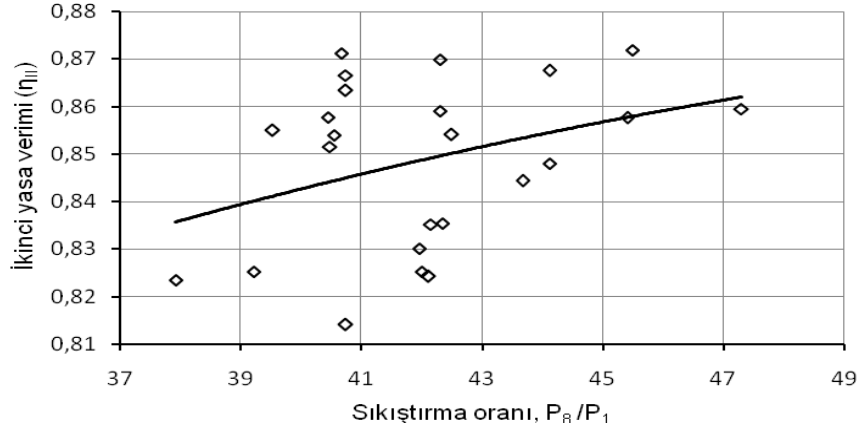


Şekil 4.15. Kompresörde referans sıcaklığı ile ikinci yasa veriminin değişimi

Çizelge 4.3. Referans sıcaklığının sabit ve değişken alınmasına göre ekserji ve ikinci yasa verimlerini karşılaştırma tablosu (28.03.2010)

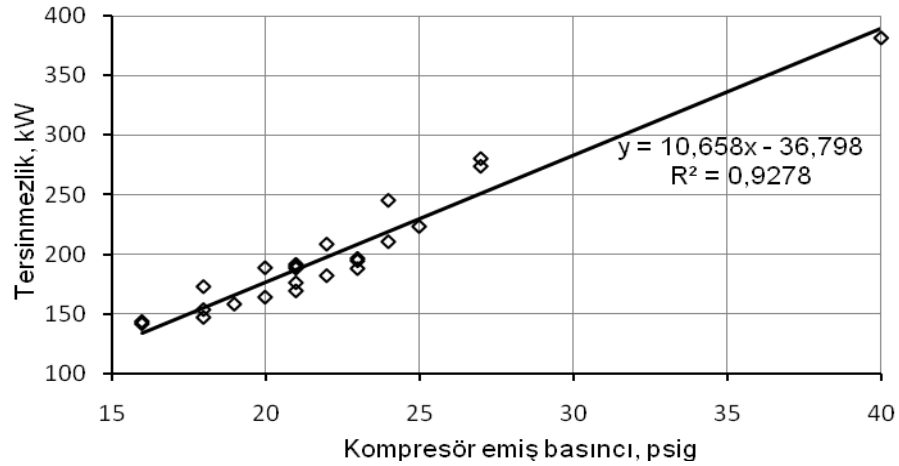
Saat	Referans sıcaklığı ($T_0 = 25^\circ\text{C}$) sabit alınmıştır.				Referans sıcaklığı (T_0) için meteoroloji değerleri alınmıştır.			
	ψ_7 (kJ/kg)	ψ_8 (kJ/kg)	T_0 °C	η_{II} %	ψ_7 (kJ/kg)	ψ_8 (kJ/kg)	T_0 °C	η_{II} %
00:00	211.62	257.22	25	84.39	202.73	248.98	10.4	85.16
01:00	212.30	257.79	25	85.01	201.50	247.86	7.2	85.90
02:00	211.26	257.53	25	84.55	201.40	248.47	8.8	85.39
03:00	211.26	257.79	25	85.49	200.70	248.07	7.6	86.34
04:00	211.33	258.01	25	85.78	200.24	247.79	6.6	86.66
05:00	211.23	257.69	25	86.23	199.69	247.02	5.8	87.12
06:00	210.77	258.22	25	86.07	198.97	247.42	5.4	86.98
07:00	209.77	258.81	25	85.86	198.38	248.40	6.0	86.76
08:00	207.51	258.47	25	86.49	198.31	250.01	9.6	87.18
09:00	212.40	258.15	25	84.84	204.47	250.83	12.1	85.50
10:00	211.26	258.26	25	84.92	205.38	252.85	15.5	85.40
11:00	209.90	258.37	25	84.44	205.61	254.43	18.1	84.80
12:00	210.70	258.06	25	83.27	207.75	255.35	20.3	83.54
13:00	212.30	258.01	25	81.19	210.16	256.04	21.6	81.41
14:00	213.33	257.79	25	82.17	211.57	256.16	22.2	82.34
15:00	212.59	257.90	25	82.37	210.95	256.40	22.4	82.52
16:00	209.63	257.98	25	82.82	207.56	256.09	21.7	83.01
17:00	210.93	257.81	25	82.29	208.46	255.57	21.1	82.52
18:00	211.03	257.96	25	82.13	207.93	255.16	20.1	82.42
19:00	211.29	257.80	25	82.96	205.14	252.18	15.1	83.52
20:00	209.16	257.81	25	83.78	201.86	251.07	13.0	84.43
21:00	207.51	258.04	25	85.26	199.11	250.30	11.0	85.95
22:00	207.86	257.92	25	85.05	199.42	250.04	10.8	85.76
23:00	210.94	257.59	25	85.11	202.89	250.18	11.8	85.77

Şekil 4.16.' da sıkıştırma oranı ile ikinci yasa veriminin değişim grafiği verilmiştir. İstatistiksel olarak bakıldığında; sıkıştırma oranı ile ikinci yasa verimi arasında korelasyon katsayısı $r = 0.374$, önem seviyesi $p=0.071$ ' dir. $p=0.071$ seçilen $p= 0.05$ 'den büyük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlı değildir.



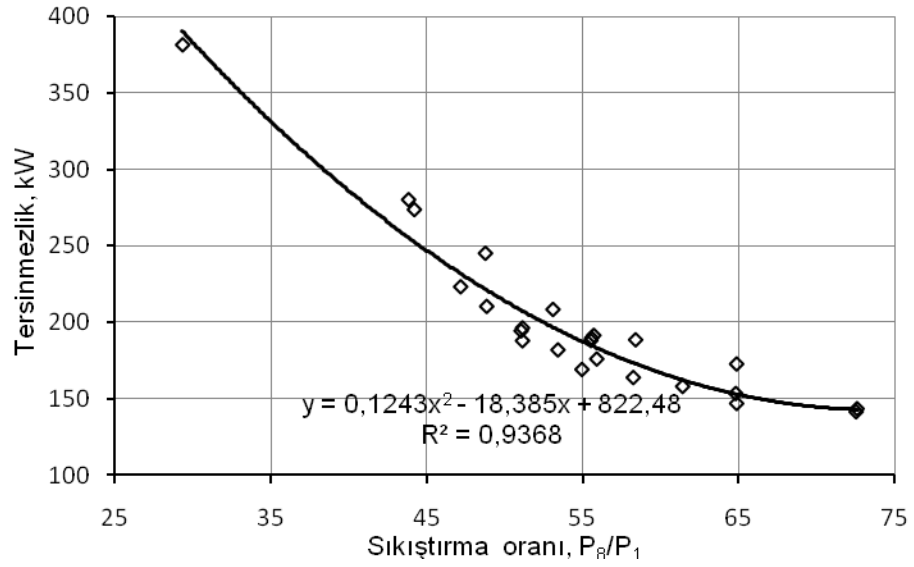
Şekil 4.16. Kompresör sıkıştırma oranı ile ikinci yasa veriminin değişimi

Şekil 4.17.' de görüleceği üzere kompresörde emiş basıncının artması ile birlikte tersinmezlikler de artmaktadır. Daha önce de ifade edildiği gibi emiş basıncının artması ile birlikte gazın sıkıştırma oranı azalmaktadır. Kompresör emiş basıncı ile tersinmezlikler arasında korelasyon katsayısı $r = 0.963$, önem seviyesi $p=0$ ' dir. Bu durum, parametreler arasında pozitif yüksek bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. R^2 değerinin 1' e yakın olması grafikteki denklemin uygunluğunu göstermektedir.



Şekil 4.17. Kompresör emiş basıncı ile tersinmezliğin değişimi

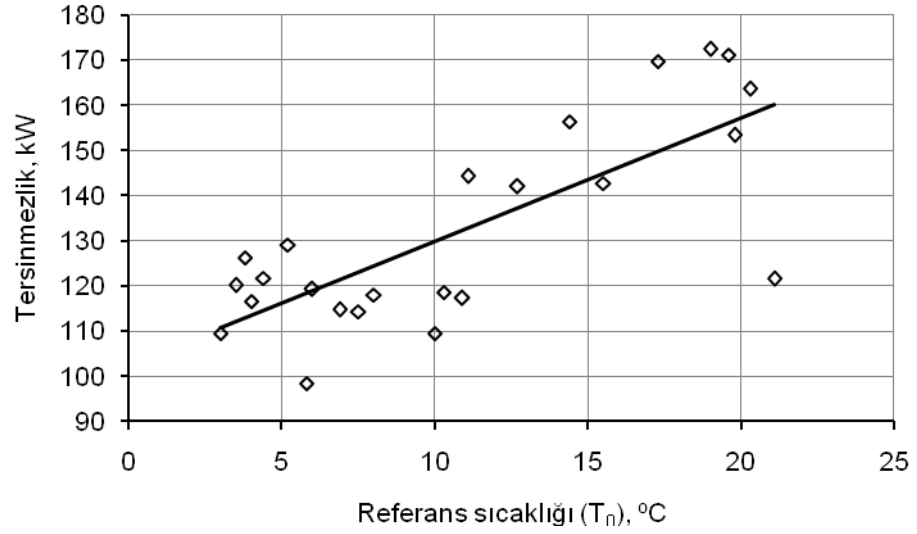
Gazın sıkıştırma oranı artınca tersinmezlik azalmaktadır (Şekil 4.18). Çünkü sıkıştırma oranının artışı ile beraber entropi değişimi azalmakta ve dolayısıyla tersinmezlik de azalmaktadır. İstatistiksel olarak bakıldığında; sıkıştırma oranı ile tersinmezlikler arasında korelasyon katsayısı $r = -0.905$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir ve $p=0$ seçilen $p=0.05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. R^2 değeri 1' e yakın olduğundan grafikte oluşturulan denklem uygundur.



Şekil 4.18. Kompresörde sıkıştırma oranı ile tersinmezliğin değişimi

Şekil 4.19.' da referans sıcaklığı ile tersinmezliğin değişim grafiği verilmiştir. Referans sıcaklığının artması ile birlikte tersinmezlik artmaktadır. Referans sıcaklığı ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = 0.764$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Referans sıcaklığının artışı ekserjiyi azalttığından tersinmezlik artmaktadır. Dolayısıyla referans sıcaklığının yani ortam sıcaklığının düşük olması ikinci yasa açısından sistemi daha verimli kılmaktadır.

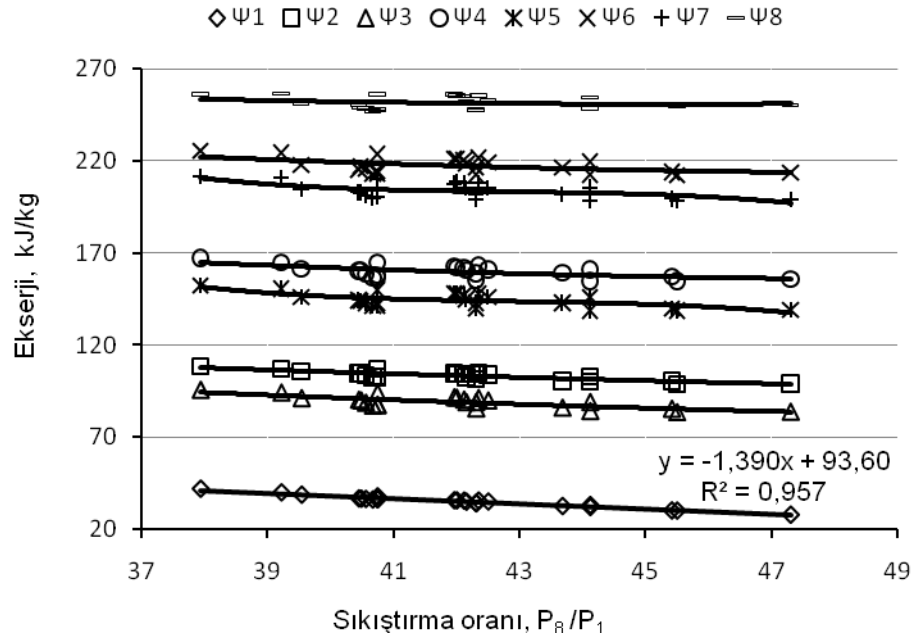


Şekil 4.19. Kompresörde referans sıcaklığı ile tersinmezliğin değişimi

Şekil 4.20.' de kompresör sıkıştırma oranı ile ekserjilerin değişim grafiği verilmiştir. Buna göre, sıkıştırma oranı artınca ekserjiler az da olsa bir azalma eğilimi göstermektedir. Ancak ekserji değişimleri (mesela $\Psi_2-\Psi_3$, $\Psi_4-\Psi_5$, $\Psi_6-\Psi_7$) paralel bir seyir izlemektedir. Çizelge 4.4.'de sıkıştırma oranı ile ekserjiler arasındaki korelasyon ve önem katsayıları verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere $p=0.05$ önem seviyesine göre koyu olarak işaretlenen sonuçların istatistiksel olarak bir anlamı yoktur. R^2 değerinin 1' e yakın olması, Ψ_1 ile (P_8/P_1) parametreleri için uydurulan denklemin uygunluğunu göstermektedir.

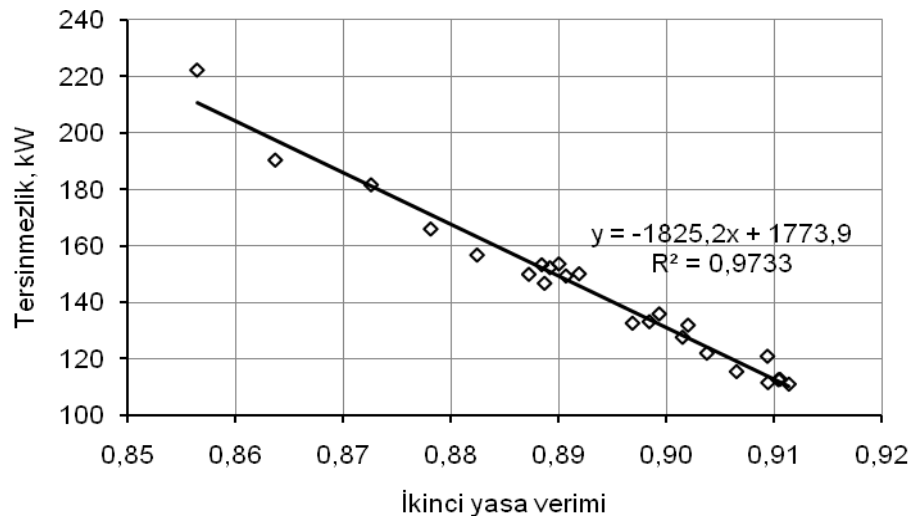
Çizelge 4.4. Sıkıştırma oranı ile ekserjiler arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri

	Ψ_1 ile (P_8/P_1)	Ψ_2 ile (P_8/P_1)	Ψ_3 ile (P_8/P_1)	Ψ_4 ile (P_8/P_1)	Ψ_5 ile (P_8/P_1)	Ψ_6 ile (P_8/P_1)	Ψ_7 ile (P_8/P_1)	Ψ_8 ile (P_8/P_1)
r	-0.979	-0.846	-0.760	-0.598	-0.626	-0.488	-0.526	-0.178
p	0	0	0	0.002	0.001	0.016	0.008	0.405



Şekil 4.20. Kompresörde sıkıştırma oranı ile ekserjilerin değişimi

Şekil 4.21.' de görüldüğü gibi kompresörde ikinci yasa veriminin artması ile birlikte tersinmezlik azalmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Özkaymak (2001) yaptığı çalışmada buna çok yakın sonuçlara ulaşmıştır. İkinci yasa verimi ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = -0.974$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif yüksek bir ilişki olduğunu göstermektedir ve $p=0$ olduğundan ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. R^2 değerinin 1' e çok yakın grafikteki denklemin uygunluğunu göstermektedir.

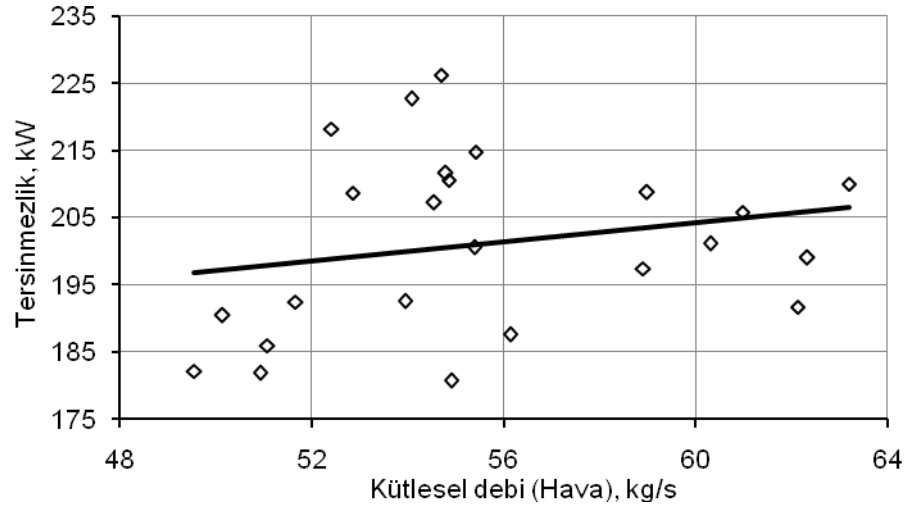


Şekil 4.21. Kompresörde ikinci yasa verimi ile tersinmezliğin değişimi

4.2.2. Ara soğutucu ikinci yasa analizi sonuçları

Ara soğutucuda ekserji, ekserji verimi ve tersinmezlik analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

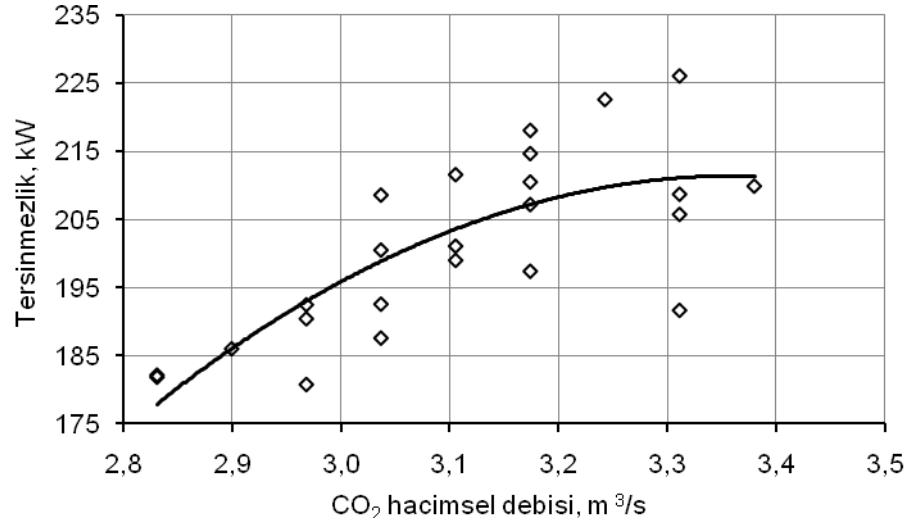
Şekil 4.22.' ara soğutucuda havanın kütleli debisi ile tersinmezliğin değişim grafiği verilmiştir. İstatistiksel olarak incelendiğinde; havanın kütleli debisi ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = 0.217$, önem seviyesi $p=0.309$ ' dür. $p=0.309$ seçilen $p= 0.05$ 'den büyük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlı değildir.



Şekil 4.22. Ara soğutucuda havanın kütleli debisi ile tersinmezliğin değişimi

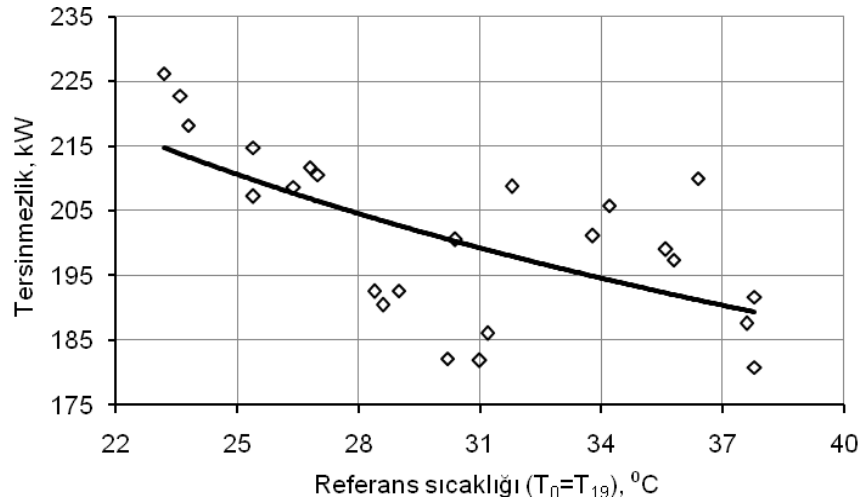
Şekil 4.23.' de CO₂ hacimsel debisi ile tersinmezliğin değişimi grafiği verilmiştir. Burada görüldüğü üzere gaz debisinin artmasına paralel olarak tersinmezlik artmaktadır. Çünkü CO₂ debisinin artmasıyla birlikte havanın debisi de artacağından bu beklenen bir sonuçtur.

Burada, CO₂ hacimsel debisi ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = 0.728$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



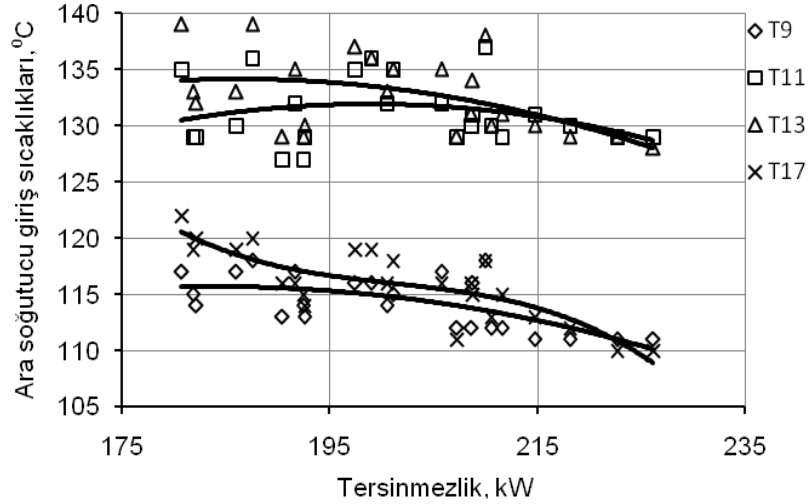
Şekil 4.23. Ara soğutucuda CO₂'nin hacimsel debisi ile tersinmezliğin değişimi

Şekil 4.24.'de referans sıcaklığı ile tersinmezliğin değişim grafiği verilmiştir. Buna göre referans sıcaklığının artışı ile birlikte tersinmezlik azalmaktadır. Çünkü referans sıcaklığının artması havanın entropi değişiminde ($s_{20}-s_{19}$) azalmaya neden olmaktadır. Dolayısıyla tersinmezliğin azalması beklenen bir sonuçtur. Referans sıcaklığı ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = -0.610$, önem seviyesi $p=0.002$ 'dir. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir ve $p=0.002$ seçilen $p=0.05$ 'den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır.



Şekil 4.24. Ara soğutucuda referans sıcaklığı ile tersinmezliğin değişimi

Şekil 4.25.' de tersinmezlik ile ara soğutucu CO₂ giriş sıcaklıklarının değişimi verilmiştir. Burada görüldüğü üzere tersinmezlik artışı ile beraber ara soğutucu giriş sıcaklıkları azalmaktadır. Çünkü giriş sıcaklıklarının azalması ile birlikte entropi değişimi artmakta dolayısıyla tersinmezlik artmaktadır. Aynı değerlendirme ara soğutucu çıkış sıcaklıkları için yapılırsa tersi bir durum söz konusu olacaktır.



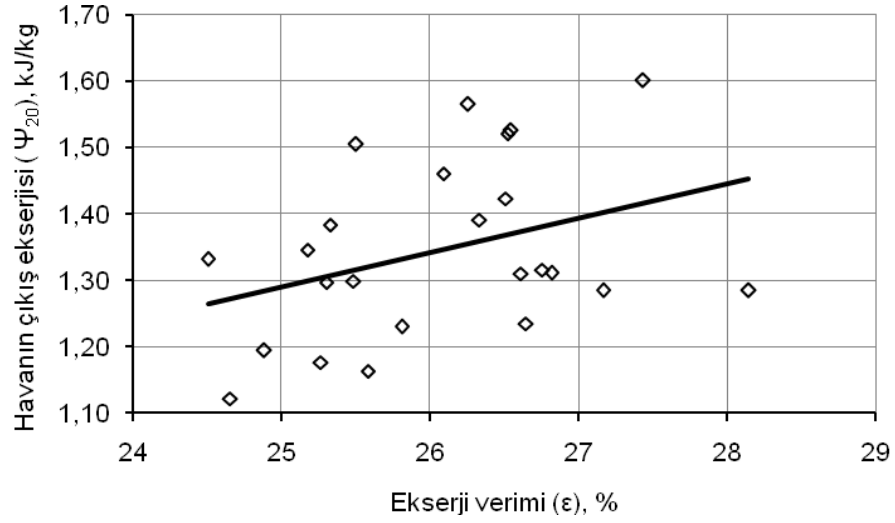
Şekil 4.25. Ara soğutucuda tersinmezlik ile CO₂ giriş sıcaklıklarının değişimi

Çizelge 4.5.'de tersinmezlik ile ara soğutucu CO₂ giriş sıcaklıkları arasındaki korelasyon ve önem katsayıları verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere $p=0.05$ önem seviyesine göre koyu olarak işaretlenen sonuçların istatistiksel olarak bir anlamı yoktur.

Çizelge 4.5. Tersinmezlik ile ara soğutucu CO₂ giriş sıcaklıkları arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri

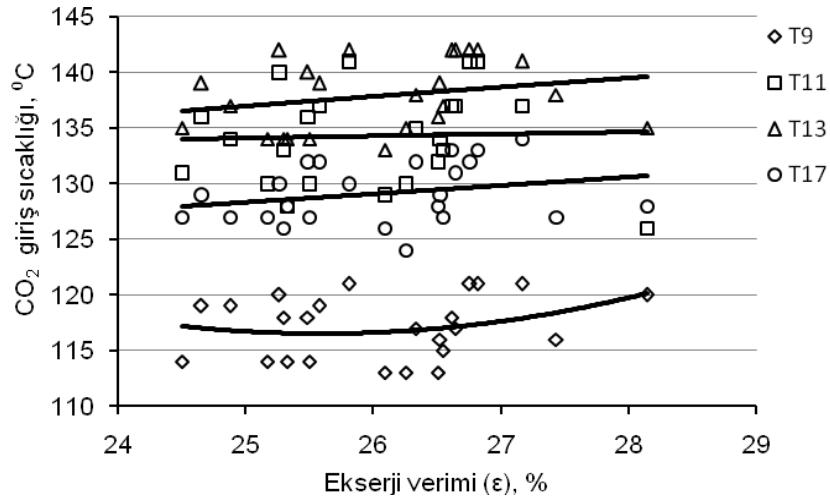
	I _{AS} ile T ₉	I _{AS} ile T ₁₁	I _{AS} ile T ₁₃	I _{AS} ile T ₁₇
r	-0.597	-0.114	-0.452	-0.801
p	0.002	0.595	0.027	0

Şekil 4.26.' de ara soğutucuda ekserji verimi ile havanın çıkış ekserjisinin değişim grafiği verilmiştir. Ekserji verimi ile havanın çıkış ekserjisi arasında korelasyon katsayısı $r = 0.353$, önem seviyesi $p=0.091$ ' dür. $p=0.091$ seçilen $p=0.05$ 'den büyük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlı değildir.



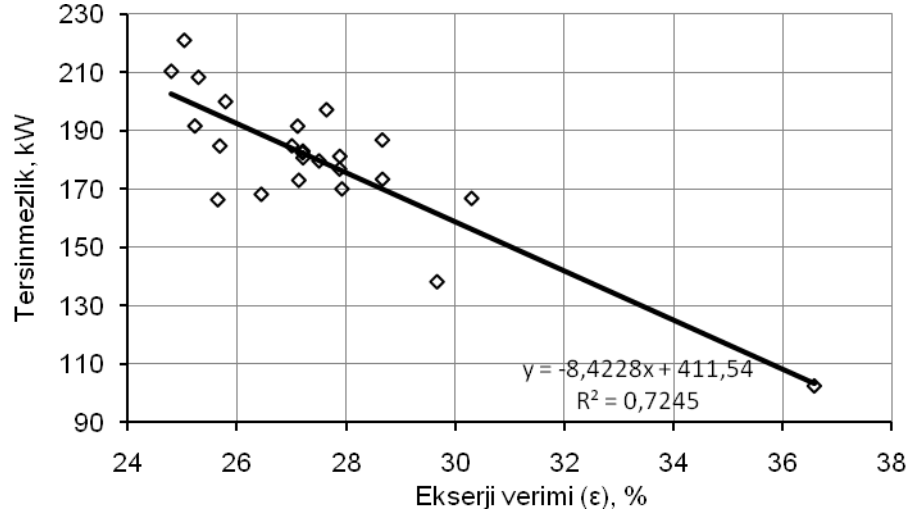
Şekil 4.26. Ekserji verimi ile havanın çıkış ekserjisinin değişimi

Şekil 4.27.' de ekserji verimi ile ara soğutucu CO₂ giriş sıcaklıklarının değişimi görülmektedir. Çizelge 4.6.'de ekserji verimi ile ara soğutucu CO₂ giriş sıcaklıkları arasındaki korelasyon ve önem katsayıları verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere p=0.05 önem seviyesine göre sonuçların hiçbirinin istatistiksel olarak bir anlamı yoktur.

Şekil 4.27. Ara soğutucuda ekserji verimi ile CO₂ giriş sıcaklığının değişimiÇizelge 4.6. Ekserji verimi ile ara soğutucu CO₂ giriş sıcaklıkları arasındaki korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri

	ε ile T ₉	ε ile T ₁₁	ε ile T ₁₃	ε ile T ₁₇
r	0.199	0.006	0.241	0.259
p	0.351	0.976	0.256	0.222

Ekserji verimi tersinmezlikle ters orantılı olarak değişmektedir (Şekil 4.28). Kızılkın (2004) de yapmış olduğu çalışmada aynı şekilde verim ile tersinmezliğin ters orantılı olarak değiştiğini tespit etmiştir. Ekserji verimi ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = -0.851$, önem seviyesi $p=0'$ dır. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



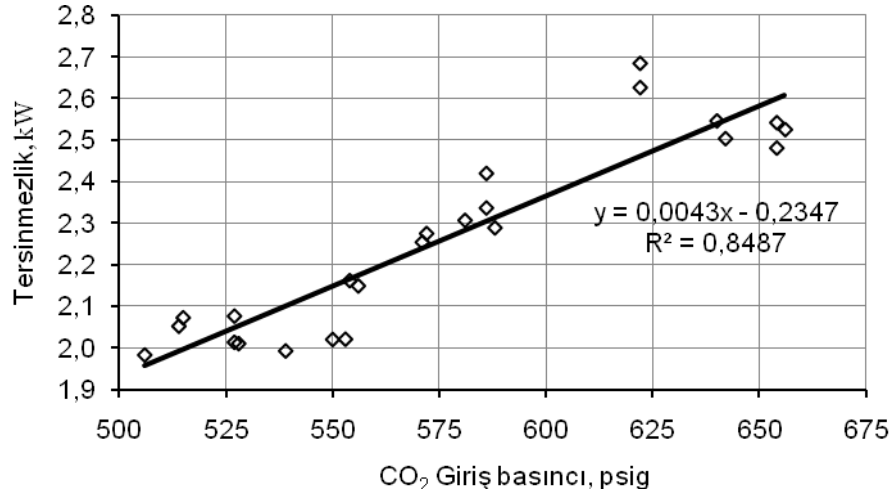
Şekil 4.28. Ara soğutucuda ekserji verimi ile tersinmezliğin değişimi

4.2.3. Glikol kulesi ikinci yasa analizi sonuçları

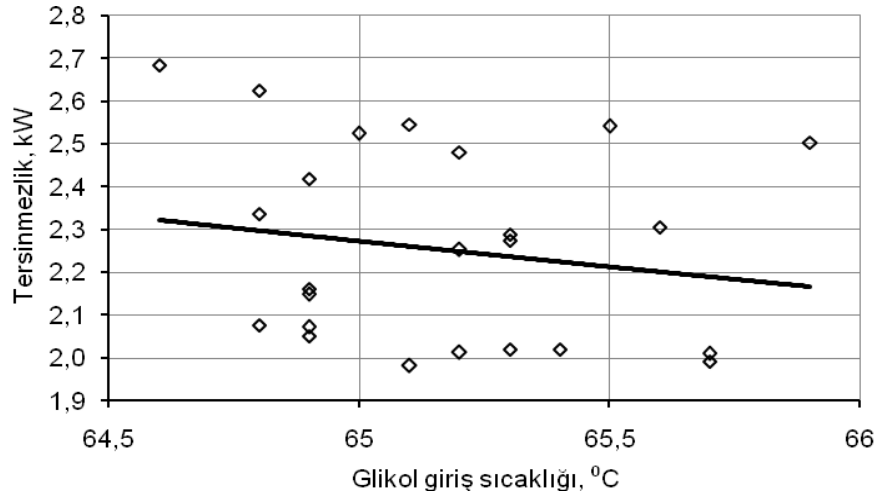
Glikol kulesinde tersinmezlik ve ikinci yasa verimi hesaplanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Şekil 4.29.' da glikol kulesinde CO₂ giriş basıncı ile tersinmezliğin değişimi verilmiştir. Giriş basıncının artmasına paralel olarak tersinmezlik artmaktadır. Gaz çıkış basıncının artması durumunda ise tersinmezlik azalacaktır.

İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde; glikol kulesi CO₂ giriş basıncı ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = 0.921$, önem seviyesi $p=0'$ dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif yüksek bir ilişki olduğunu göstermektedir ve $p=0$ olduğundan ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. Ayrıca R^2 değerinin 1' e yakın olması grafikteki denklemin uygunluğunu göstermektedir.

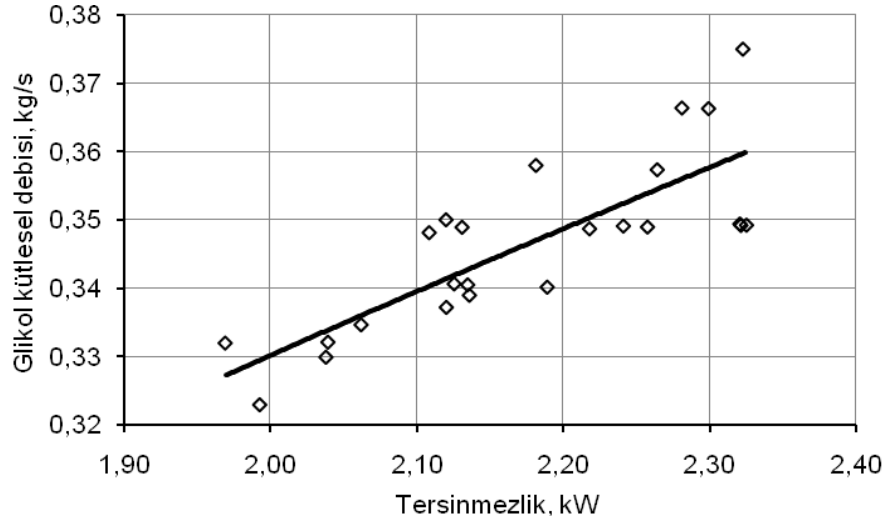
Şekil 4.29. Glikol kulesi CO₂ giriş basıncı ile tersinmezliğin değişimi

Şekil 4.30.' da glikol giriş sıcaklığı ile tersinmezliğin değişim grafiği verilmiştir. Glikol giriş sıcaklığı ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = -0.186$, önem seviyesi $p=0.385$ ' dür. $p=0.385$ seçilen $p= 0.05$ 'den büyük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlı değildir.



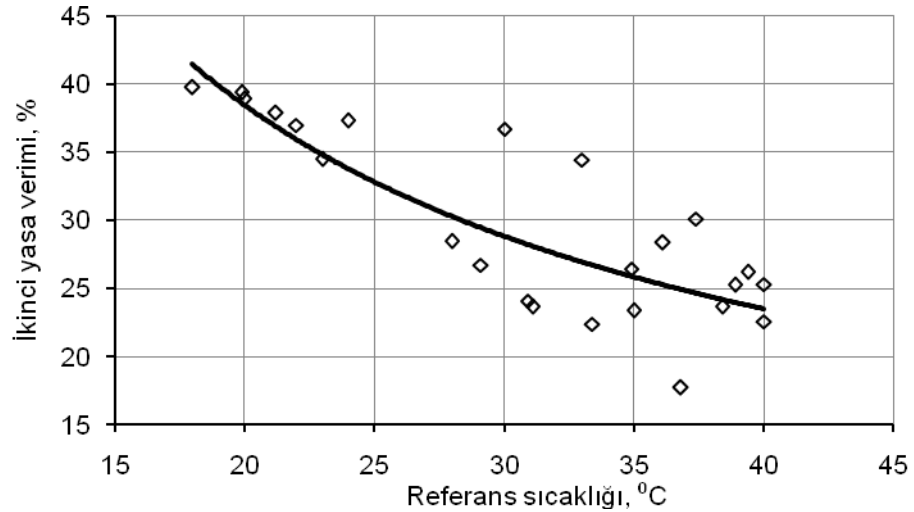
Şekil 4.30. Glikol giriş sıcaklığı ile tersinmezliğin değişimi

Şekil 4.31.' da görüldüğü üzere glikol kulesinde tersinmezlik, glikolün kütleli debisinin artması ile birlikte artmaktadır. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde; tersinmezlik ile glikol kütleli debisi arasında korelasyon katsayısı $r = 0.802$, önem seviyesi $p=0$ ' dir. Bu durum, parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.31. Tersinmezlik ile glikolün kütleli debisinin değişimi

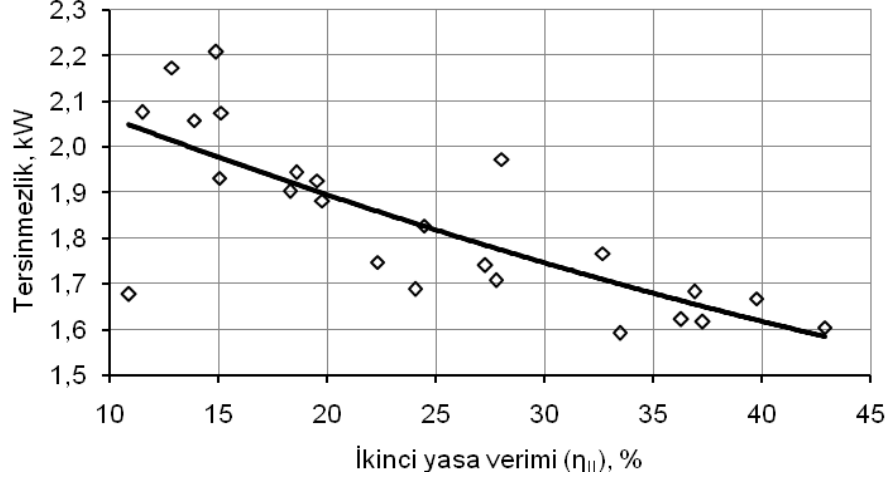
Şekil 4.32.' de glikol kulesinde referans sıcaklığı ile ikinci yasa veriminin değişim grafiği verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere referans sıcaklığının artması ile birlikte ikinci yasa verimi azalmaktadır. Referans sıcaklığı ile ikinci yasa verimi arasında korelasyon katsayısı $r = -0.819$, önem seviyesi $p=0'$ dır. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir ve $p=0$ olduğundan ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır.



Şekil 4.32. Glikol kulesinde referans sıcaklığı ile ikinci yasa veriminin değişimi

Şekil 4.33.' de görüldüğü üzere ikinci yasa veriminin artması ile birlikte tersinmezlik azalmaktadır. Teorik açıdan bu beklenen bir sonuçtur. İkinci yasa verimi ile tersinmezlik arasında korelasyon katsayısı $r = -0.768$, önem seviyesi $p=0'$

dır. Bu durum, parametreler arasında negatif bir ilişki olduğunu ve $p=0$ olması ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.33. Glikol kulesinde ikinci yasa verimi ile tersinmezliğin değişimi

4.2.4. Sistem ikinci yasa analizi genel sonuçları

Kompresör, ara soğutucu ve glikol kulesinde tersinmezlik, ekserji verimi hesaplanmış ve ayrıca sistem için toplam tersinmezlik ile ekserji verimi bulunmuştur. Çizelge 4.7.' de tersinmezlik ve ekserji verimi tablosu verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere kompresör ekserji verimi, sistem ekserji veriminden daha yüksek ancak ara soğutucu ve glikol kulesi ekserji verimi ise sistem ekserji veriminden daha düşüktür.

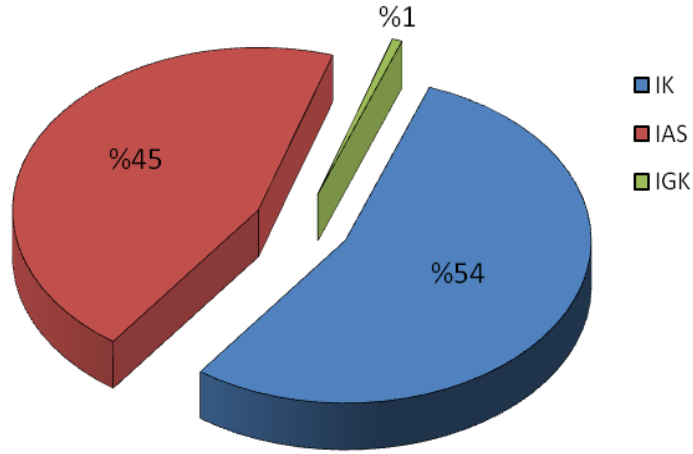
Ekserji verimi yüksek olmasına karşın tersinmezliğin en fazla gerçekleştiği eleman kompresördür. Bu da doğal bir sonuçtur, çünkü sistemde harcanan gücün yaklaşık % 90' ı kompresörlerde tüketilmektedir.

Tablodan açıkça görüldüğü üzere tersinmezliğin en fazla olduğu yer kompresör ve ara soğutucudur. Glikol kulesindeki tersinmezlik önemli bir miktar oluşturmamaktadır. Tersinmezliği azaltmaya öncelikle kompresör ve ara soğutuculardan başlamak gerekir.

Çizelge 4.7. Tersinmezlik ve ekserji verimi tablosu (04.07.2010)

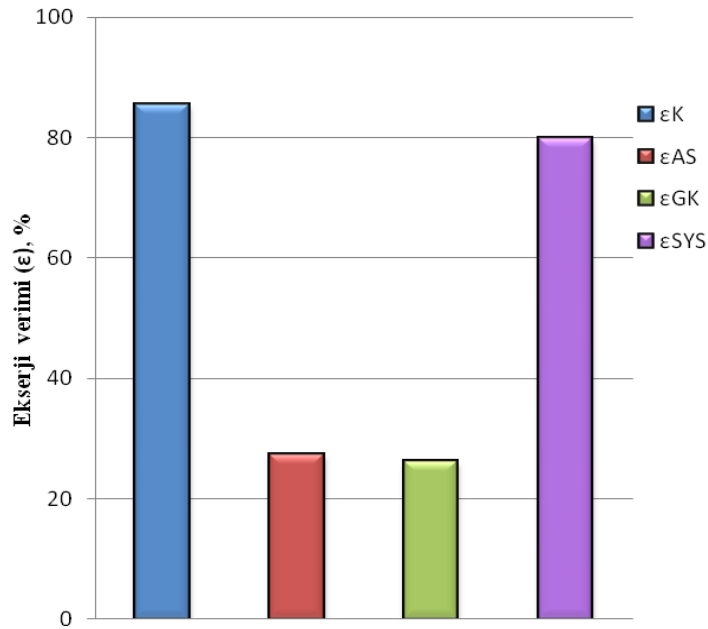
Saat	Kompresör Tersinmezliği (kW)	Ara Soğutucu Tersinmezliği (kW)	Glikol kulesi Tersinmezliği (kW)	Toplam Tersinmezlik (kW)	Kompresör Ekserji verimi ϵ_K (%)	Ara soğutucu Ekserji verimi ϵ_{AS} (%)	Glikol kulesi Ekserji verimi ϵ_{GK} (%)	Sistemin Ekserji verimi ϵ_{SYS} (%)
00:00	204.00	186.77	2.48	393.25	86.33	27.62	26.33	79.82
01:00	230.55	208.30	2.78	441.63	85.47	27.41	28.56	80.88
02:00	208.15	211.17	2.43	421.76	86.84	27.70	42.73	83.43
03:00	234.89	219.61	2.78	457.28	85.28	27.11	32.24	83.64
04:00	217.09	206.93	2.41	426.43	86.15	26.99	40.86	83.35
05:00	208.11	207.75	2.41	418.27	85.92	25.20	33.79	80.95
06:00	200.62	214.91	2.26	417.79	86.92	24.76	44.17	77.83
07:00	212.48	207.77	2.53	422.79	86.61	25.30	35.95	79.86
08:00	234.14	200.50	2.60	437.25	85.33	25.29	26.53	79.11
09:00	223.32	194.86	2.40	420.59	85.74	24.23	27.94	77.06
10:00	238.69	186.93	2.44	428.06	84.93	26.78	25.17	77.55
11:00	236.48	178.98	2.46	417.92	85.03	27.46	21.59	75.73
12:00	234.23	177.30	2.85	414.37	85.21	28.51	20.86	77.47
13:00	202.20	170.14	2.66	375.00	86.94	28.50	24.53	78.58
14:00	212.76	168.32	2.73	383.81	86.37	28.28	18.62	80.03
15:00	203.80	166.75	2.67	373.22	86.54	29.00	17.91	77.40
16:00	211.48	165.73	3.83	381.04	85.93	28.31	13.85	79.07
17:00	200.25	160.64	3.85	364.74	86.53	28.83	15.19	78.42
18:00	276.55	178.89	4.00	459.44	83.89	29.33	14.25	82.37
19:00	276.55	177.26	3.54	457.36	84.02	30.22	15.85	82.33
20:00	287.98	198.36	2.91	489.25	83.45	27.04	20.41	81.74
21:00	298.97	203.31	2.90	505.18	82.97	27.59	22.55	81.74
22:00	261.16	194.04	2.64	457.85	84.39	28.55	27.40	79.96
23:00	274.75	214.79	2.64	492.18	83.77	26.41	31.93	80.02

Şekil 4.34.' de sistem elemanlarının tersinmezliklerinin toplam tersinmezlik içindeki oranı verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere tersinmezliğin en fazla gerçekleştiği ekipman ortalama % 54 ile kompresörlerdir. Daha sonra % 45 ile ara soğutucular ve % 1 ile glikol kulesi gelmektedir.



Şekil 4.34. Sistem ekipmanlarının tersinmezlik oranları dağılımı

Şekil 4.35.' de kompresör (ϵ_K), ara soğutucu (ϵ_{AS}), glikol kulesi (ϵ_{GK}) ve sistem (ϵ_{SYS}) ortalama ekserji verimleri kıyaslamalı olarak verilmiştir. Görüldüğü üzere tersinmezlik oranı en yüksek ekipman kompresör olmasına rağmen, ekserji verimi en yüksek ekipman kompresördür. Daha sonra verimlilik yönünden sırasıyla sistem, ara soğutucu ve glikol kulesi gelmektedir. Ara soğutucu ve glikol kulesinde ekserji verimleri birbirine yakın bulunmuştur.



Şekil 4.35. Sistem ve ekipmanların ekserji verimi

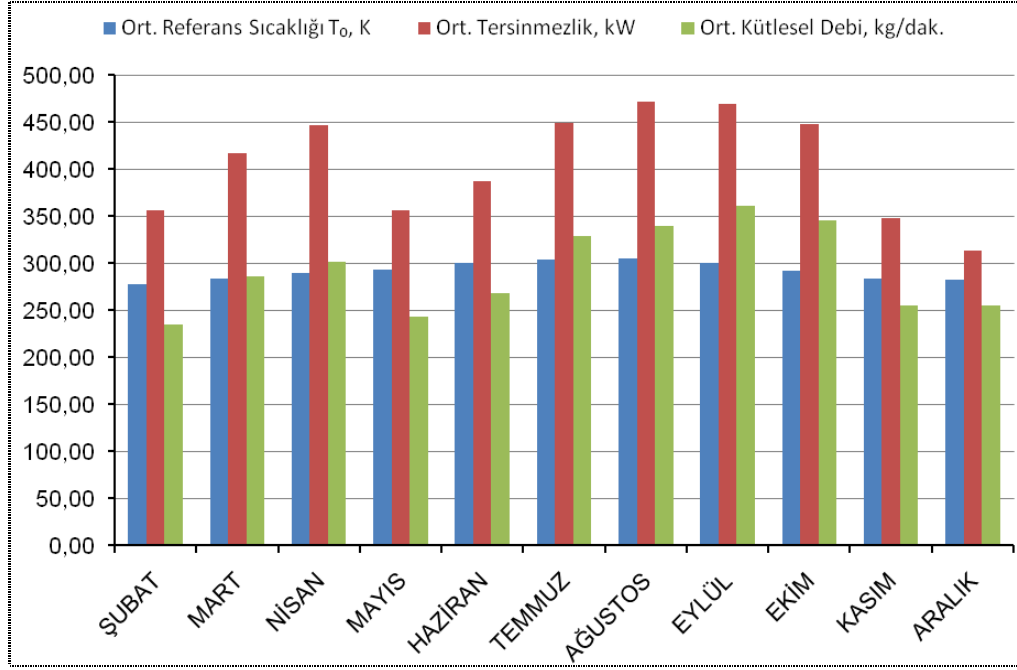
4.3. Aylık Ortalama Veriler ve Sistemin Enerji Maliyet Analizi

Çizelge 4.8.' de aylık ortalama referans sıcaklığı, kütleli debi, tersinmezlik ve güç verilerinin yanında enerji tüketim ve maliyet hesaplamaları verilmiştir. Tablodaki değerler, sistemin tek kompresörle çalışmasına göre hesaplanmıştır. 1 kWh enerjinin 2010 yılı için ortalama fiyatı 0.2 TL alınmıştır. Çizelge 4.6.' dan görüldüğü üzere birim üretim maliyeti içinde kompresör sistemi enerji maliyetinin oranı ortalama % 4.5 civarındadır. Burada petrol üretim miktarı varil ile ifade edilmiştir ve 1 varil =158.98 litre'dir.

Çizelge 4.8. Kompresör sistemi aylık ortalama çalışma, enerji tüketim ve maliyet verileri

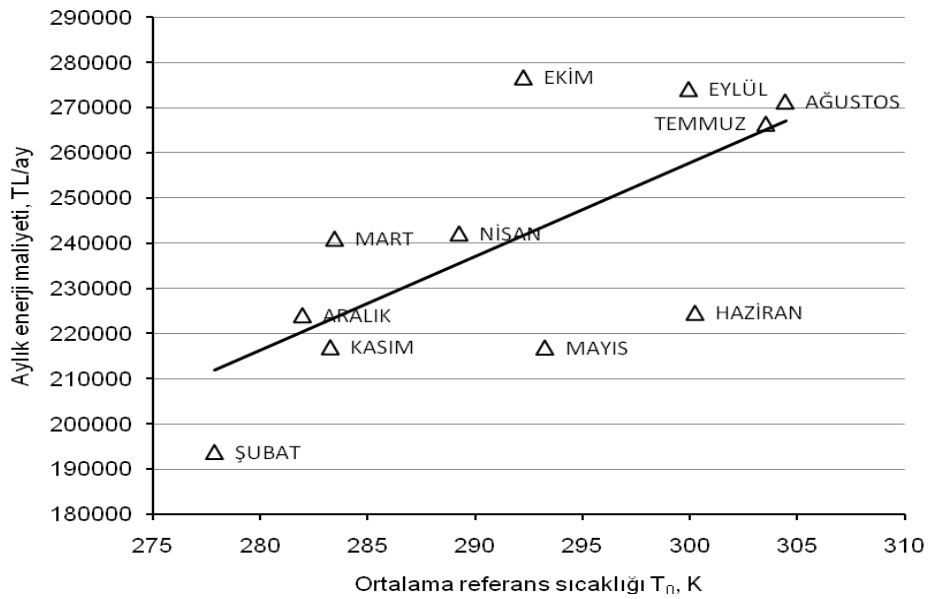
AYLAR	Ortalama Referans Sıcaklığı T ₀ , K	Ortalama Kütleli Debi, kg/dak.	Ortalama Tersinmezlik, kW	Ortalama Güç, kW	Ortalama Günlük Enerji Tüketimi, kWh	Aylık Enerji Tüketimi, kWh	Günlük Elektrik Maliyeti, TL/gün	Aylık Elektrik Maliyeti, TL/ay	Ortalama Günlük Üretim, varil/gün	Birim Petrol Üretimi Başına Komp. Sistemi Enerji Maliyeti, TL/varil	Birim Üretim Başına Maliyet, TL/varil	Birim Üretim Başına Kompresör Sistemi Enerji Maliyetinin Birim Üretim Başına Maliyete Oranı, %
ŞUBAT	277.85	234.60	355.58	1442	34608	969024	6922	193.805	6199	1.12	25.11	4.5
MART	283.45	285.60	416.92	1620	38880	1205280	7776	241.056	6597	1.18	25.11	4.7
NİSAN	289.25	300.60	446.22	1682	40368	1211040	8074	242.208	7045	1.15	25.11	4.6
MAYIS	293.25	243.00	355.42	1458	34992	1084752	6998	216.950	7227	0.97	25.11	3.9
HAZİRAN	300.25	268.20	386.81	1560	37440	1123200	7488	224.640	7588	0.99	25.11	3.9
TEMMUZ	303.55	328.20	448.96	1791	42984	1332504	8597	266.501	7593	1.13	25.11	4.5
AĞUSTOS	304.45	339.60	471.48	1824	43776	1357056	8755	271.411	7599	1.15	25.11	4.6
EYLÜL	299.95	361.20	469.18	1904	45696	1370880	9139	274.176	7311	1.25	25.11	5.0
EKİM	292.25	345.00	448.21	1860	44640	1383840	8928	276.768	6976	1.28	25.11	5.1
KASIM	283.25	255.00	347.73	1507	36168	1085040	7234	217.008	6837	1.06	25.11	4.2
ARALIK	281.95	255.00	313.30	1506	36144	1120464	7229	224.093	6232	1.16	25.11	4.6

Şekil 4.36.' da aylara göre ortalama olarak referans sıcaklığı, tersinmezlik ve kütleli debinin değişim dağılımı verilmiştir. Burada görüldüğü üzere, ortalama tersinmezlik değeri bakımından en yüksek değer Ağustos ayında, en düşük değer ise Aralık ayında gerçekleşmiştir. Kütleli debinin en yüksek olduğu ay Eylül ayı, en düşük olduğu ay ise Şubat ayıdır. Referans sıcaklığı bakımından en yüksek ortalama değer Ağustos ayında, en düşük değer ise Şubat ayında tespit edilmiştir.



Şekil 4.36. Aylara göre ortalama referans sıcaklığı, tersinmezlik ve debinin değişimi

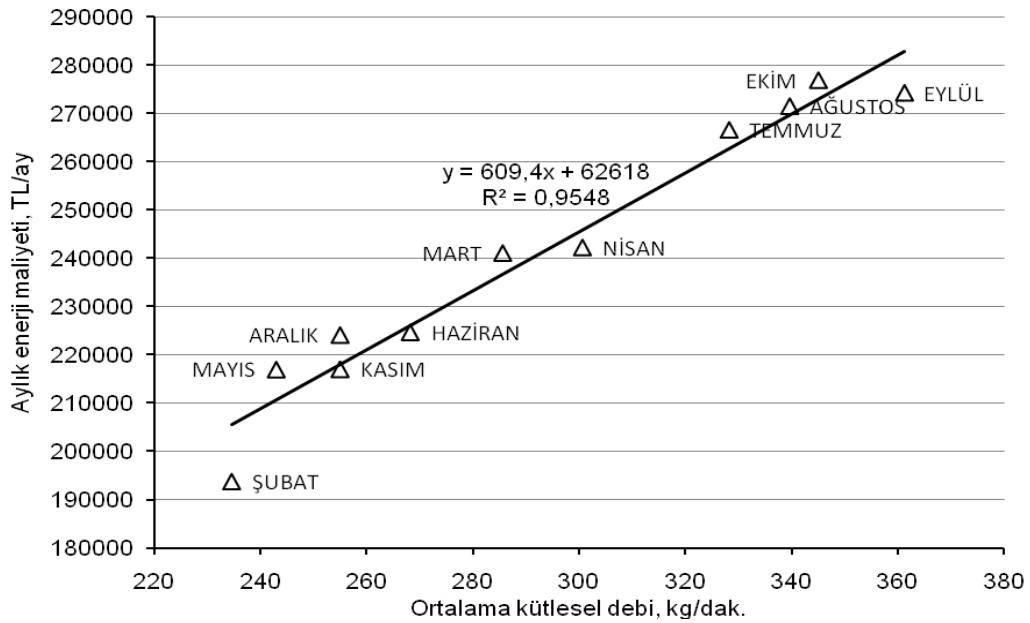
Şekil 4.37.' de görüldüğü üzere aylık ortalama referans sıcaklıklarının artmasına paralel olarak aylık enerji maliyeti artmaktadır. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde; ortalama referans sıcaklığı aylık enerji maliyeti arasında korelasyon katsayısı $r = 0.693$, önem seviyesi $p = 0.018$ ' dir. Bu durum, parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p = 0.018$ seçilen $p = 0.05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır.



Şekil 4.37. Aylara göre ortalama referans sıcaklığı ile aylık enerji maliyetinin değişimi

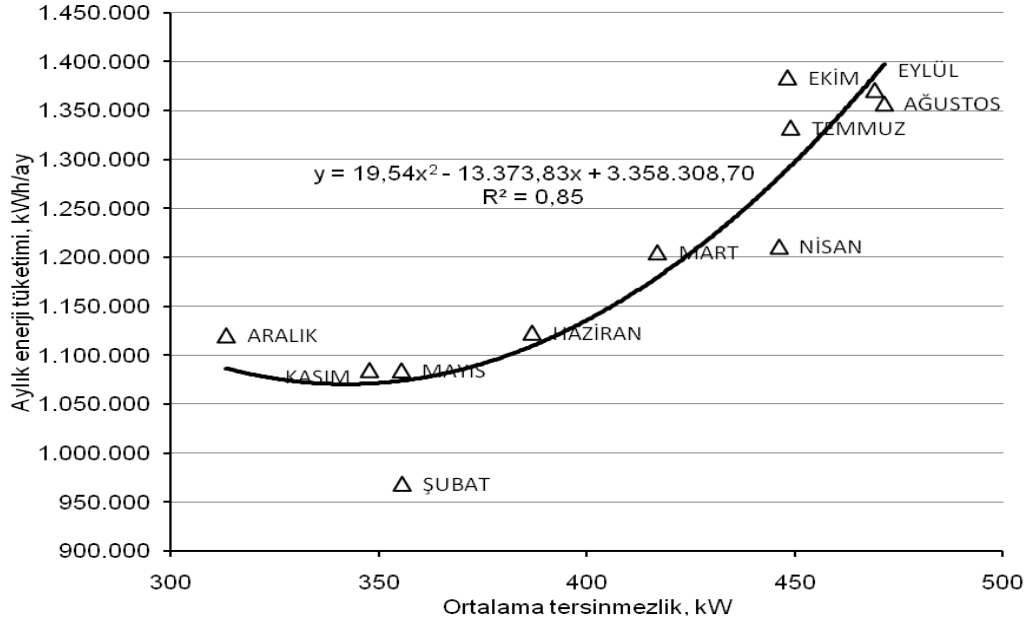
Şekil 4.38.' de aylara göre ortalama kütlelesel debi ile aylık enerji maliyetinin değişimi verilmiştir. Ortalama kütlelesel debinin artması ile birlikte aylık enerji maliyeti de artmaktadır.

Ortalama kütlelesel debi ile aylık enerji maliyeti arasında korelasyon katsayısı $r = 0.977$, önem seviyesi $p=0$ ' dır. Bu durum, parametreler arasında pozitif yüksek bir ilişki olduğunu göstermektedir ve $p=0$ olduğundan ilişki istatistiksel olarak anlamlıdır. $R^2=0.9548$ olması ve 1'e yakın olması grafikteki denklemin uygunluğunu göstermektedir.



Şekil 4.38. Aylara göre ortalama kütlelesel debi ile aylık enerji maliyetinin değişimi

Şekil 4.39.' da görüldüğü üzere aylara göre ortalama tersinmezlik ile kWh olarak aylık enerji tüketimi artmaktadır. İstatistiksel olarak analiz edildiğinde ortalama tersinmezlik ile aylık enerji tüketimi arasında korelasyon katsayısı $r = 0.869$, önem seviyesi $p=0.001$ ' dir. Bu durum, grafikten de görüldüğü üzere parametreler arasında pozitif, önemli bir ilişki olduğunu göstermekte ve $p=0.001$ seçilen $p=0.05$ ' den küçük olduğundan sonuç istatistiksel olarak da anlamlıdır.



Şekil 4.39. Aylara göre ortalama tersinmezlik ile aylık enerji tüketiminin değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, “Dört Kademeli Pistonlu Tip Bir CO₂ Kompresör Sisteminde Enerji ve Ekserji Analizi” kapsamında, TPAO Batman Bölge Batı Raman Sahası AP2 İstasyonu CO₂ Recycle kompresör istasyonunu örnek uygulaması üzerinde durulmuştur.

Sistemde sıcaklık, basınç, güç ve debi çalışma parametrelerinden elde edilen veriler baz alınarak, Termodinamiğin 1. ve 2. yasalarına göre enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Analizler, farklı gün ve çalışma koşullarında, saatlik ölçülen çalışma parametrelerinden elde edilen verilere göre yapılmıştır. Böylece sistemin gerek verimlilik gerek işletme koşulları açısından iyileştirilmesine dönük bir takım sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Kompresör emiş basıncının düşmesi dolayısıyla debinin düşmesi durumunda kısmi yükte çalışma durumu meydana geldiğinden birim kütle başına gerekli kompresör işinin arttığı gözlenmiştir. Bu sebeple kompresörleri kısmi yükte çalıştırmaktan mümkün olduğunca kaçınmak gerekmektedir.
- Kompresör hacimsel debisi ile kompresör işinin değişimi incelendiğinde en fazla işin 3. kademedeki en az işin de 4. kademedeki gerekli olduğu görülmüştür. Çünkü sıkıştırma oranının en az olduğu kademe 4. kademe en fazla olduğu kademe ise 3.kademedir.
- Kompresörde sıkıştırma oranı ile birlikte, birim kütle başına (kJ/kg) gerekli kompresör işi artmaktadır ancak, kompresör gücü (kW) ise azalmaktadır. Kompresör gücünün azalması, emiş basıncının azalmasından yani kütle başına debinin azalmasından kaynaklanmaktadır.

- Kompresörün 1.yasa veriminin kompresör hacimsel debisinin artması ile birlikte arttığı gözlenmiştir. Bu durum tam kapasiteli çalışmaya yaklaşımdan kaynaklanmaktadır.
- Kompresörde adyabatik verimin, emiş basıncının artması ile azaldığı buna karşın sıkıştırma oranının artması ile birlikte arttığı görülmüştür. Sıkıştırma oranının artması ile birlikte verim artmış ancak yüksek sıkıştırma oranlarına erişildikten sonra sabit bir seyir izlemiştir. Bunun nedeni sıkıştırma oranının artması ile birlikte gerçek ve izantropik haldeki sıcaklık değerlerinin birbirine yaklaşmasıdır. Sıkıştırma oranının (P_8/P_1) 60' ı geçmesinden sonra eğri yatay bir seyir izlemiştir.
- Ara soğutucuda havanın kütleli debisi artınca CO₂ giriş ve çıkış sıcaklık farkları artmış buna karşın havanın giriş çıkış sıcaklık farkı azalmıştır. Havanın kütleli debisinin artmasından dolayı gazda sıcaklık farkını artması gazın daha iyi soğutulduğu anlamına gelmektedir.
- Glikol kulesinde gazın basıncının artması paralel olarak glikolün debisi de artmıştır. Gazın basıncının artması debisinin artışını da getirmiştir. Glikol giriş basıncı artmasına bağlı olarak glikol debisi de artış göstermiştir.
- Glikol kulesinde sıcaklık ve basınç farklarının (ΔT ve ΔP) değişimi yaklaşık sabit kaldığında gazın debisinin artması ile birlikte glikolün debisinin de arttığı görülmüştür.
- Kompresörde adyabatik verimin % 75 ile 88 arasında değiştiği görülmüştür. Birinci yasa verimi de ortalama % 78 civarındadır. Dolayısıyla adyabatik verim ve birinci yasa verimi açısından elde edilen sonuçlar tatminkardır.
- Referans sıcaklığının (T_0) artması ile birlikte ikinci yasa verimi azalmıştır. Bu, referans sıcaklığının artması dolayısıyla ekserji değişiminin azalmasından kaynaklanmaktadır. Referans sıcaklığının sabit (25 °C) kabul edilmesi durumunda elde edilen ekserji ve verimlilik değerleri ile referans sıcaklığı olarak saatlik çevre sıcaklık değerlerinin alınması durumunda elde edilen ekserji ve verimlilik değerleri arasında

ciddi bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.2). Buradan referans sıcaklığı seçiminin, sistemin 2.yasa analizinde ciddi bir etkisinin olmadığı sonucuna varabiliriz.

- Kompresörde emiş basıncının artması ile birlikte tersinmezlikler de artmıştır. Bunun sebebi emiş basıncının artması ile birlikte gazın sıkıştırma oranının artması ve dolayısıyla entropi farkındaki artışlardır.
- Kompresörde referans sıcaklığının artması ile tersinmezliğin de arttığı görülmüştür. Yani ortam sıcaklığının azalması tersinmezliği azaltmakta ve ekserji verimini yükseltmektedir.
- Sıkıştırma oranının kompresör ekserji değerleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve sıkıştırma oranı arttıkça ekserjilerde azalma eğilimi olduğu belirlenmiştir.
- Ara soğutucuda kompresörün aksine referans sıcaklığı arttıkça tersinmezliğin azaldığı görülmüştür. Ara soğutucuda emiş sıcaklığı aynı zamanda referans sıcaklığı ($T_{19}=T_0$) olduğundan referans sıcaklığının artması havanın entropi değişiminde ($s_{20}-s_{19}$) azalmaya sebebiyet vermekte böylece tersinmezlik azalmaktadır.
- Glikol kulesinde CO_2 giriş basıncı ile birlikte tersinmezlik artmıştır. Ancak gaz çıkış basıncı yüksek yani basınç kaybı olduğunda ise tersinmezlik azalmıştır. Kuledeki dolgu malzemesi ve filtrelerin (mesh) temiz olması basınç kaybını azaltan önemli bir faktördür.
- Glikol kulesinde referans sıcaklığının artması ile birlikte tersinmezlik artmış, ekserji verimi düşmüştür. Yani kompresördeki duruma benzer bir durum söz konusudur.
- Tersinmezlik dağılımı incelendiğinde, tersinmezliğin en fazla gerçekleştiği eleman ortalama % 54 ile kompresörlerdir. Daha sonra % 45 ile ara soğutucular ve % 1 ile glikol kulesi gelmektedir. Buradan açıkça görüldüğü üzere tersinmezliği azaltmaya dönük tedbirler alınırken öncelikle kompresör ve ara soğutuculardan başlamak gerekmektedir. Glikol kulesindeki tersinmezlik ciddi boyutlarda değildir.

- Tersinmezlik oranı en yüksek ekipman kompresör olmasına rağmen, ekserji verimi en yüksek ekipman kompresördür. Daha sonra verimlilik yönünden sırasıyla sistem, ara soğutucu ve glikol kulesi gelmektedir. Ara soğutucu ve glikol kulesinde ekserji verimleri birbirine yakın bulunmuştur.
- Kompresörün verimi, hem birinci hem de ikinci yasa verimi yönünden gayet iyi çıkmıştır. Buna karşın, sistemi daha da verimli çalıştırmanın imkan dahilinde olduğu görülmüştür.
- Ara soğutucularda ciddi tersinmezlikler belirlenmiştir. Ara soğutuculardaki tersinmezlikleri azaltarak ekserji verimini yükseltmek imkan dahilindedir. Havanın debisini ayarlamak için hava damperlerinin yanı sıra değişken devirli fan kullanmak, verim artışına katkı sunacaktır. Havanın kütleli debisinin azalması durumunda hava çıkış sıcaklığı (T_{20}) artacak dolayısıyla birim kütle başına entropi artışı olacaktır. Ancak debinin azalma nispeti, entropinin artış nispetinden fazla olacağından nihayetinde kW cinsinden tersinmezlikte azalma olacaktır.
- Aylık ortalamalara göre değerlendirme yapıldığında, dış ortam sıcaklığının yüksek olduğu yaz aylarında debi değişimi az olmasına rağmen tersinmezlikler yüksek çıkmıştır. Ortalama ortam sıcaklığının en yüksek olduğu Ağustos ayında tersinmezlik de maksimumdur. Referans sıcaklığındaki artış ile birlikte verim düşüp tersinmezlik artacağından bu beklenen bir sonuçtur.
- Kompresörde arıza sıklığının en fazla görüldüğü emiş ve çıkış valfleri aynı zamanda tersinmezliğin de önemli kaynaklarıdır. Valflerde kaçaklar olması, gaz giriş ve çıkış sıcaklığının artmasına neden olur. Valf arızalarını salmastra ve piston ringi arızaları ile unloader, yağlama sistemi, yatak arızaları ile diğer arızalar izlemektedir. Dolayısıyla arızaları azaltmaya dönük koruyucu periyodik bakımlar, plansız duruşları engellediği gibi tersinmezlikleri de önemli oranda azaltacaktır.

- Sistem tek kompresörle çalıştığı zaman, toplam üretim maliyetinin yaklaşık olarak %4.5-%5' ini kompresör sistemi enerji maliyeti oluşturmaktadır.

Sonuç olarak sistemin verimlilik değerlerinin artırılmasına ve iyi işletilmesine dönük tedbirler, enerji tasarrufu sağlamanın yanında plansız duruşlardan kaynaklı üretim kayıplarını da önler. Olabilecek plansız duruşlarda yalnızca petrol üretim kaybı olmaz, bunun yanında bir sera gazı olan CO₂ atmosfere atılmış olur. Gazın kuyulara enjekte edilmeyip atmosfere atılması CO₂ kuyularındaki rezerv ömrünü de kısaltmış olur. Ayrıca önümüzdeki dönemde çevre konusu daha da önem kazanacak ve dolayısıyla küresel ısınmaya sebebiyet veren sera gazlarının atmosfere atılmaması yasal bir gereklilik olacaktır.

Bu çalışma, ileride yapılacak çok kademeli kompresör sistemleri ile ilgili uygulama ve analizlere ışık tutacaktır. Bu çalışmada enerji, ekserji ve verimlilikle ilgili bir takım genel sonuçlara ulaşıldı. Yapılacak olan çalışmalarda oluşan kayıp ve kaçakların gerçekleştiği yerler ve olası sebepler üzerinde durulabilir. Mesela, pistonlu tip bir kompresörde çıkış sıcaklığının yüksek olmasının en önemli nedenlerinden biri olan valf arızaları ve kaçakları önemli bir problemdir. Bunun yanında ana yatak ile biyel kolu yatakları salmastra, yağlama sistemi, gövde soğutma sistemi, piston, gömlek kroshead gibi elemanlardaki arızalar kompresörde ciddi verim ve enerji kayıplarına neden olur. Bu gibi sorunların önlenmesi ve giderilmesine dönük bir takım bakım ve işletme tedbirleri, işletme giderlerini azaltmanın yanında enerji verimliliği de sağlar.

Dolayısıyla ileride yapılacak çalışmalarda gerek kompresör gerek ara soğutucu ve glikol sistemindeki tersinmezliklere daha mikro ölçekte bakarak termoeconomik analizler ve araştırmalar yapmak mümkündür. Bu çalışmada yapılan analizler, bu tür çalışmalara yol gösterici olacaktır.

KAYNAKLAR

- APREA, C., MASTRULLO, R., and RENNO, C., 2008. Determination of The Compressor Optimal Working Conditions. *Applied Thermal Engineering*, 29(10);1991-1997.
- ARORA, A., and KAUSHİK, S.C., 2009. Energy and Exergy Analyses of a Two-Stage Vapour Compression Refrigeration System. *International Journal of Energy Research*, 34(10); 907-923.
- BAYIR, E., 2008. Scroll ve Pistonlu Tip Soğutma Kompresörlerinin Kapasite ve Verimlerinin Çalışma Şartları İle Değişimi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 100s.
- BEDBACK, S.S., and GOPAL, M.R., 2004. Performance Analysis of a Compressor Metal Hydride Cooling System. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30(10); 1127-1137.
- BLOCK, H.P., and HOEFNER, J.J., 1996. *Reciprocating Compressors*. Gulf Professional Publishing Company, Houston TX, 418p.
- BROWN, R.C., 2005. *Compressors Selecting and Sizing*. Gulf Professional Publishing Company, USA.
- BULUT, H., 2008. Isıtma Sezonunda Ofislerde İç Hava Kalitesinin Araştırılması. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 105; 28-37.
- BÜYÜKTÜR, A.R., 1995. *Termodinamik Cilt 1*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 292s.
- ÇENGEL, Y.A., ve BOLES, M.A., 1996. *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*. Literatür Yayıncılık, İstanbul, 867s.
- EKİN, A.B., 2008. Buzdolaplarında Kullanılan Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimlerinin Ekserji Analizi İle İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa, 31s.
- ERSEVER, E., 2008. Vidalı Kompresörlerde Yeni Bir Ayrıştırma Sistemi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 49s.
- GÜLTEKİN, H., 2000. Kompresör Deneyleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s.
- GÜZENGE, O., 2007. Bir Soğu Deposunun Ekserji Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi, İzmir, 46s.
- KARA, Ç., 2003. Kompresörlerde Enerji Geri Kazanım Sistemleri. III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 4-7 Aralık, İzmir, s.319-325.
- KIZILKAN, Ö., 2004. Kompresörlü Soğutma Sistemlerinde Farklı Soğutucu Akışkanlar için Aşırı Kızdırma ve Aşırı Soğutma Etkisinin Termoekonomik Yönden İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 117s.
- KIZILKAN, Ö., 2008. Alternatif Soğutucu Akışkanlı Değişken Hızlı Kompresörlü Bir Soğutma Sisteminin Teorik ve Deneysel İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 112s.
- KÜRÜMOĞLU, Ö., 1987. Hava kompresörleri. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s.
- MCGOVERN, J.A., and HARTE, S., 1994. An Exergy Method for Compressor Performance Analysis. *International Journal of Refrigeration*, 18(6);421-433.

- MOHAMAD, A.S., 2009. Natural Gas Dehydration using Triethylene Glycol (TEG). Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering University Malaysia Pahang, Bachelor of Science, 36p.
- ROMEO, L.M., BOLEA, I., LARA, Y., and ESCOSA, J.M., 2008. Optimization of Intercooling Compression in CO₂ Capture Systems. *Applied Thermal Engineering*, 29(8-9); 1744-1751.
- OLCAYER, A., 2005. İki Kademeli NH₃- H₂O Akışkanlı Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde Performans ve Ekserji Analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 97s.
- ÖZDEMİR, A.R., 2007. Hermetik Kompresör Bileşenleri Arasındaki Isı Geçişinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 121s.
- ÖZKAYMAK, M., 2001. Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Sisteminin Tersinmezliklerinin Belirlenmesi. *Teknoloji*, 1(2);41-46.
- PHILLIPPI, G., 2004. Basic Thermodynamics of Reciprocating Compression. <http://www.arielcorp.com>
- SARKAR, J., 2009. Second Law Analysis of Supercritical CO₂ Recompression Brayton Cycle. *Energy*, 34(9);1172-1178.
- STOUFFS, P., TAZEROUT, M., and WAUTERS, P., 1999. Thermodynamic Analysis of Reciprocating Compressors. *International Journal of Thermal Sciences*, 40(1);52-66.
- SURI, R., 2009. CO₂ Compression for Capture-Enabled Power Systems. Massachusetts Institute of Technology, Department Chemical Engineering, Master of Science, USA, 185p.
- ŞAHİN, S., 1990. Petrol Üretim Sistemleri ve Operasyonları. T.P.A.O. Batman Bölge Müdürlüğü, Batman.
- TANNEBERGER, F.J., and FELDMANN, J.L., 1983. Compression of Wet CO₂ in Reciprocating Compressors, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 5-8 October 1983, San Francisco, California.
- TARİ, J., 2007. Cameron Cooper Superior Kompresörleri ve T.P.A.O. Uygulamaları. Endüstride Basınçlı Hava, Kompresörler ve Pnömatik Sistemler Kursu, 15-19 Ocak, Batman.
- TURGUT, E.T., 2003. Uçaklarda Eksenel Akışlı Kompresörlerin Boyutlandırılması ve Ön Tasarım İçin Bir Yazılım. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 164s.
- YUMRUTAŞ, R., KUNDUZ, M., and KANOGLU, M., 2002. Exergy Analysis of Vapor Compression Refrigeration Systems. *Exergy*, 2(4);266-272.
- ZUBAIR, S.M., YAKUB, M., and KHAN, S.H., 1996. Second-Law-Based Thermodynamic Analysis of Two-Stage and Mechanical-Subcooling Refrigeration Cycles. *International Journal of Refrigeration*, 19(8);506-516.

ÖZGEÇMİŞ

04/01/1974 tarihinde Malatya'nın Akçadağ ilçesinde doğdu. 1981 – 1986 tarihleri arasında ilköğretimini Akçadağ Kepez İlkokulu'nda yaptı. Ortaokul eğitimini 1986-1989 tarihleri arasında Akçadağ Kepez Lisesi'nde ve lise eğitimini 1989 – 1992 tarihleri arasında Malatya Fen Lisesi'nde yaptıktan sonra lisans eğitimini 1992 – 1997 tarihleri arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yaptı. 1997-2003 tarihleri arasında özel sektörde çalıştıktan sonra 2003-2005 tarihleri arasında Harran Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda makine mühendisi olarak çalıştı. 2005 yılında Harran Üniversitesi'ndeki görevinden ayrılarak TPAO Batman Bölge Üretim Müdürlüğü bünyesinde çalışmaya başladı. Halen TPAO'daki görevini ve Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.

EKLER

EK-1. B Kompresöründe 12 Aralık 2010 Tarihinde Okunan veriler ve İş Hesabı Tablosu (n= 1.268 ve R=0.1889 alınmıştır.)

SAAT	1.KADEME					2.KADEME					3.KADEME					4.KADEME					TOPLAM İŞ Wk (kJ/kg)	Hacimsel Debi MMSCFD	KÜTLESEL DEBİ kg/s	KOMPRESÖR GÜCÜ (kW)	Elektrik Motoru gücü (Okunan) (kW)	V (kV)	I AMPER	VERİM %
	EMİŞ		ÇIKIŞ		İŞ Wk,1 (kJ/kg)	EMİŞ		ÇIKIŞ		İŞ Wk,2 (kJ/kg)	EMİŞ		ÇIKIŞ		İŞ Wk,3 (kJ/kg)	EMİŞ		ÇIKIŞ		İŞ Wk,4 (kJ/kg)								
	P ₁ psig	T ₁ °C	P ₂ psig	T ₂ °C		P ₃ psig	T ₃ °C	P ₄ psig	T ₄ °C		P ₅ psig	T ₅ °C	P ₆ psig	T ₆ °C		P ₇ psig	T ₇ °C	P ₈ psig	T ₈ °C									
00:00	18	24	53	106	68.09	50	23	156	111	71.96	151	20	489	116	73.86	483	43	1211	132	60.59	274.51	6.35	3.80	1044.39	1366.20	6.68	123	76.45
01:00	21	24	60	106	65.98	57	22	170	109	68.53	165	21	519	114	72.05	512	46	1220	128	57.46	264.02	6.97	4.18	1102.56	1351.03	6.66	122	81.61
02:00	20	24	59	106	68.23	56	23	169	109	69.60	164	21	515	114	71.93	508	46	1221	128	58.09	267.84	6.76	4.05	1084.83	1412.74	6.69	127	76.79
03:00	20	23	59	107	68.00	56	22	169	109	69.36	164	20	517	115	71.96	510	46	1227	130	58.16	267.48	6.76	4.05	1083.35	1360.06	6.65	123	79.65
04:00	17	24	53	109	72.15	50	23	154	111	71.04	150	19	481	115	72.92	475	44	1195	132	61.03	277.14	6.14	3.68	1019.53	1358.02	6.64	123	75.07
05:00	18	23	55	107	70.48	52	23	159	111	70.53	154	19	494	115	72.94	488	44	1198	131	59.25	273.20	6.35	3.80	1039.40	1360.06	6.65	123	76.42
06:00	18	23	55	107	70.48	52	22	159	111	70.29	154	19	494	115	72.94	488	43	1199	131	59.12	272.83	6.35	3.80	1038.02	1358.02	6.64	123	76.44
07:00	18	23	55	108	70.48	52	22	159	111	70.29	154	18	494	116	72.69	488	43	1199	131	59.12	272.58	6.35	3.80	1037.07	1360.06	6.65	123	76.25
08:00	18	23	55	107	70.48	52	23	159	112	70.53	154	18	495	116	72.83	488	45	1206	131	59.92	273.76	6.35	3.80	1041.55	1380.10	6.64	125	75.47
09:00	20	23	59	108	68.00	56	24	169	111	69.83	164	19	517	115	71.71	510	46	1213	129	57.32	266.87	6.76	4.05	1080.89	1371.12	6.65	124	78.83
10:00	20	25	59	108	68.46	56	24	170	111	70.25	165	19	518	114	71.42	511	46	1217	128	57.42	267.55	6.76	4.05	1083.66	1378.02	6.63	125	78.64
11:00	19	23	57	107	69.18	54	23	163	109	69.62	158	20	506	112	73.07	499	43	1201	130	57.64	269.51	6.55	3.92	1057.66	1433.27	6.58	131	73.79
12:00	21	23	61	107	66.91	57	23	173	110	70.00	167	21	528	114	72.41	521	48	1213	129	56.13	265.46	6.97	4.18	1108.58	1415.68	6.60	129	78.31
13:00	20	23	59	107	68.00	56	22	168	111	68.95	163	22	516	114	72.75	509	43	1218	130	57.22	266.91	6.76	4.05	1081.07	1444.16	6.63	131	74.86
14:00	19	23	56	108	67.93	53	22	162	111	70.26	157	20	503	115	73.10	496	46	1217	131	59.59	270.89	6.55	3.92	1063.08	1371.12	6.65	124	77.53
15:00	19	23	57	108	69.18	54	22	168	111	71.51	163	18	515	115	71.63	508	45	1214	131	57.49	269.81	6.55	3.92	1058.85	1304.77	6.65	118	81.15
16:00	20	24	59	107	68.23	56	23	169	109	69.60	164	19	527	115	73.06	520	45	1210	128	55.57	266.46	6.76	4.05	1079.23	1380.10	6.64	125	78.20
17:00	20	24	59	107	68.23	56	23	170	109	70.02	165	20	522	114	72.21	515	43	1218	128	56.38	266.83	6.76	4.05	1080.75	1377.30	6.68	124	78.47
18:00	20	23	59	107	68.00	56	23	170	110	70.02	165	21	523	113	72.59	516	43	1220	128	56.36	266.97	6.76	4.05	1081.28	1466.21	6.63	133	73.75
19:00	21	23	61	108	66.91	57	24	172	110	69.83	167	22	530	113	72.93	523	43	1228	128	55.86	265.53	6.97	4.18	1108.87	1452.99	6.62	132	76.32
20:00	22	24	63	108	66.14	59	22	177	109	68.95	171	23	539	113	72.69	532	43	1228	128	54.64	262.42	7.18	4.30	1128.88	1397.96	6.62	127	80.75
21:00	22	24	63	107	66.14	60	23	178	109	68.39	173	22	539	113	71.62	532	42	1227	127	54.41	260.56	7.18	4.30	1120.90	1413.22	6.64	128	79.32
22:00	22	23	63	107	65.91	60	24	178	109	68.62	172	21	538	112	71.65	531	42	1228	127	54.61	260.80	7.18	4.30	1121.92	1397.42	6.67	126	80.28
23:00	22	24	63	107	66.14	60	25	178	110	68.86	173	20	538	112	71.00	531	42	1228	127	54.61	260.60	7.18	4.30	1121.06	1423.86	6.69	128	78.73

EK-2. B Kompresöründe 12 Kasım 2010 Tarihinde Okunan veriler ve Adyabatik Verim Tablosu (n= 1.268; C_{po,ort}=0.895)

SAAT	1.KADEME							2.KADEME							3.KADEME							4.KADEME							Verim η (%)
	EMİŞ		ÇIKIŞ			w _s kj/kg	w kj/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ			w _s kj/kg	w kj/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ			w _s kj/kg	w kj/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ			w _s kj/kg	w kj/kg	
	P ₁	T ₁	P ₂	T ₂	T _{2s}			P ₃	T ₃	P ₄	T ₄	T _{4s}			P ₅	T ₅	P ₆	T ₆	T _{6s}			P ₇	T ₇	P ₈	T ₈	T _{8s}			
	psig	°C	psig	°C	°C	psig	°C	psig	°C	°C	psig	°C	psig	°C	°C	psig	°C	psig	°C	°C	psig	°C	psig	°C	°C				
00:00	20	25	59	110	101.59	68.55	76.08	57	27	167	116	103.56	68.52	79.66	161	25	511	120	107.43	73.78	85.03	504	42	1208	128	105.95	57.24	76.97	84.38
01:00	22	24	61	110	95.48	63.97	76.97	58	27	173	116	104.99	69.80	79.66	167	25	530	120	107.43	73.77	85.03	523	44	1230	127	106.83	56.23	74.29	83.49
02:00	23	24	65	109	96.97	65.30	76.08	62	26	182	115	102.46	68.43	79.66	176	24	547	119	104.48	72.03	85.03	540	45	1235	125	105.79	54.40	71.60	83.29
03:00	23	24	65	109	96.97	65.30	76.08	61	26	183	115	104.19	69.98	79.66	176	24	552	121	105.20	72.68	86.82	545	47	1240	125	107.75	54.37	69.81	83.99
04:00	23	25	65	108	98.21	65.52	74.29	62	26	183	116	102.89	68.82	80.55	177	25	555	121	106.46	72.90	85.92	547	48	1245	126	108.97	54.57	69.81	84.30
05:00	24	24	66	108	94.84	63.40	75.18	62	27	185	116	105.02	69.83	79.66	178	25	558	120	106.44	72.89	85.03	550	48	1254	127	109.11	54.69	70.71	83.98
06:00	24	25	65	109	94.89	62.55	75.18	62	27	183	113	104.15	69.05	76.97	177	26	552	122	107.29	72.76	85.92	544	48	1250	127	109.74	55.26	70.71	84.08
07:00	24	26	65	109	96.12	62.76	74.29	62	26	181	113	102.02	68.04	77.87	175	26	548	123	107.62	73.05	86.82	541	47	1244	127	108.61	55.14	71.60	83.39
08:00	23	26	65	110	99.46	65.74	75.18	62	28	181	114	104.53	68.49	76.97	175	26	544	123	107.03	72.53	86.82	537	47	1229	125	108.23	54.80	69.81	84.71
09:00	23	26	64	110	98.24	64.65	75.18	61	28	180	114	105.39	69.26	76.97	174	25	541	125	105.78	72.30	89.50	534	47	1228	125	108.61	55.14	69.81	83.91
10:00	20	27	59	112	104.11	69.01	76.08	56	28	168	119	106.71	70.45	81.45	163	27	512	126	109.15	73.52	88.61	506	47	1123	130	105.76	52.59	74.29	82.88
11:00	20	26	59	112	102.85	68.78	76.97	56	29	167	119	107.49	70.25	80.55	162	27	510	126	109.33	73.68	88.61	504	47	1222	130	112.91	58.99	74.29	84.80
12:00	21	27	61	113	102.88	67.91	76.97	58	29	174	123	107.97	70.68	84.13	168	28	527	125	110.31	73.67	86.82	520	48	1237	131	112.56	57.78	74.29	83.81
13:00	21	28	60	113	102.81	66.96	76.08	57	30	172	124	109.71	71.34	84.13	166	27	519	126	108.77	73.18	88.61	512	48	1235	132	113.69	58.79	75.18	83.42
14:00	25	27	70	113	99.97	65.31	76.97	66	30	193	122	107.17	69.07	82.34	186	26	563	127	104.90	70.62	90.40	556	50	1250	127	110.35	54.01	68.92	81.29
15:00	25	27	70	113	99.97	65.31	76.97	66	30	194	122	107.59	69.44	82.34	187	27	569	126	106.59	71.23	88.61	562	50	1253	126	109.68	53.41	68.02	82.10
16:00	21	26	59	113	98.99	65.33	77.87	56	29	170	122	108.93	71.54	83.24	165	26	520	125	108.14	73.51	88.61	513	47	1237	127	112.46	58.58	71.60	83.71
17:00	18	26	53	111	102.70	68.65	76.08	51	27	155	118	106.49	71.14	81.45	150	26	476	124	108.70	74.01	87.71	470	43	1190	131	111.59	61.39	78.76	84.94
18:00	22	25	61	112	96.72	64.19	77.87	58	28	174	118	106.71	70.45	80.55	168	26	532	123	108.53	73.86	86.82	525	44	1239	127	107.11	56.48	74.29	82.93
19:00	26	26	71	111	96.76	63.33	76.08	67	28	196	119	104.69	68.64	81.45	189	26	577	122	105.59	71.23	85.92	571	44	1254	123	101.37	51.35	70.71	81.03
20:00	25	25	71	110	98.60	65.87	76.08	67	27	197	119	103.85	68.78	82.34	191	25	577	123	103.48	70.24	87.71	570	44	1251	123	101.32	51.30	70.71	80.86
21:00	25	25	71	110	98.60	65.87	76.08	68	27	197	120	102.67	67.72	83.24	191	25	578	122	103.62	70.36	86.82	571	45	1251	123	102.36	51.34	69.81	80.81
22:00	26	25	72	109	96.62	64.10	75.18	68	27	198	118	103.07	68.08	81.45	191	25	578	122	103.62	70.36	86.82	571	45	1255	122	102.62	51.57	68.92	81.35
23:00	28	25	75	109	94.03	61.78	75.18	71	26	203	117	100.37	66.56	81.45	196	26	591	121	104.60	70.34	85.03	583	43	1265	121	99.24	50.33	69.81	79.95

EK-3. B Kompresöründe 20 Ekim 2010 Tarihinde Okunan Veriler ile Tersinmezlik, Adyabatik ve Yararlı İş Hesabı Tablosu (R=0.1889; Cpo=0.895)

SAAT	1.KADEME						2.KADEME						3.KADEME						4.KADEME						Tersinmezlik Komp. kW	To °C	Sistemin Toplam Tersinmezliği kW				
	EMİŞ		ÇIKIŞ		i kJ/kg	w _{tr} kJ/kg	w _y kJ/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ		i kJ/kg	w _{tr} kJ/kg	w _y kJ/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ		i kJ/kg	w _{tr} kJ/kg	w _y kJ/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ				i kJ/kg	w _{tr} kJ/kg	w _y kJ/kg	
	P ₁ psig	T ₁ °C	P ₂ psig	T ₂ °C				P ₃ psig	T ₃ °C	P ₄ psig	T ₄ °C				P ₅ psig	T ₅ °C	P ₆ psig	T ₆ °C				P ₇ psig	T ₇ °C	P ₈ psig							T ₈ °C
00:00	37	27	95	111	12.52	-62.66	-75.18	92	33	246	118	9.82	-66.26	-76.08	239	32	648	120	11.24	-67.52	-78.76	638	45	1191	104	10.06	-67.52	-77.58	270.12	19.9	476.48
01:00	36	28	93	112	11.83	-63.35	-75.18	90	33	240	119	10.49	-66.48	-76.97	233	32	642	119	9.55	-68.31	-77.87	632	45	1180	104	9.92	-68.31	-78.23	253.45	16.0	474.86
02:00	35	28	91	111	10.78	-63.50	-74.29	88	32	235	117	9.92	-66.15	-76.08	229	31	636	117	8.63	-68.34	-76.97	627	44	1189	105	10.55	-68.34	-78.89	236.81	15.4	451.54
03:00	37	28	95	112	12.13	-63.05	-75.18	91	32	250	115	7.04	-67.24	-74.29	243	31	654	116	9.67	-66.40	-76.08	641	43	1201	105	12.01	-66.40	-78.42	252.89	15.2	483.56
04:00	36	26	93	111	12.83	-63.25	-76.08	90	32	242	114	7.54	-65.85	-73.39	235	30	644	115	8.86	-67.21	-76.08	632	42	1197	105	12.23	-67.21	-79.44	251.34	14.8	474.02
05:00	34	26	88	111	12.67	-63.40	-76.08	85	32	229	113	6.74	-65.76	-72.50	223	30	612	114	8.09	-67.09	-75.18	601	41	1178	105	11.13	-67.09	-78.23	224.48	13.6	437.72
06:00	33	27	86	112	12.13	-63.95	-76.08	83	32	226	113	6.17	-66.33	-72.50	220	30	607	115	8.47	-67.60	-76.08	597	41	1179	106	11.42	-67.60	-79.02	217.12	14.0	427.86
07:00	33	28	87	111	10.01	-64.27	-74.29	83	33	229	116	6.62	-67.66	-74.29	223	31	617	118	9.48	-68.38	-77.86	606	42	1184	109	13.26	-68.38	-81.64	223.89	15.0	442.26
08:00	38	28	98	112	11.99	-63.19	-75.18	94	34	253	116	7.20	-66.19	-73.39	247	31	673	118	10.41	-67.45	-77.87	661	48	1200	107	11.14	-67.45	-78.59	257.48	17.6	486.96
09:00	36	28	94	113	12.08	-63.99	-76.08	90	34	244	120	9.54	-67.43	-76.97	238	32	654	122	11.84	-68.71	-80.55	642	49	1195	111	11.78	-68.71	-80.49	274.25	20.0	494.56
10:00	35	29	92	113	10.99	-64.19	-75.18	89	35	241	120	8.87	-67.20	-76.08	235	33	649	122	10.85	-68.81	-79.66	637	49	1194	111	11.54	-68.81	-80.35	250.87	24.0	450.78
11:00	32	28	86	113	10.72	-65.36	-76.08	83	36	228	122	8.62	-68.35	-76.97	222	34	619	125	11.55	-69.90	-81.45	609	49	1173	113	11.49	-69.90	-81.39	235.66	26.5	418.78
12:00	33	29	87	113	10.93	-64.25	-75.18	84	36	230	122	8.82	-68.15	-76.97	224	34	619	124	11.40	-69.15	-80.55	609	49	1172	113	11.56	-69.15	-80.71	242.82	26.9	425.74
13:00	37	29	96	113	11.92	-63.26	-75.18	93	36	250	125	11.98	-67.67	-79.66	244	34	661	127	14.65	-68.58	-83.24	650	50	1180	112	13.43	-68.58	-82.02	321.77	29.1	512.17
14:00	37	28	96	114	13.51	-63.46	-76.97	92	36	251	125	11.13	-68.52	-79.66	245	33	664	128	16.18	-68.85	-85.03	652	51	1181	112	12.72	-68.85	-81.57	331.41	29.0	528.00
15:00	37	28	96	114	13.55	-63.42	-76.97	92	35	251	125	12.04	-68.51	-80.55	245	33	664	128	16.23	-68.80	-85.03	652	51	1181	112	12.76	-68.80	-81.56	337.83	29.9	534.95
16:00	38	28	99	114	13.27	-63.70	-76.97	95	35	258	126	12.94	-68.50	-81.45	252	33	675	128	16.84	-68.18	-85.03	663	51	1187	111	12.68	-68.18	-80.86	352.35	28.9	555.02
17:00	38	27	99	114	14.11	-63.76	-77.87	96	34	259	126	14.13	-68.21	-82.34	253	34	675	128	16.11	-68.02	-84.13	663	51	1189	110	11.82	-68.02	-79.84	355.11	27.5	561.32
18:00	38	28	99	113	12.42	-63.65	-76.08	96	34	259	126	14.03	-68.31	-82.34	253	33	679	128	16.53	-68.50	-85.03	666	50	1192	109	11.97	-68.50	-80.47	347.65	25.2	563.05
19:00	38	27	100	112	12.00	-64.07	-76.08	96	33	260	125	13.95	-68.39	-82.34	254	32	682	127	16.64	-68.38	-85.03	670	50	1198	107	10.58	-68.38	-78.97	336.15	24.0	548.70
20:00	36	28	97	110	8.37	-65.02	-73.39	93	34	247	123	12.79	-66.86	-79.66	242	32	651	125	15.14	-68.09	-83.24	640	50	1182	108	9.43	-68.09	-77.52	277.31	22.8	485.06
21:00	36	28	96	109	8.27	-64.23	-72.50	92	35	243	122	11.58	-66.29	-77.87	237	32	647	125	14.33	-68.91	-83.24	635	48	1182	107	9.94	-68.91	-78.85	267.50	23.0	474.56
22:00	34	27	88	110	11.46	-62.83	-74.29	85	34	230	120	9.70	-67.27	-76.97	224	32	613	122	12.13	-68.42	-80.55	602	48	1157	107	8.12	-68.42	-76.54	240.85	21.6	437.88
23:00	40	27	100	111	14.05	-61.13	-75.18	97	32	264	119	10.41	-67.46	-77.86	257	32	686	120	12.16	-66.60	-78.76	676	46	1185	109	16.24	-66.60	-82.85	347.44	21.1	565.78

EK-4. B Kompresörü Ara Soğutucusunda 12 Eylül 2010 Tarihinde Okunan veriler ile Tersinmezlik ve Debi Hesabı Tablosu

SAAT																					Tersinmezlik (Soğutucu) kW	Hacimsel Debi (CO ₂) MMSCFD	Kütlesel Debi (CO ₂) kg/s	Kütlesel Debi (Hava) kg/s					
	P ₉ psig	T ₉ °C	P ₁₀ psig	T ₁₀ °C	Δs kj/kg.K	P ₁₁ psig	T ₁₁ °C	P ₁₂ psig	T ₁₂ °C	Δs kj/kg.K	P ₁₃ psig	T ₁₃ °C	P ₁₄ psig	T ₁₄ °C	Δs kj/kg.K	P ₁₇ psig	T ₁₇ °C	P ₁₈ psig	T ₁₈ °C	Δs kj/kg.K					P ₁₉ psig	T ₁₉ °C	P ₂₀ psig	T ₂₀ °C	Δs kj/kg.K
00:00	100	111	95	37	-0.182	257	125	249	37	-0.218	660	125	648	45	-0.197	1167	102	1164	37	-0.170	13.7	24.8	13.7	51	0.085	221.07	10.55	6.32	65.96
01:00	101	110	96	37	-0.180	257	125	249	38	-0.215	660	125	648	45	-0.197	1168	102	1165	37	-0.170	13.7	22.8	13.7	50	0.088	235.45	10.97	6.57	65.63
02:00	100	109	95	36	-0.180	250	124	243	37	-0.216	650	124	639	44	-0.198	1165	101	1162	36	-0.170	13.7	21.6	13.7	50	0.092	227.66	10.76	6.45	61.66
03:00	100	111	95	36	-0.185	245	124	237	36	-0.218	640	123	629	43	-0.199	1164	103	1161	38	-0.169	13.7	23.2	13.7	51	0.090	222.09	10.55	6.32	62.37
04:00	98	109	94	35	-0.185	240	123	232	35	-0.218	630	122	618	42	-0.199	1162	102	1159	38	-0.167	13.7	21.8	13.7	50	0.092	215.34	10.34	6.20	59.87
05:00	96	109	92	35	-0.185	240	123	232	34	-0.221	621	121	610	42	-0.197	1158	101	1155	37	-0.167	13.7	19.8	13.7	49	0.095	214.93	10.12	6.06	56.59
06:00	92	110	88	35	-0.187	237	122	229	35	-0.216	618	121	607	42	-0.197	1156	101	1153	36	-0.170	13.7	20	13.7	49	0.095	215.05	10.11	6.06	56.92
07:00	92	109	88	36	-0.181	235	123	227	35	-0.218	615	121	604	41	-0.200	1153	103	1150	39	-0.166	13.7	19.8	13.7	48	0.092	215.64	9.91	5.94	57.19
08:00	103	112	98	39	-0.179	264	129	256	40	-0.218	677	129	665	48	-0.198	1167	104	1164	39	-0.169	13.7	25	13.7	54	0.093	232.88	10.97	6.57	62.17
09:00	104	113	99	39	-0.181	266	130	257	40	-0.220	681	130	669	50	-0.195	1169	103	1166	39	-0.166	13.7	28.8	13.7	56	0.087	223.05	10.97	6.57	66.28
10:00	104	114	99	39	-0.183	267	130	258	40	-0.220	681	130	669	51	-0.192	1169	104	1166	38	-0.172	13.7	32	13.7	59	0.085	209.92	10.97	6.57	67.20
11:00	90	115	86	41	-0.181	237	135	229	42	-0.225	627	133	616	53	-0.193	1156	108	1153	40	-0.175	13.7	35	13.7	59	0.075	191.57	9.70	5.81	67.93
12:00	90	116	86	41	-0.183	237	136	229	41	-0.230	625	132	614	54	-0.188	1155	109	1152	42	-0.172	13.7	36.6	13.7	60	0.073	187.86	9.70	5.81	69.67
13:00	92	119	87	40	-0.191	240	132	232	43	-0.216	633	135	621	52	-0.200	1158	110	1155	43	-0.172	13.7	36.8	13.7	61	0.076	191.64	9.70	5.81	68.01
14:00	93	117	88	41	-0.183	242	138	234	43	-0.229	636	134	624	54	-0.192	1158	111	1155	45	-0.168	13.7	37.4	13.7	63	0.080	193.95	9.91	5.94	65.48
15:00	94	118	89	42	-0.183	244	138	236	43	-0.229	638	134	626	54	-0.192	1158	112	1155	45	-0.171	13.7	37.4	13.7	63	0.080	195.46	9.91	5.94	65.68
16:00	98	119	93	43	-0.183	260	139	252	42	-0.234	653	134	641	56	-0.187	1168	111	1165	43	-0.174	13.7	37	13.7	62	0.078	206.43	10.34	6.20	70.40
17:00	94	118	89	43	-0.180	245	138	237	42	-0.232	636	133	624	56	-0.185	1156	113	1153	44	-0.176	13.7	36.2	13.7	61	0.078	202.19	9.91	5.94	67.59
18:00	93	118	88	42	-0.183	242	136	234	42	-0.227	633	132	622	52	-0.194	1151	112	1148	44	-0.173	13.7	35.1	13.7	60	0.078	202.77	9.91	5.94	67.53
19:00	92	117	87	40	-0.186	240	135	232	40	-0.231	630	130	619	50	-0.195	1142	110	1139	41	-0.177	13.7	32.7	13.7	58	0.080	206.50	9.91	5.94	67.09
20:00	92	116	87	40	-0.184	242	134	234	39	-0.231	634	129	622	49	-0.195	1138	109	1135	41	-0.175	13.7	30.9	13.7	57	0.083	208.93	9.91	5.94	64.63
21:00	100	115	95	39	-0.185	260	129	252	39	-0.221	662	128	649	50	-0.190	1147	105	1144	38	-0.174	13.7	31.4	13.7	57	0.081	211.22	10.76	6.45	69.75
22:00	102	115	97	38	-0.188	262	130	254	38	-0.226	670	128	657	49	-0.193	1144	104	1141	38	-0.172	13.7	28.2	13.7	56	0.089	215.98	10.55	6.32	63.58
23:00	100	114	95	38	-0.186	258	129	250	37	-0.227	660	129	648	49	-0.195	1152	103	1149	36	-0.175	13.7	24.6	13.7	53	0.092	229.25	10.55	6.32	62.44

EK-5. B Kompresöründe 28 Ağustos 2010 Tarihinde Okunan veriler ile İş ve 1. Yasa Verimi Hesabı Tablosu (n= 1.268 ve R=0.1889 alınmıştır.)

SAAT	1.KADEME					2.KADEME					3.KADEME					4.KADEME					TOPLAM İş Wk (kJ/kg)	HACİMSEL DEBİ (m ³ /s)	MMİCEL DEBİ (kg/s)	KÜTLESEL DEBİ (kg/s)	KOMPRESÖR GÜCÜ W (kW)	ELEKTRİK MOTORU GÜCÜ (OKUNAN) (kW)	V (kV)	I AMPER	VERİM %
	EMİŞ		ÇIKIŞ		İŞ Wk,1 (kJ/kg)	EMİŞ		ÇIKIŞ		İŞ Wk,2 (kJ/kg)	EMİŞ		ÇIKIŞ		İŞ Wk,3 (kJ/kg)	EMİŞ		ÇIKIŞ		İŞ Wk,4 (kJ/kg)									
	P ₁ psig	T ₁ °C	P ₂ psig	T ₂ °C		P ₃ psig	T ₃ °C	P ₄ psig	T ₄ °C		P ₅ psig	T ₅ °C	P ₆ psig	T ₆ °C		P ₇ psig	T ₇ °C	P ₈ psig	T ₈ °C										
00:00	35	28	93	112	-61.75	88	45	241	132	-67.48	233	41	633	132	-66.04	621	48	1166	108	-40.88	236.15	9.90	5.93	1400.72	1793.63	6.70	161	78.09	
01:00	35	27	94	113	-62.29	89	44	244	131	-67.34	234	42	635	130	-66.17	622	49	1165	107	-40.84	236.64	9.91	5.94	1405.06	1810.49	6.68	163	77.61	
02:00	35	27	92	111	-60.79	88	43	241	132	-67.05	232	41	627	131	-65.66	613	48	1162	107	-41.54	235.04	9.90	5.93	1394.18	1863.25	6.71	167	74.83	
03:00	35	28	93	110	-61.75	88	43	241	132	-67.05	231	41	628	131	-66.09	614	48	1162	106	-41.43	236.32	9.91	5.94	1403.17	1910.72	6.72	171	73.44	
04:00	35	28	93	112	-61.75	89	44	241	133	-66.43	232	40	628	132	-65.56	615	48	1163	107	-41.38	235.12	9.91	5.94	1396.02	1916.17	6.70	172	72.85	
05:00	38	28	98	109	-59.67	93	44	252	130	-66.48	243	40	648	131	-64.47	635	47	1166	105	-39.22	229.83	10.55	6.32	1452.79	1896.72	6.71	170	76.59	
06:00	38	29	98	110	-59.87	94	45	252	131	-65.89	244	41	651	128	-64.72	637	46	1167	105	-38.94	229.41	10.55	6.32	1450.13	1877.20	6.72	168	77.25	
07:00	37	28	97	111	-60.81	92	43	251	130	-66.77	242	42	650	128	-65.41	638	48	1166	106	-39.01	232.01	10.33	6.19	1435.95	1860.47	6.70	167	77.18	
08:00	39	30	101	113	-60.36	97	45	259	132	-65.60	250	43	661	129	-64.46	648	49	1168	104	-38.18	228.60	10.76	6.45	1473.73	1846.57	6.69	166	79.81	
09:00	39	30	101	112	-60.36	96	45	259	135	-66.36	250	42	662	130	-64.37	649	55	1170	108	-38.90	229.99	10.76	6.45	1482.74	1874.32	6.67	169	79.11	
10:00	39	30	101	113	-60.36	96	46	259	134	-66.57	251	43	669	130	-65.05	657	56	1171	113	-38.22	230.20	10.76	6.45	1484.08	1874.41	6.71	168	79.18	
11:00	38	31	100	112	-61.68	95	44	252	137	-64.91	243	43	657	131	-66.10	646	52	1168	114	-38.75	231.45	10.55	6.32	1462.98	1922.09	6.76	171	76.11	
12:00	35	32	91	113	-61.03	86	46	239	136	-68.78	230	44	630	143	-67.28	618	53	1160	113	-41.49	238.59	9.91	5.94	1416.64	1877.13	6.68	169	75.47	
13:00	35	32	92	114	-61.81	88	47	241	139	-67.90	233	44	639	137	-67.37	625	53	1160	114	-40.70	237.78	9.91	5.94	1411.82	1893.89	6.70	170	74.55	
14:00	35	34	92	115	-62.21	87	48	241	140	-68.97	232	45	641	138	-68.13	629	55	1160	117	-40.50	239.82	9.91	5.94	1423.94	1879.94	6.69	169	75.74	
15:00	35	33	93	116	-62.78	87	46	244	142	-69.47	235	49	644	140	-68.37	631	56	1161	116	-40.46	241.08	9.90	5.93	1429.98	1835.45	6.69	165	77.91	
16:00	37	33	98	115	-62.55	93	46	256	143	-68.07	247	48	667	143	-67.06	653	60	1165	115	-38.75	236.43	10.33	6.19	1463.32	1843.81	6.68	166	79.36	
17:00	37	32	98	115	-62.34	94	47	254	143	-66.90	246	47	661	142	-66.48	648	58	1163	114	-38.94	234.66	10.33	6.19	1452.38	1829.78	6.71	164	79.37	
18:00	37	31	98	114	-62.14	93	46	254	142	-67.48	246	47	663	140	-66.70	650	57	1162	113	-38.55	234.88	10.33	6.19	1453.70	1841.03	6.63	167	78.96	
19:00	37	30	98	114	-61.94	93	45	254	142	-67.27	245	46	662	141	-66.69	647	56	1162	113	-38.76	234.65	10.32	6.18	1450.90	1832.70	6.68	165	79.17	
20:00	34	30	91	113	-62.67	86	44	239	137	-68.35	230	45	629	135	-67.37	616	51	1159	110	-41.41	239.80	9.70	5.81	1393.67	1810.49	6.68	163	76.98	
21:00	37	28	96	113	-60.09	90	43	250	134	-68.10	242	45	650	133	-66.03	638	52	1167	106	-39.56	233.79	10.33	6.19	1446.95	1846.57	6.69	166	78.36	
22:00	37	28	97	112	-60.81	92	42	251	131	-66.56	243	42	658	130	-66.01	646	52	1167	104	-38.69	232.07	10.33	6.19	1436.33	1835.45	6.69	165	78.26	
23:00	37	29	97	111	-61.01	92	41	251	132	-66.35	242	41	652	128	-65.43	639	50	1166	103	-39.15	231.94	10.33	6.19	1435.52	1829.78	6.71	164	78.45	

EK-6. A Kompresörü Ara Soğutucusunda 20 Temmuz 2010 Tarihinde Okunan veriler ile Ekserji ve Ekserji Verimi Hesabı Tablosu

SAAT																									Ekserji verimi (ε), %						
	P ₉ psig	T ₉ °C	P ₁₀ psig	T ₁₀ °C	ψ ₉ kj/kg	ψ ₁₀ kj/kg	P ₁₁ psig	T ₁₁ °C	P ₁₂ psig	T ₁₂ °C	ψ ₁₁ kj/kg	ψ ₁₂ kj/kg	P ₁₃ psig	T ₁₃ °C	P ₁₄ psig	T ₁₄ °C	ψ ₁₃ kj/kg	ψ ₁₄ kj/kg	P ₁₇ psig	T ₁₇ °C	P ₁₈ psig	T ₁₈ °C	ψ ₁₇ kj/kg	ψ ₁₈ kj/kg		P ₁₉ psig	T ₁₉ °C	P ₂₀ psig	T ₂₀ °C	ψ ₁₉ kj/kg	ψ ₂₀ kj/kg
00:00	88	115	84	40	115.1	103.0	233	133	225	42	174.23	158.9	629	137	617	56	231.5	216.9	1240	127	1236	45	267.59	255.57	13.7	26.8	13.7	58	0.00	1.53	26.54
01:00	89	113	85	40	115.6	104.3	233	132	225	42	174.54	159.9	629	136	617	55	232.1	218.1	1240	128	1236	45	269.00	257.18	13.7	28.8	13.7	59	0.00	1.42	26.51
02:00	88	114	85	41	114.8	103.4	232	130	224	42	173.03	158.2	629	134	616	55	230.3	216.1	1240	127	1236	44	266.99	254.73	13.7	25.8	13.7	55	0.00	1.35	25.17
03:00	88	114	84	41	114.7	102.5	233	131	225	41	173.29	158.0	629	135	617	55	230.2	215.7	1240	127	1236	44	266.52	254.09	13.7	25	13.7	54	0.00	1.33	24.51
04:00	88	114	84	40	114.5	101.9	230	130	222	42	171.86	156.4	628	134	616	54	229.1	214.4	1240	127	1236	44	265.47	252.66	13.7	23.2	13.7	54	0.00	1.51	25.50
05:00	86	113	83	40	112.9	101.1	230	130	222	42	171.71	156.2	626	135	614	54	228.9	213.8	1240	124	1236	42	264.43	252.07	13.7	22.6	13.7	54	0.00	1.57	26.26
06:00	83	113	80	40	111.2	99.6	219	129	212	42	169.23	154.5	608	133	596	54	227.6	213.4	1239	126	1235	43	266.02	253.67	13.7	24.6	13.7	55	0.00	1.46	26.09
07:00	82	114	79	41	110.8	99.2	220	128	212	43	169.46	154.9	605	134	593	52	227.9	213.5	1239	128	1235	45	266.94	254.41	13.7	25.4	13.7	55	0.00	1.38	25.33
08:00	93	118	89	42	119.2	107.1	244	133	235	43	177.51	162.6	655	134	642	54	234.1	220.6	1257	126	1253	45	269.58	258.28	13.7	29.2	13.7	58	0.00	1.30	25.30
09:00	90	119	86	42	117.8	105.8	240	134	232	44	177.38	162.9	648	137	636	54	235.2	221.4	1257	127	1253	45	271.07	259.98	13.7	31.3	13.7	59	0.00	1.19	24.88
10:00	88	119	85	43	116.7	105.7	233	136	225	44	176.62	162.1	631	139	619	54	234.9	221.1	1255	129	1251	47	272.50	261.43	13.7	33.1	13.7	60	0.00	1.12	24.65
11:00	85	119	82	44	115.0	104.4	226	137	218	44	175.74	161.4	614	139	601	53	234.5	220.9	1245	132	1241	49	274.14	262.99	13.7	35.5	13.7	63	0.00	1.16	25.58
12:00	87	120	83	46	116.7	105.4	230	140	222	44	177.65	162.9	630	142	618	57	237.0	223.3	1250	130	1246	49	274.44	263.88	13.7	36.3	13.7	64	0.00	1.18	25.27
13:00	93	121	88	48	120.9	109.3	244	141	236	45	181.70	167.2	657	142	645	60	240.1	226.8	1253	130	1249	48	275.38	265.05	13.7	37.6	13.7	66	0.00	1.23	25.81
14:00	89	121	85	48	118.4	107.3	234	141	226	45	179.24	164.6	637	142	625	59	238.3	224.9	1249	132	1245	50	275.61	264.93	13.7	37.6	13.7	67	0.00	1.32	26.76
15:00	89	121	85	50	118.5	107.7	234	141	226	46	179.52	165.2	638	142	625	58	238.8	225.5	1250	133	1246	51	276.48	265.82	13.7	38.6	13.7	68	0.00	1.31	26.82
16:00	84	121	81	49	115.1	104.9	224	137	217	46	176.16	162.9	618	141	606	58	236.9	223.9	1245	134	1241	54	276.64	265.94	13.7	38.9	13.7	68	0.00	1.28	27.16
17:00	95	120	91	48	122.2	111.7	248	126	240	43	179.91	168.8	666	135	652	59	240.0	228.2	1170	128	1166	52	271.75	262.19	13.7	38.9	13.7	68	0.00	1.28	28.14
18:00	91	117	87	48	119.1	109.0	240	137	232	44	180.11	166.6	650	142	638	58	239.9	226.6	1250	131	1246	52	276.01	265.78	13.7	38.5	13.7	67	0.00	1.23	26.64
19:00	90	118	86	48	118.3	107.7	240	137	232	43	179.59	165.7	652	142	640	58	239.2	225.6	1251	133	1247	53	275.36	264.41	13.7	36.7	13.7	66	0.00	1.31	26.61
20:00	90	118	86	46	117.8	106.5	238	136	230	43	177.82	163.3	635	140	623	57	235.5	221.6	1236	132	1232	52	272.21	260.69	13.7	33	13.7	62	0.00	1.30	25.49
21:00	89	117	85	44	116.8	105.4	235	135	227	42	176.59	162.0	635	138	622	56	234.6	220.7	1237	132	1233	51	271.65	259.89	13.7	32	13.7	62	0.00	1.39	26.33
22:00	89	116	85	43	116.1	104.1	234	134	227	41	174.98	159.9	635	139	623	55	232.9	218.0	1238	129	1234	49	268.54	256.50	13.7	27.8	13.7	59	0.00	1.52	26.52
23:00	88	116	85	42	115.4	103.8	233	133	226	41	174.29	159.2	635	138	623	56	232.3	217.6	1238	127	1234	48	267.61	255.81	13.7	27	13.7	59	0.00	1.60	27.43

EK-7. Glikol kulesinde 04 Haziran 2010 Tarihinde Okunan veriler ile Ekserji, Tersinmezlik, 2.Yasa Verimi ve Debi Hesabı Tablosu

SAAT															T ₀ °C	Verim η _{II}	Tersinmezlik kW	HACİMSEL DEBİ (CO ₂) MMSCF/D	KÜTLESEL DEBİ (CO ₂) kg/s	KÜTLESEL DEBİ (Glikol) kg/s
	P ₁₅ psig	T ₁₅ °C	P ₁₆ psig	T ₁₆ °C	Ψ ₁₅ kJ/kg	Ψ ₁₆ kJ/kg	Δs kJ/kg.K	P ₂₁ Bar	T ₂₁ °C	P ₂₂ Bar	T ₂₂ °C	Ψ ₂₁ kJ/kg	Ψ ₂₂ kJ/kg	Δs kJ/kg.K						
00:00	467	48.5	466	52.3	197.76	197.94	0.0109	32.0	65.1	4.4	47.6	9.51	2.75	-0.123	22	0.35	1.65	6.14	3.68	0.28
01:00	521	51.5	520	55.3	202.30	202.55	0.0108	35.6	65.3	4.9	47.9	10.89	3.48	-0.123	19	0.45	1.83	7.18	4.30	0.33
02:00	527	51.5	526	55.3	201.16	201.44	0.0108	36.1	65.3	4.9	47.3	11.99	4.04	-0.127	16	0.49	1.78	7.18	4.30	0.32
03:00	499	51.5	498	55.3	198.87	199.14	0.0108	34.1	65.7	4.7	47.5	11.52	3.78	-0.128	17.2	0.47	1.62	6.56	3.93	0.29
04:00	501	49.5	500	53.3	197.97	198.24	0.0109	34.3	65.1	4.7	47.3	11.91	4.11	-0.126	15.6	0.46	1.69	6.56	3.93	0.29
05:00	497	49.5	496	53.3	197.59	197.86	0.0109	34.0	65.7	4.7	47.9	12.05	4.22	-0.125	15.7	0.45	1.71	6.56	3.93	0.29
06:00	496	49.5	495	53.3	197.14	197.41	0.0109	33.9	65.7	4.7	47.2	12.27	4.21	-0.130	15.1	0.47	1.67	6.56	3.93	0.28
07:00	494	48.5	493	52.3	199.81	200.02	0.0109	33.8	65.8	4.6	47.5	10.48	3.12	-0.129	20.2	0.38	1.75	6.56	3.93	0.29
08:00	564	52.5	563	56.3	209.33	209.56	0.0107	38.6	65.2	5.3	48.1	9.77	2.70	-0.120	23.2	0.41	2.02	7.81	4.68	0.36
09:00	565	52.5	564	56.3	211.99	212.17	0.0107	38.6	65.4	5.3	48.3	8.63	2.03	-0.120	27.3	0.36	2.06	7.81	4.68	0.36
10:00	561	52.5	560	56.3	213.30	213.45	0.0107	38.4	65.6	5.3	48.7	7.93	1.68	-0.119	30	0.31	2.10	7.81	4.68	0.36
11:00	545	51.5	544	55.3	212.60	212.72	0.0108	37.3	65	5.1	48.6	7.29	1.44	-0.115	31.6	0.26	2.04	7.39	4.43	0.35
12:00	545	52.5	544	56.7	214.06	214.20	0.0118	37.3	64.8	5.1	48.4	6.73	1.16	-0.116	33.8	0.27	2.16	7.39	4.43	0.39
13:00	545	51.5	544	56	214.92	215.04	0.0127	37.3	64.9	5.1	48.3	6.45	1.01	-0.117	35.2	0.24	2.32	7.39	4.43	0.42
14:00	526	52.5	525	57.3	213.80	213.93	0.0135	36.0	64.8	4.9	48.5	6.02	0.88	-0.115	36.6	0.24	2.25	6.97	4.18	0.43
15:00	473	47.5	472	53.8	207.65	207.77	0.0178	32.4	64.5	4.4	48.9	5.55	0.84	-0.110	37	0.17	2.81	6.35	3.80	0.53
16:00	505	49.5	504	55	211.62	211.73	0.0155	34.6	64.8	4.7	49	5.79	0.87	-0.111	37.1	0.19	2.62	6.76	4.05	0.49
17:00	551	45.5	550	52	216.54	216.65	0.0184	37.7	64.3	5.2	49.1	6.00	0.92	-0.107	37	0.14	3.91	7.81	4.68	0.69
18:00	505	44.5	504	51	211.08	211.17	0.0185	34.6	64.2	4.7	49.3	5.79	0.95	-0.105	36.5	0.12	3.50	6.97	4.18	0.63
19:00	556	44.5	555	50	215.03	215.13	0.0157	38.0	64.1	5.2	49	6.61	1.22	-0.106	34	0.15	3.56	8.02	4.81	0.60
20:00	505	44.5	504	48.3	206.23	206.30	0.0110	34.6	64.6	4.7	48.9	7.60	1.81	-0.111	29	0.15	2.20	6.97	4.18	0.35
21:00	490	43.5	489	47.3	204.34	204.40	0.0111	33.5	64.5	4.6	48.6	7.53	1.78	-0.112	28.8	0.13	2.09	6.56	3.93	0.33
22:00	500	44.5	499	49	204.27	204.41	0.0130	34.2	64.2	4.7	48.4	8.05	2.07	-0.111	26.8	0.23	2.38	6.76	4.05	0.40
23:00	509	45.5	508	49.3	204.20	204.33	0.0110	34.8	64.3	4.8	48.2	8.64	2.35	-0.114	25	0.25	2.10	6.97	4.18	0.34

EK-8. B Kompresöründe 28 Mayıs 2010 Tarihinde Okunan Veriler ile Tersinmezlik, Adyabatik ve Yararlı İş Hesabı Tablosu (R=0.1889; C_{po}=0.895)

SAAT	1.KADEME						2.KADEME						3.KADEME						4.KADEME						Tersinmezlik kW	To °C	Sistemin Toplam Tersinmezliği kW				
	EMİŞ		ÇIKIŞ		i kJ/kg	w _{tr} kJ/kg	w _y kJ/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ		i kJ/kg	w _{tr} kJ/kg	w _y kJ/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ		i kJ/kg	w _{tr} kJ/kg	w _y kJ/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ				i kJ/kg	w _{tr} kJ/kg	w _y kJ/kg	
	P ₁	T ₁	P ₂	T ₂				P ₃	T ₃	P ₄	T ₄				P ₅	T ₅	P ₆	T ₆				P ₇	T ₇	P ₈							T ₈
	psig	°C	psig	°C	psig	°C	psig	°C	psig	°C	psig	°C	psig	°C	psig	°C	psig	°C													
00:00	18	24	55	115	8.21	-73.24	-81.45	54	26	164	119	9.47	-73.77	-83.24	157	28	484	125	10.87	-75.95	-86.82	473	49	1168	132	10.05	-75.95	-85.99	146.82	18.8	292.52
01:00	18	23	56	114	7.40	-74.05	-81.45	52	25	164	119	8.24	-75.89	-84.13	157	28	482	125	11.06	-75.75	-86.82	470	45	1167	133	13.61	-75.75	-89.36	153.35	17.9	314.68
02:00	19	24	58	114	7.59	-72.96	-80.55	54	26	169	119	7.81	-75.42	-83.24	162	27	492	124	11.91	-74.90	-86.82	480	45	1167	130	12.88	-74.90	-87.78	157.98	18.9	319.25
03:00	20	23	60	112	8.09	-71.57	-79.66	56	27	172	117	6.65	-73.90	-80.55	163	27	505	123	10.17	-75.75	-85.92	493	43	1165	129	15.47	-75.75	-91.23	163.81	19.4	325.68
04:00	21	23	63	112	8.19	-71.46	-79.66	59	26	176	117	9.26	-72.19	-81.45	166	26	510	123	11.65	-75.16	-86.82	499	43	1167	129	16.25	-75.16	-91.41	189.66	23.1	342.98
05:00	21	24	63	113	7.88	-71.78	-79.66	59	27	177	118	8.62	-72.83	-81.45	170	25	512	122	12.81	-74.00	-86.81	501	43	1166	128	15.65	-74.00	-89.66	188.04	19.2	346.64
06:00	21	24	63	113	7.91	-71.74	-79.65	59	27	175	119	9.96	-72.38	-82.34	168	27	508	121	10.23	-73.90	-84.13	496	39	1170	127	17.67	-73.90	-91.57	191.39	20.5	348.40
07:00	21	26	62	113	7.05	-70.81	-77.87	58	27	172	117	8.64	-71.91	-80.55	164	27	500	120	9.12	-74.12	-83.24	488	39	1174	128	17.26	-74.12	-91.38	175.93	21.0	330.82
08:00	27	26	75	112	9.87	-67.10	-76.97	70	28	203	120	11.15	-71.19	-82.34	194	29	566	123	11.96	-72.17	-84.13	554	38	1193	125	22.55	-72.17	-94.73	273.83	24.5	449.19
09:00	16	25	50	116	6.86	-74.59	-81.45	47	29	150	120	4.86	-76.59	-81.45	143	28	455	124	8.59	-77.33	-85.92	444	38	1162	138	20.05	-77.33	-97.37	143.38	23.0	284.67
10:00	16	25	51	117	6.42	-75.92	-82.34	48	28	152	119	5.49	-75.95	-81.45	145	29	456	124	8.35	-76.67	-85.03	445	38	1161	137	19.54	-76.67	-96.21	141.42	22.5	282.25
11:00	18	26	56	116	6.20	-74.35	-80.55	53	29	162	121	7.92	-74.42	-82.34	154	28	479	125	10.49	-76.32	-86.82	467	37	1168	134	20.77	-76.32	-97.10	172.68	22.0	323.06
12:00	20	25	60	116	9.20	-72.25	-81.45	56	29	167	120	8.71	-72.74	-81.45	159	30	484	124	9.37	-74.76	-84.13	472	39	1168	133	19.20	-74.76	-93.96	188.52	24.8	341.79
13:00	22	27	65	116	8.27	-71.39	-79.66	60	30	181	122	8.53	-73.81	-82.34	173	30	517	125	11.07	-73.95	-85.03	505	48	1175	132	14.42	-73.95	-88.38	181.91	24.6	347.22
14:00	23	26	66	115	10.13	-69.53	-79.66	62	30	183	123	10.44	-72.80	-83.24	175	31	521	126	11.09	-73.94	-85.03	509	49	1176	130	12.69	-73.94	-86.62	196.34	25.0	358.54
15:00	23	26	67	115	9.28	-70.37	-79.66	62	31	185	123	8.95	-73.39	-82.34	177	32	523	126	10.64	-73.49	-84.13	511	49	1176	131	13.57	-73.49	-87.06	187.89	25.0	354.88
16:00	23	25	67	114	9.48	-70.17	-79.66	63	30	187	122	9.45	-72.89	-82.34	179	31	524	126	12.03	-72.99	-85.03	512	50	1174	131	12.94	-72.99	-85.93	194.40	24.9	355.61
17:00	24	24	68	113	11.23	-68.43	-79.66	64	29	188	123	11.56	-72.57	-84.13	180	30	530	125	11.89	-73.13	-85.02	518	51	1172	129	11.52	-73.13	-84.66	210.42	24.3	373.92
18:00	25	24	69	112	12.00	-66.76	-78.76	65	29	196	124	10.75	-74.27	-85.03	188	31	542	125	12.18	-71.95	-84.13	530	49	1179	127	12.78	-71.95	-84.73	223.25	23.9	391.94
19:00	27	25	75	111	10.02	-66.95	-76.97	70	28	204	124	13.50	-72.42	-85.92	196	29	564	125	14.00	-71.92	-85.92	552	42	1183	125	19.32	-71.92	-91.24	280.32	23.0	456.89
20:00	24	24	64	112	13.87	-64.89	-78.76	60	28	180	122	10.54	-73.59	-84.13	172	29	516	124	11.00	-74.03	-85.03	505	41	1170	129	18.44	-74.03	-92.47	245.20	22.8	410.50
21:00	22	24	61	111	11.01	-66.86	-77.87	57	27	179	123	9.53	-76.39	-85.92	171	28	514	123	11.10	-73.93	-85.03	503	42	1168	128	16.81	-73.93	-90.74	208.42	22.8	365.61
22:00	40	25	101	110	14.56	-61.52	-76.08	96	26	243	111	14.23	-61.85	-76.08	234	26	554	110	17.25	-57.93	-75.18	542	46	1172	120	12.04	-57.93	-69.97	381.71	20.8	584.44
23:00	21	25	62	113	7.88	-70.88	-78.76	59	27	176	117	8.25	-72.30	-80.55	168	28	507	121	9.41	-73.83	-83.24	495	43	1154	127	14.89	-73.83	-88.72	169.07	18.9	326.42

EK-9. A Kompresörü Ara Soğutucusunda 28 Nisan 2010 Tarihinde Okunan Veriler ile Tersinmezlik ve Debi Hesabı Tablosu

SAAT																					Tersinmezlik (Soğutucu) kW	HACİMSEL DEBİ (CO2) MMSCFD	KÜTLESEL DEBİ (CO2) kg/s	KÜTLESEL DEBİ (Hava) kg/s					
	P ₉ psig	T ₉ °C	P ₁₀ psig	T ₁₀ °C	Δs kj/kg.K	P ₁₁ psig	T ₁₁ °C	P ₁₂ psig	T ₁₂ °C	Δs kj/kg.K	P ₁₃ psig	T ₁₃ °C	P ₁₄ psig	T ₁₄ °C	Δs kj/kg.K	P ₁₇ psig	T ₁₇ °C	P ₁₈ psig	T ₁₈ °C	Δs kj/kg.K					P ₁₉ psig	T ₁₉ °C	P ₂₀ psig	T ₂₀ °C	Δs kj/kg.K
00:00	66	110	63	28	-0.207	185	118	178	30	-0.221	553	124	543	50	-0.181	1189	129	1185	43	-0.215	13.7	10.7	13.7	47	0.121	195.80	7.39	4.43	35.85
01:00	66	112	62	28	-0.208	186	117	179	29	-0.222	550	123	539	51	-0.176	1187	130	1183	44	-0.214	13.7	14.4	13.7	49	0.114	191.19	7.39	4.43	37.61
02:00	63	111	59	27	-0.208	181	118	174	29	-0.224	539	123	528	49	-0.181	1180	131	1176	44	-0.216	13.7	14	13.7	48	0.112	185.32	6.98	4.18	36.59
03:00	62	111	58	27	-0.208	177	117	170	29	-0.221	527	122	516	49	-0.179	1172	132	1168	44	-0.219	13.7	14	13.7	48	0.112	185.16	6.98	4.18	36.48
04:00	59	112	55	26	-0.213	167	117	160	28	-0.224	506	123	496	48	-0.184	1160	134	1156	45	-0.220	13.7	13.8	13.7	47	0.110	185.72	6.76	4.05	36.83
05:00	61	112	57	27	-0.210	169	117	161	28	-0.223	514	123	503	48	-0.184	1162	133	1158	45	-0.218	13.7	13.4	13.7	47	0.111	192.58	6.98	4.18	37.35
06:00	62	111	58	27	-0.208	176	116	169	29	-0.219	515	123	504	48	-0.184	1161	133	1157	44	-0.221	13.7	13.6	13.7	47	0.111	188.89	6.98	4.18	37.35
07:00	63	111	60	28	-0.209	176	117	168	29	-0.220	527	124	516	48	-0.186	1159	132	1155	42	-0.224	13.7	14	13.7	48	0.112	184.66	6.98	4.18	36.91
08:00	71	112	67	28	-0.209	189	117	181	30	-0.218	586	124	574	49	-0.183	1183	131	1179	42	-0.222	13.7	15.2	13.7	50	0.115	201.60	7.81	4.68	40.12
09:00	82	113	77	29	-0.208	220	118	212	31	-0.218	622	125	610	50	-0.183	1190	127	1186	40	-0.219	13.7	16.8	13.7	51	0.112	221.53	8.86	5.31	46.03
10:00	82	113	78	29	-0.210	220	118	212	31	-0.218	622	126	611	50	-0.186	1203	124	1199	38	-0.218	13.7	18	13.7	55	0.120	203.89	8.86	5.31	42.55
11:00	79	112	75	29	-0.207	211	120	203	31	-0.222	586	127	574	52	-0.182	1205	125	1201	38	-0.220	13.7	19	13.7	55	0.117	196.77	8.44	5.06	41.78
12:00	76	112	72	31	-0.201	206	123	198	33	-0.223	588	128	577	53	-0.182	1198	127	1194	40	-0.219	13.7	19.8	13.7	56	0.117	194.29	8.23	4.93	40.39
13:00	74	112	70	31	-0.201	200	123	193	33	-0.224	581	128	570	51	-0.187	1195	127	1191	42	-0.213	13.7	21	13.7	56	0.113	187.06	8.02	4.81	40.71
14:00	72	114	68	32	-0.202	197	124	190	32	-0.229	572	128	561	50	-0.190	1193	128	1189	43	-0.212	13.7	20.2	13.7	55	0.113	189.52	7.81	4.68	40.35
15:00	72	112	68	32	-0.198	198	123	190	32	-0.226	571	128	560	50	-0.190	1192	128	1188	43	-0.212	13.7	19	13.7	54	0.114	192.36	7.81	4.68	39.77
16:00	62	115	59	32	-0.206	177	123	171	31	-0.230	528	126	518	49	-0.188	1159	127	1155	41	-0.216	13.7	17.9	13.7	54	0.118	170.06	6.98	4.18	34.87
17:00	86	112	82	31	-0.202	230	121	222	31	-0.225	642	127	630	52	-0.182	1209	124	1205	38	-0.218	13.7	15.9	13.7	52	0.118	221.59	9.07	5.43	44.51
18:00	85	110	81	31	-0.198	228	121	220	31	-0.225	640	127	628	52	-0.182	1210	125	1206	38	-0.220	13.7	16.1	13.7	52	0.118	220.71	9.07	5.43	44.62
19:00	88	111	83	30	-0.201	234	118	226	30	-0.222	656	125	644	53	-0.175	1233	125	1229	38	-0.220	13.7	15.9	13.7	50	0.112	229.04	9.28	5.56	47.63
20:00	88	111	83	30	-0.201	234	118	227	30	-0.222	654	125	641	53	-0.175	1231	124	1227	37	-0.221	13.7	14	13.7	49	0.116	233.08	9.28	5.56	46.40
21:00	88	111	84	30	-0.203	234	118	226	30	-0.222	654	125	642	51	-0.181	1232	126	1228	39	-0.219	13.7	13.6	13.7	49	0.117	233.67	9.28	5.56	46.16
22:00	68	112	64	29	-0.206	189	118	182	31	-0.218	556	125	544	47	-0.191	1178	125	1174	38	-0.220	13.7	12.8	13.7	47	0.114	196.96	7.39	4.43	38.62
23:00	67	112	64	28	-0.212	189	117	181	31	-0.215	554	124	543	47	-0.189	1178	125	1174	38	-0.220	13.7	12.1	13.7	46	0.113	195.59	7.39	4.43	38.85

EK-10. Glikol kulesinde 04 Mart 2010 Tarihinde Okunan veriler ile Ekserji, Tersinmezlik, Ekserji Verimi ve Debi Hesabı Tablosu

SAAT															T ₀ °C	Verim η _{II}	Tersinmezlik kW	HACİMSEL DEBİ (CO ₂) MMSCFD	KÜTLESEL DEBİ (CO ₂) kg/s	KÜTLESEL DEBİ (Glikol) kg/s
	P ₁₅ psig	T ₁₅ °C	P ₁₆ psig	T ₁₆ °C	Ψ ₁₅ kJ/kg	Ψ ₁₆ kJ/kg	Δs kJ/kg.K	P ₂₁ Bar	T ₂₁ °C	P ₂₂ Bar	T ₂₂ °C	Ψ ₂₁ kJ/kg	Ψ ₂₂ kJ/kg	Δs kJ/kg.K						
00:00	530	49.5	528.6	53	195.29	195.59	0.0102	40.0	65.1	5.5	48.2	16.51	7.29	-0.119	5.6	45.78	1.87	6.76	4.05	0.29
01:00	528	48.5	526.6	52	196.21	196.48	0.0102	36.1	65.1	4.9	48.2	15.19	6.53	-0.119	7.8	43.41	1.91	6.97	4.18	0.30
02:00	533	47.5	531.6	51	196.37	196.64	0.0102	36.5	65.1	5.0	48.2	15.40	6.66	-0.119	7.4	42.58	2.00	7.18	4.30	0.31
03:00	577	47.5	575.6	51	200.57	200.85	0.0102	39.5	65.1	5.4	47.5	15.67	6.49	-0.124	7.4	44.01	2.15	7.81	4.68	0.32
04:00	580	47.5	578.6	51	200.61	200.89	0.0102	39.7	65.4	5.4	47.7	15.98	6.68	-0.125	7	44.40	2.21	8.02	4.81	0.33
05:00	530	47.5	528.6	51	195.84	196.11	0.0102	36.3	65.7	5.0	47.3	15.79	6.52	-0.130	7	43.95	1.88	6.97	4.18	0.28
06:00	598	49.5	596.6	53	202.34	202.65	0.0101	40.9	65.4	5.6	47.6	16.18	6.73	-0.125	6.8	47.54	2.18	8.23	4.93	0.33
07:00	551	47.5	549.6	51	197.90	198.17	0.0102	37.7	65.2	5.2	47.2	15.72	6.51	-0.127	7	44.29	1.94	7.18	4.30	0.29
08:00	545	48.5	543.6	52	197.43	197.72	0.0102	37.3	64.9	5.1	47.6	15.56	6.62	-0.122	7	45.04	1.94	7.18	4.30	0.30
09:00	541	48.5	539.6	52	197.27	197.55	0.0102	37.0	64.9	5.1	47.3	15.37	6.40	-0.124	7.4	44.84	1.81	6.76	4.05	0.28
10:00	550	48.5	548.6	52	198.26	198.54	0.0102	37.6	64.9	5.2	47.1	15.34	6.29	-0.126	7.6	44.99	1.91	7.18	4.30	0.29
11:00	550	46.5	548.6	50	198.27	198.53	0.0102	37.6	65	5.2	46.9	15.20	6.12	-0.128	8	42.04	1.80	6.55	3.92	0.26
12:00	548	46.5	546.6	50	198.66	198.91	0.0102	37.5	65.4	5.1	47.6	14.92	6.01	-0.125	9	40.44	1.78	6.35	3.80	0.26
13:00	548	49.5	546.6	53	199.57	199.83	0.0101	37.5	65.7	5.1	47.9	14.62	5.80	-0.125	10	43.41	1.92	7.18	4.30	0.29
14:00	557	50.5	555.6	54	201.25	201.51	0.0101	38.1	65.8	5.2	48.2	14.21	5.54	-0.124	11.2	43.46	1.96	7.39	4.43	0.31
15:00	558	50.5	556.6	54	200.99	201.26	0.0101	38.2	65.4	5.2	48.1	14.32	5.69	-0.122	10.6	44.04	1.96	7.39	4.43	0.31
16:00	553	49.5	551.6	53	200.17	200.43	0.0101	37.8	65.3	5.2	48.3	14.41	5.85	-0.120	10.2	42.75	2.01	7.39	4.43	0.32
17:00	551	48.5	549.6	52	199.63	199.89	0.0102	37.7	65.2	5.2	47.6	14.53	5.78	-0.124	9.8	42.36	2.01	7.39	4.43	0.31
18:00	550	49.5	548.6	53	199.18	199.45	0.0101	37.6	65.1	5.2	47.6	14.82	6.01	-0.123	9	44.53	1.97	7.39	4.43	0.31
19:00	547	49.5	545.6	53	198.66	198.93	0.0101	37.4	64.4	5.1	47.4	14.70	6.07	-0.120	8.6	44.78	1.97	7.39	4.43	0.32
20:00	542	47.5	540.6	51	197.83	198.09	0.0102	37.1	64.6	5.1	47.7	14.83	6.21	-0.119	8.4	41.95	2.00	7.18	4.30	0.31
21:00	557	50.5	555.6	54	199.39	199.69	0.0101	38.1	64.8	5.2	47.7	15.17	6.35	-0.121	8	46.78	1.94	7.39	4.43	0.31
22:00	561	45.5	559.6	49	199.10	199.35	0.0102	38.4	64.3	5.3	47.7	15.08	6.41	-0.117	7.8	40.10	2.14	7.39	4.43	0.32
23:00	624	47.5	622.6	51	204.84	205.13	0.0101	42.7	64.3	5.8	47.7	15.56	6.53	-0.117	7.6	43.79	2.38	8.44	5.06	0.37

EK-11. A Kompresöründe 04 Şubat 2010 Tarihinde Okunan Veriler ile Ekserji ve İkinci Yasa Verimi Hesaplama Tablosu (R=0.1889; Cpo=0.895)

SAAT	1.KADEME						2.KADEME						3.KADEME						4.KADEME						Verim η	To °C
	EMİŞ		ÇIKIŞ		ψ_1 kj/kg	ψ_2 kj/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ		ψ_3 kj/kg	ψ_4 kj/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ		ψ_5 kj/kg	ψ_6 kj/kg	EMİŞ		ÇIKIŞ		ψ_7 kj/kg	ψ_8 kj/kg		
	P ₁ psig	T ₁ °C	P ₂ psig	T ₂ °C			P ₃ psig	T ₃ °C	P ₄ psig	T ₄ °C			P ₅ psig	T ₅ °C	P ₆ psig	T ₆ °C			P ₇ psig	T ₇ °C	P ₈ psig	T ₈ °C				
00:00	22	23	66	112	25.44	97.36	51	24	166	124	69.91	149.15	159	26	493	119	130.08	205.35	483	47	1191	137	190.59	256.82	0.88	6.5
01:00	23	22	67	111	27.66	97.89	54	24	172	125	72.56	151.00	165	25	512	119	131.25	206.66	501	47	1193	136	191.53	255.72	0.86	4.7
02:00	22	22	66	112	25.34	97.35	48	23	163	125	66.40	148.24	156	25	467	120	128.46	202.24	457	45	1170	137	186.69	255.18	0.87	5.1
03:00	22	22	65	111	25.33	96.30	44	23	147	125	61.79	142.78	140	26	456	120	122.76	200.91	446	43	1147	137	185.08	254.04	0.88	4.9
04:00	25	22	72	112	32.03	101.91	44	23	148	124	61.74	142.83	141	26	456	123	123.02	201.60	447	44	1156	138	185.14	254.60	0.87	4.6
05:00	25	21	72	112	31.93	101.90	47	23	159	125	65.06	146.75	152	26	465	122	126.65	202.08	455	43	1153	136	185.53	253.49	0.86	3.8
06:00	25	22	72	112	31.88	101.87	43	23	147	126	60.13	142.71	141	26	457	119	122.06	199.75	447	42	1151	135	183.52	252.23	0.88	2.0
07:00	25	22	71	112	31.94	101.16	57	23	175	125	74.99	151.64	167	27	504	118	131.33	204.94	505	42	1149	128	190.42	250.64	0.85	3.0
08:00	26	23	74	112	34.06	103.32	59	25	186	124	77.00	154.62	179	27	538	120	135.11	209.03	528	48	1167	126	193.68	251.10	0.87	3.4
09:00	26	23	74	111	34.16	103.11	57	24	178	125	75.46	152.85	170	28	522	122	133.13	208.58	512	48	1167	128	192.95	252.47	0.87	5.0
10:00	23	23	68	110	28.02	98.57	55	25	177	126	74.86	153.81	170	28	520	123	135.53	210.84	510	46	1167	128	195.81	255.49	0.87	10.8
11:00	23	23	68	112	28.08	99.07	48	26	160	126	67.80	148.55	153	28	477	123	130.28	206.59	467	46	1143	131	191.65	255.69	0.88	11.8
12:00	23	24	67	113	28.20	98.55	46	25	157	127	65.73	148.01	153	28	477	122	130.86	206.87	467	43	1142	131	192.18	256.38	0.88	13.2
13:00	23	24	67	113	28.22	98.56	43	26	146	126	62.15	143.86	140	27	450	124	126.09	204.29	441	43	1176	138	189.20	259.93	0.88	13.4
14:00	22	22	65	112	25.75	96.68	43	24	146	127	62.08	144.11	140	27	450	123	126.09	204.04	440	42	1180	138	188.99	260.12	0.88	13.4
15:00	22	22	64	109	25.64	95.11	41	24	144	126	59.20	142.85	139	26	450	124	124.95	203.63	440	42	1178	140	187.97	259.65	0.88	11.6
16:00	21	22	64	111	23.07	95.54	35	23	130	129	50.44	137.96	126	26	426	126	119.11	200.68	417	41	1156	144	184.17	259.02	0.89	10.1
17:00	23	22	67	109	27.93	97.52	37	24	132	127	53.43	138.22	127	27	421	125	119.51	199.72	412	41	1168	145	183.41	259.76	0.89	9.9
18:00	22	23	67	110	25.55	97.73	46	24	156	124	64.92	146.25	150	25	469	124	127.99	204.94	459	41	1163	137	188.73	256.86	0.87	9.1
19:00	20	22	60	110	20.42	91.84	48	23	159	125	67.11	147.50	152	26	473	120	128.66	204.30	463	41	1160	132	189.08	255.24	0.87	8.9
20:00	20	22	61	111	20.42	92.96	49	24	161	123	68.23	147.63	154	26	479	121	129.32	205.19	468	43	1179	134	189.78	256.61	0.88	8.8
21:00	20	22	62	112	20.41	94.06	49	24	162	122	68.19	147.67	155	26	484	121	129.58	205.66	473	43	1188	135	190.24	257.18	0.88	8.6
22:00	18	22	55	110	14.80	87.21	50	24	164	123	69.27	148.58	157	25	493	122	130.21	206.90	483	43	1204	136	191.35	258.17	0.87	8.6
23:00	18	22	55	109	14.79	87.00	51	23	165	123	69.93	148.63	158	25	492	121	129.86	205.90	482	43	1187	134	190.28	255.99	0.87	6.9

ÖZET

Günümüzde enerji ve enerji verimliliği oldukça önem kazanmıştır. Bundan dolayı işletmelerin ihtiyacına en uygun sistemleri belirlemek ve bu sistemleri istenilen parametrelerde ve performansta çalıştırmak önemli bir husustur. Bu amaçla sistemlerde enerji ve ekserji analizi yapmak gerekir.

Bu çalışmada, öncelikle örnek uygulama tanıtılmış ve termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına göre enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Sistem teorik yönden incelenmiş, birinci yasaya göre kütle ve enerji, ikinci yasaya göre tersinmezlik, ekserji ve ekserji verimliliği denklemleri oluşturulmuştur.

Daha sonra sistemde günlük sıcaklık, basınç, debi ve güç parametreler verilerine göre analizler yapılmış ve yapılan analizlerin sonuçları tablo ve grafikler halinde sunulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kompresörlerde adyabatik verim değerleri % 75 ile 88 arasında değişmektedir. Kompresörlerde birinci yasa verimi de ortalama % 78 civarındadır. Toplam tersinmezliğin yaklaşık % 54' ü kompresör, % 45 ara soğutucuda ve % 1 de glikol kulesinde gerçekleşmiştir.

Ekserji verimi yönünden değerlendirildiğinde, kompresörün ekserji verimi % 85 civarında, buna karşın ara soğutucuda % 28 ve glikol kulesinde % 26 civarında bulunmuştur. Sistemin tamamında ise % 80 civarında ekserji verimi bulunmuştur. Dolayısıyla sistemin geneli için sonuçların tatminkar olduğunu söylenebilir.

Çalışmanın sonunda varılan sonuçlar sıralanmış ve enerji, verimlilik ve işletme performansını arttırmaya dönük öneriler ile çevre üzerindeki etkileri kısaca sunulmuştur. Sonuç olarak yapılan analiz elde edilen sonuçlar ileride konu ile ilgili çalışma yapmak isteyenlere katkı sunabilir.

SUMMARY

Nowadays, energy and energy efficiency has been appreciated. Therefore, to determine most convenient mechanical systems to meet companies needs and to operate them at proper parameters and performance is a significant subject.

In this thesis, previously, a four staged CO₂ compressor system has been investigated and analyzed using 1st and 2nd law of thermodynamics. System firstly, analyzed according to 1st law, mass and energy and then with 2nd law, irreversibility, exergy productivity and exergetic efficiency equations have been constituted. Afterwards, the system has been analyzed with daily operating temperature, pressure, flow ratio and electrical panel power parameters data and then obtained results have been presented by tables and graphics and the results are evaluated.

The adiabatic efficiency of compressors have been found between 75-88% and their 1st law average efficiency is approximately 78%. 54 percent of whole irreversibility for compressors, 45 percent for gas cooler and 1 percent for CO₂ dehydrator, have been calculated.

In point of exergy, the compressor exergetic efficiency is about % 85. Nevertheless for gas cooler is about 28% and for CO₂ dehydrator is 26%. In addition, for whole system exergetic efficiency has been found 80%. Therefore, It may be declared that the results are satisfactory for whole system.

Finally, the obtained results have been listed in order. Proposal about enhancing performance of energy, exergy, efficiency, productivity and operating conditions have been presented. As a result, analysis results may contribute to academicians and the others who plan to study on this subject in the future.