

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMLERİ İÇİN GELİŞTİRİLEN
SCROLL GENİŞLETİCİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Nihad RAOUF MAAROOF

**Danışman
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2016**



© 2016 [Nihad RAOUF MAAROOF]

TEZ ONAYI

Nihad RAOUF MAAROOF tarafından hazırlanan "Organik Rankine Çevrimleri için Geliştirilen Scroll Genişletici ile Elektrik Üretiminin Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

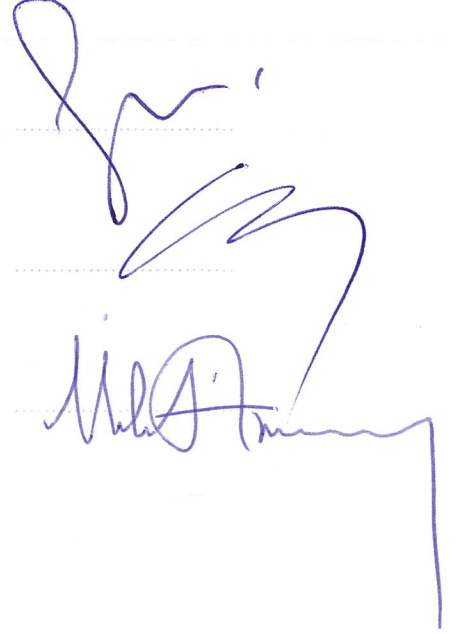
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Arzu ŞENCAN ŞAHİN
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. İbrahim ATMACA
Akdeniz Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç.Dr.Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Nihad RAOUF MAAROOF



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|--------------|
| İÇİNDEKİLER | i |
| ÖZET..... | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Scroll Kompresör | 2 |
| 1.2. Scroll Genişletici | 6 |
| 1.3. İdeal Rankine Çevrimi..... | 9 |
| 1.4. Organik Rankine Çevrimi | 11 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ | 13 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 17 |
| 3.1. Deney Seti ve Elemanları | 17 |
| 3.2. Deneylerin Yapılması ve Deney Seti Üzerinde Okunan Değerler | 19 |
| 3.3. Cihazın Tanıtımı ve Ölçü Aletleri | 19 |
| 3.3.1. Hava kompresörü..... | 20 |
| 3.3.2. Rezistans | 20 |
| 3.3.3. Termokupl..... | 21 |
| 3.3.4. Manometre | 21 |
| 3.3.5. Debimetre | 22 |
| 3.3.6. Scroll tip genişletirici (Scroll tip araç kompresörü)..... | 23 |
| 4. TERMODİNAMİK ANALİZ | 25 |
| 4.1. Sürekli Akışlı Açık Sistemlerin I. Yasa Analizi..... | 25 |
| 4.1.1. Kütlelenin korunumu | 26 |
| 4.1.2. Enerjinin korunumu | 26 |
| 4.2. Sürekli Akışlı Açık Sistemlerin II. Yasa Analizi | 26 |
| 4.3. Enerji Ve Ekserji Analizleri | 29 |
| 4.3.1. Isıtıcı | 29 |
| 4.3.2. Genişletici | 30 |
| 4.4. Belirsizlik Analizi..... | 31 |

| | |
|---|----|
| 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA | 33 |
| 5.1. Giriş Basıncının Diğer Parametrelere Etkisi | 33 |
| 5.2. Giriş Sıcaklığının Diğer Parametrelere Etkisi | 35 |
| 5.3. Giriş Hacimsel Debinin Diğer Parametrelere Etkisi..... | 38 |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 41 |
| KAYNAKLAR | 44 |
| EKLER | 47 |
| EK A. Çizelgeler | 47 |
| ÖZGEÇMİŞ | 50 |



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMLERİ İÇİN GELİŞTİRİLEN SCROLL GENİŞLETİCİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Nihad RAOUF MAAROOF

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

Bu çalışmada, scroll tip genişleticinin deneysel sistemi dizayn edilmiş, deneyler yapılmış ve termodinamik açıdan performansı araştırılmıştır. Bu sistemde hava bir kompresör yardımıyla basınçlandırılarak scroll tip genişleticiye gönderilir ve elektrik üretilir. Farklı noktalarda basınç, sıcaklık ve hacimsel debi ölçülerek üretilen elektrik enerjisi belirlenmiştir. Ayrıca deneysel sisteminde termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizleri yapılmıştır. Giriş basıncı, giriş sıcaklığı ve giriş hacimsel debisi ,hacimsel debi oranına, elde edilen elektriksel güçüne, genişletici izantropik verimine, enerji verimine, ekserji verimine ve toplam ekserji yıkımına üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun yanında, giriş hacimsel debisi çıkış hacimsel debisine, hacimsel debi oranına ve elde edilen elektriksel güçüne üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Sonuç olarak, giriş basıncının artmasıyla enerji ve ekserji verimleri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı, giriş sıcaklığının artmasıyla elde edilen elektriksel gücü, izantropik verimi, enerji ve ekserji verimleri arttığı gözlemlenmiştir. Maksimum ekserji verimi yaklaşık % 70 olarak bulunmuştur. Giriş hacimsel debinin de elde edilen elektriksel güçüne olumlu etki yaptığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Scroll tip genişletici, elektrik üretimi, enerji, ekserji, verim, deneysel çalışma, organik Rankine çevrimi .

2016, 63 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF ELECTRIC GENERATION WITH SCROLL EXPANDER DEVELOPING FOR ORGANIC RANKINE CYCLES

Nihad RAOUF MAAROOF

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

In this study, experimental system of the scroll expander has been designed, experiments were performed and thermodynamically performance was investigated. In this system, compressed air is sent to scroll expander in order to generate electricity. Pressure, temperature and volume flow rate were measured on different points, and generated electricity was determined. In addition, the first and second laws of thermodynamics analysis of the experimental system were conducted. The effect of inlet pressure, inlet temperature and inlet volume flow rate was investigated on volume flow rate ratio, obtained electrical power, isentropic efficiency of expander, total exergy destruction rate, energy and exergy efficiencies. Besides, the effect of inlet volume flow rate was examined on outlet volume flow rate, volume flow rate ratio and obtained electrical power. As a result, as inlet pressure increases, energy and exergy efficiencies it does not any effect. However, rise of inlet temperature increases the obtained electrical power, isentropic efficiency of expander, energy and exergy efficiencies. The maximum exergy efficiency was approximately 70%. The effect is positive when increase inlet volume flow rate with the obtained electrical power.

Keywords: scroll expander, electricity production, energy, exergy, efficiency, experimental study, organic Rankine cycle.

2016, 63 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Reşat SELBAŞ'a teőekkürlerimi sunarım. Çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Mustafa ALPTEKİN'e ve Yüksek Mühendis Arif KARABUĞA'ya teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca Süleyman Demirel Üniversitesi'nde yüksek lisans yapmam için burs desteğinde bulunan Irak Hükümetine teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında; güçlerini arkamda hissettiğim annem ve 18 yıllık eğitimin hayatımın içinde; 35 senelik yaşamımın her anında bana destek vermekten kaçınmayan, yılgınlığımda arkamdan itici güç olan, sadece çalışkanlığı değil; her özelliği ile örnek almaktan gurur duyduğum sevgili abim büyük kardeşim, aynı zamanda bu zor günlerde yanımda olarak yaşadığım sıkıntıları gidermeye çalışan, benim için her türlü fedakarlığı yaparak bugünlere gelmemi sağlayan, hayattaki başarılarımın en önemli destekçisi olan aileme de sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunmayı bir borç biliyorum.

Nihad RAOUF MAAROOF
ISPARTA, 2016

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 1.1. Basit spiral (Teknik bülten, 2005) | 3 |
| Şekil 1.2. Involut spiral (Teknik bülten, 2005) | 3 |
| Şekil 1.3. Spiral çark seti (Teknik bülten, 2005)..... | 4 |
| Şekil 1.4. Spiral kompresörün aşamalı olarak sıkıştırması (Teknik bülten, 2005) | 6 |
| Şekil 1.5. İdeal Rankine çevrimi | 10 |
| Şekil 1.6. İdeal Rankine çevriminin T-s diyagramı | 10 |
| Şekil 3.1. Scroll tip genişletici kullanan güç üretim sisteminin şematik görünümü..... | 17 |
| Şekil 3.2. Scroll tip genişletici kullanan güç üretim sisteminin görünümü | 18 |
| Şekil 3.3. Deneysel seti üzerinde okunan değerler | 19 |
| Şekil 3.4. Hava kompresörü | 20 |
| Şekil 3.5. Rezistans | 20 |
| Şekil 3.6. Termokupl..... | 21 |
| Şekil 3.7. Basınç manometresi göstergesi..... | 21 |
| Şekil 3.8. Basınç manometreleri | 22 |
| Şekil 3.9. Debimetreler | 22 |
| Şekil 3.10. Scroll tipi genişletici..... | 23 |
| Şekil 3.11. Alternatör | 24 |
| Şekil 3.12. Ampermetre ve voltmetre | 24 |
| Şekil 5.1. Giriş basıncıyla giriş hacimsel debisi ve hacimsel debi oranının değişimi. | 33 |
| Şekil 5.2. Giriş basıncıyla elde edilen elektriksel gücünün değişimi..... | 33 |
| Şekil 5.3. Giriş basıncıyla genişletici izantropik veriminin değişimi | 33 |
| Şekil 5.4. Giriş basıncıyla enerji ve ekserji verimlerinin değişimi | 35 |
| Şekil 5.5. Giriş basıncıyla toplam ekserji yıkımının değişimi | 35 |
| Şekil 5.6. Giriş sıcaklığıyla giriş hacimsel debisi ve hacimsel debi oranının değişimi | 36 |
| Şekil 5.7. Giriş sıcaklığıyla elde edilen elektriksel gücünün değişimi | 36 |
| Şekil 5.8. Giriş sıcaklığıyla genişletici izantropik veriminin değişimi | 37 |
| Şekil 5.9. Giriş sıcaklığıyla enerji ve ekserji verimlerinin değişimi | 38 |
| Şekil 5.10. Giriş sıcaklığıyla toplam ekserji yıkımının değişimi | 38 |
| Şekil 5.11. Giriş hacimsel debisiyle çıkış hacimsel debisi ve hacimsel debi oranının değişimi..... | 39 |

Şekil 5.12. Giriş hacimsel debisiyle elde edilen elektriksel gücünün değişimi 40



ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Çizelge 1.1. Hermetik genişletici entegre edilmiş ORC sistemleri..... | 7 |
| Çizelge 1.2. Yarı hermetik genişletici entegre edilmiş ORC sistemleri..... | 8 |
| Çizelge 4.1. Sistemdeki elemanların hata oranları..... | 32 |
| Çizelge A.1. Scroll genişletici sisteminin termodinamik özellikleri..... | 47 |
| Çizelge A.2. Basınç değişimine göre debi ve güç değişimi..... | 47 |
| Çizelge A.3. Basınç değişimine göre termodinamik verimlerin ve toplam ekserji yıkımının değişimi..... | 47 |
| Çizelge A.4. Sıcaklık değişimine göre debi ve güç değişimi..... | 48 |
| Çizelge A.5. Sıcaklık değişimine göre termodinamik verimlerin ve toplam ekserji yıkımının değişimi..... | 48 |
| Çizelge A.6. Giriş hacimsel debisiyle çıkış hacimsel debisinin değişimi ile gücün değişimi | 48 |
| Çizelge A.7. Anlık deney ölçüm değerleri..... | 49 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|----------------------------|--|
| e | Birim ekserji, (kJ/kg) |
| \dot{E}_D | Ekserji yıkım oranı, (kW) |
| \dot{E}_Q | Isıyla transfer edilen ekserji miktarı, (kW) |
| \dot{E}_W | İşle transfer edilen ekserji miktarı, (kW) |
| g | Yer çekimi ivmesi, (m/s ²) |
| h | Özgül entalpi, (kJ/kg) |
| h_0 | Referans noktasındaki entalpi, (kJ/kg) |
| h_1 | Isıtıcı girişindeki entalpi, (kJ/kg) |
| h_2 | Isıtıcı çıkışındaki entalpi, (kJ/kg) |
| h_φ | Genişletici çıkışındaki gerçek entalpi, (kJ/kg) |
| $h_{\varphi,s}$ | Genişletici çıkışındaki izantropik entalpi, (kJ/kg) |
| h_g | Genişletici girişindeki gerçek entalpi, (kJ/kg) |
| \dot{m} | kütsel debi, (kg/s) |
| \dot{m}_1 | Isıtıcı girişindeki kütsel debi, (kg/s) |
| \dot{m}_2 | Isıtıcı çıkışındaki kütsel debi, (kg/s) |
| P | Basınc, (bar) |
| \dot{Q} | Birim zamanda ısı miktarı, (kW) |
| \dot{Q}_{giren} | Isıtıcı girişindeki ısı miktarı, (kW) |
| r | Hacimsel debi oranı |
| s | Özgül entropi, (kJ/kg) |
| s_0 | Referans noktasındaki entropi, (kJ/kg) |
| s_1 | Isıtıcı girişindeki entropi, (kJ/kg) |
| s_2 | Isıtıcı çıkışındaki entropi, (kJ/kg) |
| s_3 | Genişletici çıkışındaki entropi, (kJ/kg) |
| $\dot{S}_{\text{üretim}}$ | Entropi üretimi, (kW) |
| T_0 | Referans sıcaklığı, (K) |
| T_k | Kaynak sıcaklığı, (K) |
| V | Hız, (m/s) |
| \dot{V}_φ | Genişletici çıkışındaki hacimsel debi, (m ³ /s) |
| \dot{V}_g | Genişletici girişindeki hacimsel debi, (m ³ /s) |
| \dot{W} | Birim zamanda iş miktarı, (kW) |
| $\dot{W}_{\text{çıkan}}$ | Genişletici elde edilen iş miktarı, (kW) |
| W_R | Sabit hata miktarı |
| x | Bağımsız değişken |
| z | Yükseklik, (m) |
| η_{ekserji} | Ekserji verimi |
| η_{enerji} | Enerji verimi |
| η_{izan} | İzantropik verimi |
| $\Sigma\dot{m}_\varphi$ | Birim zamanda çıkan toplam kütle, (kg/s) |
| $\Sigma\dot{m}_g$ | Birim zamanda giren toplam kütle, (kg/s) |
| $\Sigma(\dot{m}h)_\varphi$ | Birim zamanda kütle ile birlikte çıkan toplam enerji, (kW) |
| $\Sigma(\dot{m}h)_g$ | Birim zamanda kütle ile birlikte giren toplam enerji, (kW) |

1. GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra enerji ihtiyacında artış meydana gelmiştir ve bunun yanında son yüzyılda bilimdeki gelişmeler ve teknolojik ilerlemeler sosyal yaşamdaki kaliteli hayat için yardımcı olmuştur. Fakat enerji ihtiyacındaki artışla birlikte fosil kaynaklar yetersiz kalmıştır. Ayrıca fosil kaynakların çevreye zararlı olması ve gelecek on yıllarda biteceği tahmin edilmesi güneş, jeotermal ve rüzgâr enerjisi gibi çevre dostu ve küresel ısınmaya sebep olmayan yeni enerji dönüşüm sistemlerine yönelmeye neden olmuştur. Son yıllarda evsel kullanım amaçlı, güneş enerjisi, atık ısı ve küçük ölçekli kojenerasyon sistemleri farklı tip uygulamalar ile düşük sıcaklıktaki ısı kaynaklarından elektrik üretimi popüler hale gelmiştir.

Bir ısı kaynağından güç üretimi çeşitli çevrimlerle yapılmaktadır. Bunlardan biri de Rankine çevrimidir. Rankine çevrimi, düşük sıcaklığa sahip ısı kaynakları kullanılarak güç üretimi yapıldığında diğer çevrimlere göre daha yüksek ısıl verime sahiptir. Çevrim için düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı olarak güneş enerjisi ve yanma ısısı kullanılabilir. Geleneksel güç çevrimlerinde genellikle iş akışkanı olarak su kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış çalışma akışkanı bir kazana girerek buharlaşır ve ardından bir genişleticiden geçerken shaftı döndürerek iş üretir. Son olarak yoğunlaşan akışkan tekrar pompaya gönderilerek çevrim tamamlanmış olur.

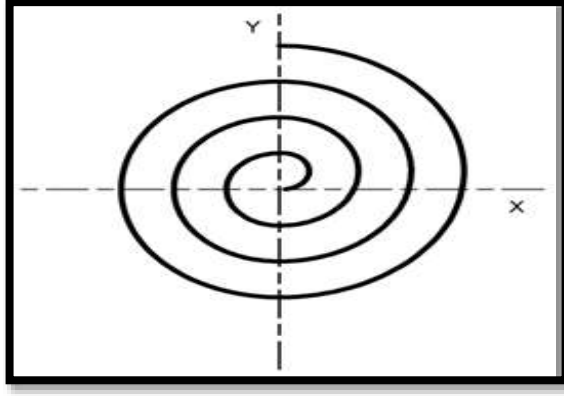
Rankine çevrimine kıyasla daha düşük ısı kaynağına ihtiyaç duyan organik Rankine çevrimi (ORC), çevrim akışkanı olarak organik akışkanların kullanımına dayalı, farklı ısıl kaynaklardan ısı geri kazanımıyla güç üretiminde gelişmekte olan bir teknoloji olarak göz önüne alınmaktadır. ORC, 1980'li yılların başından beri, esas itibarıyla biyokütle, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve atık ısı geri kazanımı alanlarında gitgide hızlanarak büyümektedir.

Bu çalışmada bir hava kompresörü yardımıyla basınçlandırılan hava, scroll genişleticiye gönderilerek buradan elektrik üretimi sağlanmaktadır. Farklı noktalardan basınç, sıcaklık ve kütleli debi ölçülerek ve çıkışta elde edilen voltaj ve akım belirlenerek elde edilen elektriksel gücü hesaplanmıştır. Ayrıca kurulan deney setinde termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizleri yapılarak ısıl verim, ekserji yıkımı ve ekserji verimi hesaplanmaktadır.

1.1. Scroll Kompresör

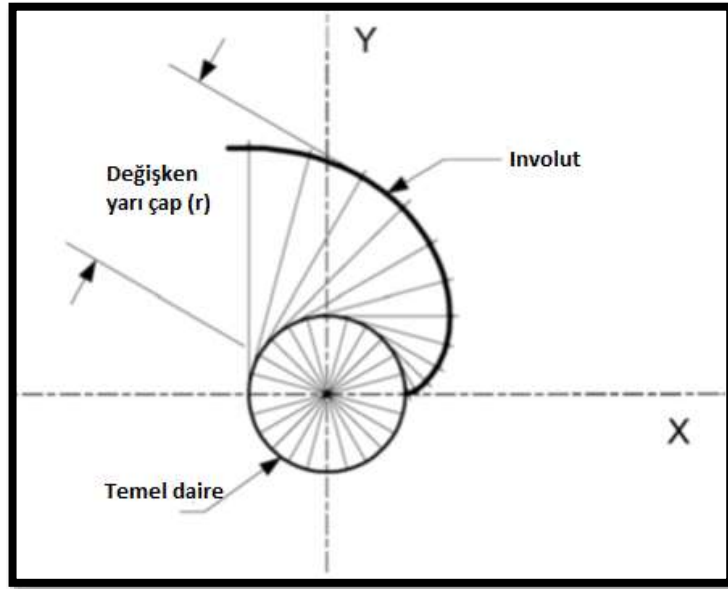
Scroll kompresörler, spiral şeklinde iç içe geçmiş iki eleman ile sıkıştırma yapan, yörüngesel hareketli, pozitif yer değiştirme makineleridir (ASHRAE, 2004). Scroll kompresörler dönel, pozitif-cebri sıkıştırımalı makineler olup birisi sabit diğeri uydu şeklinde dönen ve dar tolerans aralıklarıyla çalışan iki spiral elemandan oluşmaktadır. Aşırı sıvı oranlarına daha dayanıklı olmaları ve ses, titreşim seviyelerinin düşük olması gibi önemli üstünlüklere sahiptir. Ancak gerek spiral elemanların temas yüzeyi sızdırmazlığı gerekse alın kısımlarındaki sızdırmazlık mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır ki bu da imalatın yakın toleranslarla yapılmasını, aşınmaya dayanıklı malzeme kullanılmasını, yataklamanın ve yağlama işleminin iyi yapılması gerekmektedir. Emiş ve basma ağızlarının geniş olması buradaki basınç kayıplarını azaltmakta ve çalışma performansının daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Pistonlu kompresörlere göre krank milinin 360° dönüşü sırasındaki tork değişimleri de çok daha azalmaktadır (Özkoç, 1997).

Scroll kompresörlerin birçoğunda, cihazın çerçevesi üst spirali sabit tutar. Bir eksantrik motor mili alttaki spirali yörüngesel bir şekilde hareket ettirir. "Oldham" olarak adlandırılan ve özel olarak tasarlanmış bir kavrama alttaki spirali sabit bir açısal hız pozisyonunda tutar, dönmesini engeller ve radyal olarak hareket etmesini sağlar. Alt ve üst spiraller monte edilince kanatların yan yüzleri yarım ay şeklinde cepler oluşturur. Alt spiral kendi eksenini etrafında döndükçe kanatların yan yüzleri üzerindeki teğet noktaları içeri doğru ilerler. Cepler hareket ettikçe hacimleri azalır ve bu şekilde gazı sıkıştırır (Bayır, 2008). Şekil 1.1' de basit spiral gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Basit spiral (Teknik bülten, 2005)

Spiral kompresörler için kullanılan scroll tanımlaması parşömen tomarı anlamına gelen, antik katiplerin yazılı parşömenlerini saklama ve koruma amacı ile tahta makara üzerine sarmalarından esinlenerek türetilmiştir. Spiral kompresör tasarımında önemli bir yeri olan involüt spiral, sabit bir eksen üzerindeki temel dairenin çevresine göre sürekli değişen bir yarıçap ile tanımlanan bir spiraldir. Eğrinin görünümü bir silindirden boşalan gergin bir telin ucuna benzerdir (Teknik bülten, 2005). Şekil 1.2’ de örnek bir involüt spiral gösterilmiştir.

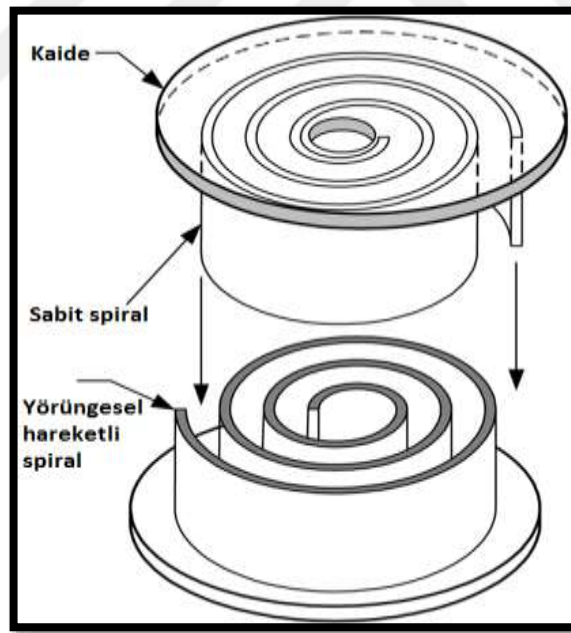


Şekil 1.2. Involüt spiral (Teknik bülten, 2005)

Involüt’ un şekli birbirini karşılayan makine parçalarının iç içe geçmesini sağlar. Böylelikle yatak yüzeyleri birbiri üzerinde kaymak yerine yuvarlanırlar (örnek dişli

çarkların dişleri). Bu durum sürtünme ve aşınmayı azaltır ve parçaların birbirine geçmesi sırasında sabit bir açısal hız oranı oluşmasını sağlar. İç içe geçen spiral kanatlarının involut geometrisi tanjant noktalarda yuvarlanma etkisi yaparak kaymayı minimuma düşürür (Teknik bülten, 2005).

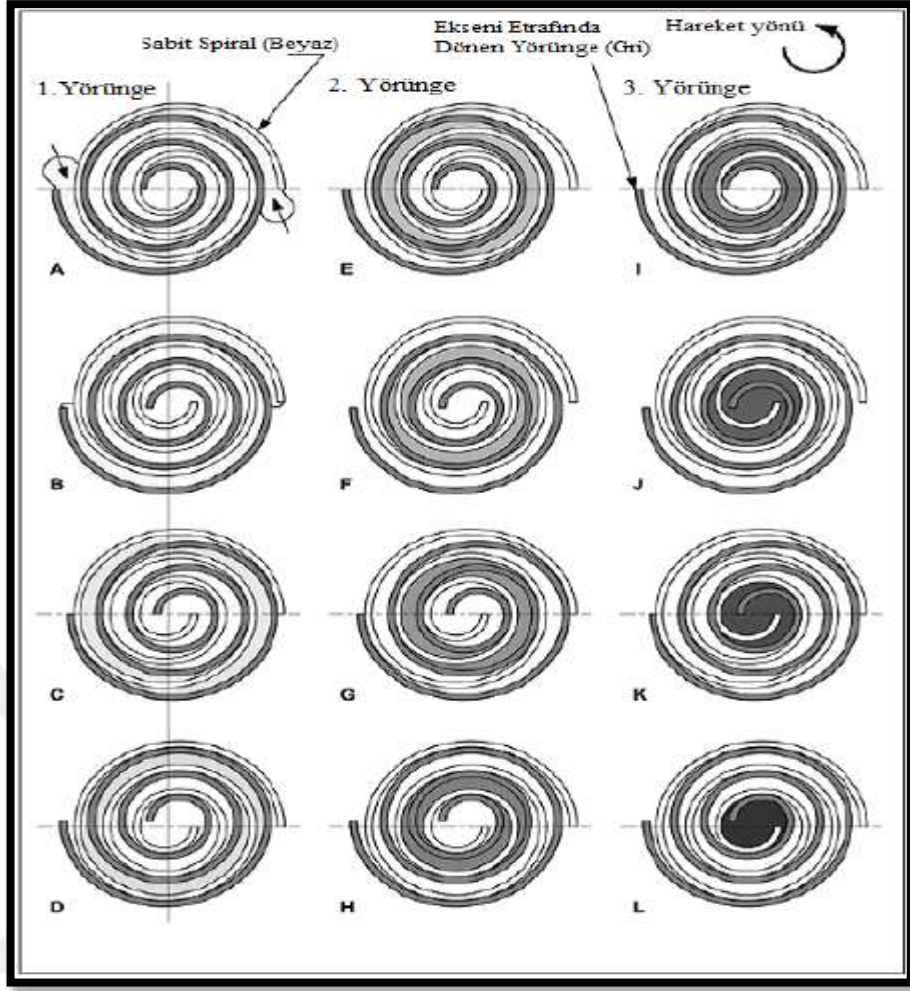
Bir spiral kompresörde temel sıkıştırma elemanı spiraldir. Kavram olarak, serbest olarak duran, involut spiral şeklinde işlenmiş bir metal şerittir. Spiral bir ucunda sabit ve düz bir kaideye bağlanmıştır. Spiral seti, birbiri ile aynı geometriye sahip iki spiralden oluşur. Bunlardan biri 180 derece döndürülerek tersyüz edilir, ikincisinin boşluklarının içine sokulur. Spiral kompresörlerin birçoğunda, cihazın çevresi üst spirali sabit tutar. Bir eksantirik motor mili alttaki spirali yörüngesel bir şekilde hareket ettirir. Oldham olarak adlandırılan ve özel olarak tasarlanmış bir kavrama alttaki spiral sabit bir açısal pozisyonda tutar, dönmesini engeller ve yörüngesel bir güzergâhta radyal olarak hareket etmesini sağlar (Teknik bülten, 2005). Şekil 1.3’ de örnek bir spiral çark seti gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Spiral çark seti (Teknik bülten, 2005)

Alt ve üst spiraller monte edilince kanatlarının yan yüzeyleri yarım ay şeklinde cepler oluşturur. Alt spiral kendi ekseninde döndükçe kanatların yan yüzeyleri üzerindeki teğet noktaları içeri doğru ilerler ve yarım ay şeklindeki cepler involut' ün

merkezine doğru iter. Cepler hareket ettikçe hacimleri azalır ve bu şekilde aradaki gazı sıkıştırır. Şekil 1.4' de yörünge hareketlerinin sırası, gaz ceplerinin hareket ve değişimi gösterilmiştir. Birinci yörünge her iki spiralın uçları doldurulmasına izin verecek şekilde tamamen açıkken başlar (A pozisyonu). Alt spiralın yörüngesi en sonunda soğutucu gazın birinci cebini kapatır (C pozisyonu). Birinci yörünge tamamlandığında, yarım ay şeklindeki ceplerin birinci çifti daha içeride bir pozisyona gelir ve spirallerin dış uçları düşük basınçtaki daha fazla soğutucu gazın içeri girmesine izin verecek şekilde açılmaya başlar (D pozisyonu). İkinci yörünge birinci gaz cebine sürekli olarak hacmi düşürüp, basıncı arttıracak şekilde spiral setinin merkezine doğru iter. Üçüncü yörünge spiral setinin hemen dışındaki yarım ay şeklindeki ceple başlar. Üçüncü yörünge devam ettikçe en içteki kanatların teması, sıkıştırılmış gazın merkezdeki çıkış kapısına geçişine izin verecek şekilde kesilir (J pozisyonu). Üçüncü yörünge yüksek basınçlı soğutucu gazı dışarı atarak sıkıştırma çevrimine devam eder (L pozisyonu). Spiral setin ve yarım ay şeklindeki ceplerin simetrisine dikkat edilmelidir. Yukarıda anlatılan her iki cebin şekli ve konumu sıkıştırma işlemi boyunca simetrik ve çapa göre zıttır (3. yörünge). Spiral setin doğal simetrisi kanatlara uygulanan radyal gaz kuvvetini dengeleyerek düzgün bir sıkıştırma çevrimi sağlar (Teknik bülten, 2005). Şekil 1.4' deki A ve L pozisyonları arasında sıkıştırma, ileri-geri çalışan kompresörlerde olduğu gibi, titreşim veya güçlü vuruntuların olmadığı, düzgün ve devamlı bir işlemdir.



Şekil 1.4. Spiral kompresörün aşamalı olarak sıkıştırması (Teknik bülten, 2005)

1.2. Scroll Genişletici

Scroll genişletici mikro ve küçük ölçekte ORC uygulamaları için tercih edilebilir bir seçenektir. Çünkü scroll genişletici kompakt bir yapısı, birkaç hareketli parçası ve düşük seviyede ses ve titreşime sahiptir.

Scroll kompresörlerin yaygın olarak kullanılan birkaç tipinde değişiklik yaparak genişletici dönüşümü sağlanır ve bu genişleticiler ORC sistemlere entegre edilir. Scroll genişleticilerin, hermetik scroll genişletici, yarı hermetik scroll genişletici ve açık sürücülü genişletici olmak üzere üç çeşidi vardır (Song vd., 2015).

Hermetik scroll genişletici bileşenleri ve motor sürücüsü ortak bir shaft ile birbirine bağlıdır ve çelik kasa kaynaklıdır ki tamir için açılmaz. Genişletici olarak tersten bir

hermetik scroll kompresörü çalıştırmak için, kompresör gövdesine yüksek basınçlı sıvının geri akışını önleyen çek valflerin kaldırılması gerekmektedir (Song vd., 2015).

Hermetik scroll genişleticile yapılan bir çalışmada Zanelli ve Favrat (1994), çizelge 1.1.'de gösterildiği gibi küçük ölçekli ORC sistemine modifiye edilmiş hermetik scroll kompresörü entegre etmiştir. Deneyde akışkan olarak R134a aracı akışkan kullanılmış ve genişleticinin izantropik verimi % 65 bulunmuştur. Deneyde nominal hız 3000 dev/dak ölçülürken maksimum hız 4200 dev/dak ölçülmüştür.

Kane vd. (2003), çizelge 1.1.'de verildiği gibi iki farklı ORC sistemine entegre edilmiş, farklı volümetrik yer değiştirmeli iki hermetik scroll kompresörü tekrar tasarlayarak analiz etmiştir. Deneydeki hacim değişimi 53 ve 72 cm³ olarak belirlenmiştir.

Mathias vd. (2009), çizelge 1.1.'de belirtildiği gibi ORC sisteminde soğutucu scroll kompresörü modifiye ederek kullanmıştır. Modifiyeli kompresör maksimum çıkış gücü 2.96 kW ve maksimum izantropik verim % 83 olarak bulunmuştur.

Bracco vd. (2013), çizelge 1.1.'de gösterildiği gibi R245fa akışkanının kullanıldığı ORC sistemin analizini yapmıştır. ORC sistemine hermetik scroll kompresörü modifiye ederek entegre etmiştir. Deneysel çalışma sonucunda scroll genişleticinin maksimum çıkış gücü yaklaşık 1.5 kW olarak ölçülmüştür.

Çizelge 1.1. Hermetik genişletici entegre edilmiş ORC sistemleri

| Araştırmacı | Çalışma Akışkanı | Genleşme Oranı | Dönme Hızı [Dev/dak] | Şaft Gücü [kW] | İzantropik Verim [%] |
|-------------|------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| Zanelli vd. | R134a | 2.4 - 4.0 | 3000 - 4200 | 1 - 3.5 | 43 - 65 |
| Kane vd. | R134a, R123 | 1.6 - 4.8 | | 3 - 10 | 50 - 68 |
| Mathias vd. | R123 | 3.1 - 8.8 | 3670 | 1.04 -2.96 | 50 - 83 |
| Bracco vd. | R245fa | 5 - 6.5 | 3000-4500 | 1 - 1.5 | 57 -75 |

Yarı hermetik scroll genişletici, son yıllarda elektrikli ve hibrit araçlardaki hızlı gelişmeler küçük ve hafif yarı hermetik otomotiv scroll kompresörler ORC araştırmalarında ilgi çekici bir hale geldi. Yarı hermetik scroll kompresörler, soğutma amaçlı hermetik scroll kompresörler ile kıyaslandığında bu tip scroll kompresörlerin nispeten daha kompakt yapıya sahiptir ve daha kolay modifiye edilebilir.

Hoque (2011), çizelge 1.2.'de verildiği gibi $6.21 \text{ m}^3/\text{h}$ ve nominal motor gücü 1.5 kW olan beş adet yarı hermetik otomotiv A/C scroll kompresörü ORC sisteme entegre ederek deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmada ORC sistem için çalışma sıvısı R134a kullanılmıştır. Deney sonucunda genişleticinin maksimum izantropik verimi yaklaşık % 80 olarak hesaplanmıştır.

Liu vd. (2013), çizelge 1.2.'de gösterildiği gibi küçük ölçekli ORC bir sistem için scroll genişletici tasarladılar ve test ettiler. Çalışmada ilk başlarda izantropik verim artış gösterse de dönme hızı $1200 - 2100 \text{ dev/dak}$ aralığında azalma olduğu saptanmıştır. Scroll genişleticinin verim ve güç çıkışı ve genel sistem verimliliği benzer değişim eğilimi göstermektedir. Genişleticinin maksimum izantropik verimi 1540 dev/dak ' da sadece % 36.4 olarak ölçüldü. Dönme hızındaki artışla birlikte genişleticinin volümetrik verimi lineer bir artış göstererek % 40-63 arasında değişmiştir.

Jradi vd. (2014), çizelge 1.2.'de belirtildiği gibi kompakt yarı hermetik scroll kompresör ile mikro güneş ve biyokütle ORC sisteminin deneysel araştırılması için genişletici olarak hibrid bir aracın klima sisteminde kullanılmıştır. Sistemde çalışma akışkanı olarak HFE-7100 seçilmiştir. Sistemin genişleme oranı 4.6 ve genişleticinin çıkış gücü 0.5 kW ölçülmüştür. Sistemin izantropik verimi % 75 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1.2. Yarı hermetik genişletici entegre edilmiş ORC sistemleri

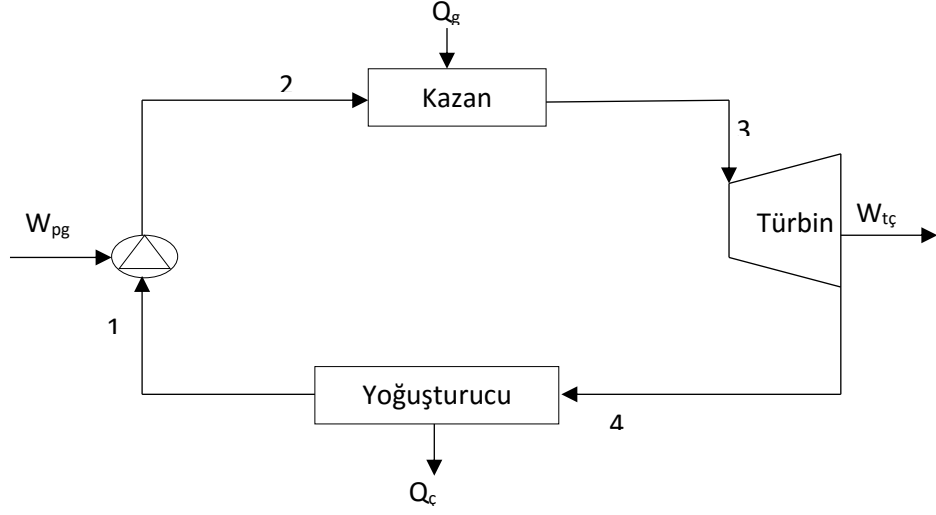
| Araştırmacı | Çalışma Akışkanı | Genleşme Oranı | Dönme Hızı [Dev/dak] | Şaft Gücü [kW] | İzantropik Verim [%] |
|-------------|------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| Hoque | R134a | 2.5 - 3 | 2000 | 1.5 | Max:80 |
| Liu vd. | R123 | 4.4 - 4.8 | 1200 - 2100 | 0.46 - 0.76 | Max:36.4 |
| Jradi vd. | HFE-7100 | 4.6 | | Max:0.5 | Max:75 |

Açık sürüclü scroll genişleticiler ise açık sürüclü scroll kompresörlerin modifiye edilmesi ile elde edilir. Açık sürüclü scroll kompresörler araç iklimlendirme sistemlerinde geniş bir kullanım alanı vardır. Kasa içinde elektrikli motor bileşeni olmadan kompresör dış kayış kasnağı ile araç motor mili ile tahrik edilir. Scroll kompresörlerin bu tipi genellikle kompresörün kendisi ve dış tertibattan oluşur. Scroll kompresör genişleticiye dönüştürüldüğünde kayış kasnağı ve kavrama düzeneği genişletici ile elektrik jeneratörü arasında uygun bir bağlantı kontrolü gibi davranır. Elektrik jeneratörü kayış kasnak çapı değiştirilerek genişleticinin hızı kontrol edilebilir (Song vd., 2014).

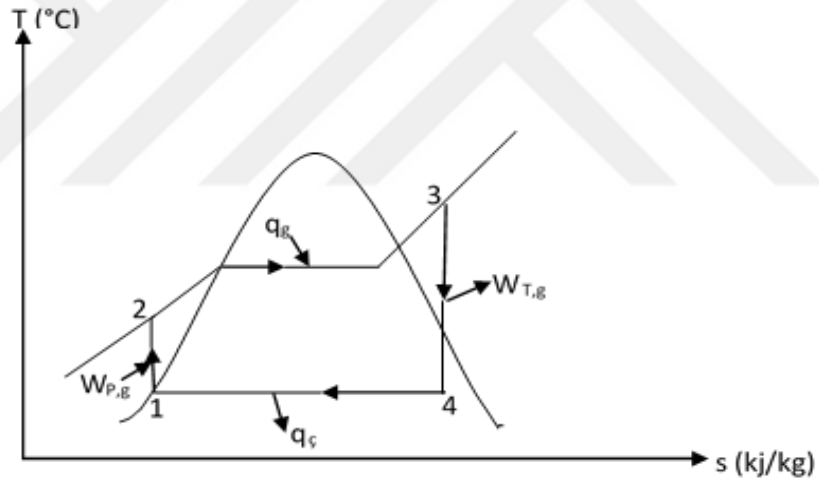
Saitoh vd. (2007), küçük ölçekli güneş enerjisi tabanlı ORC sisteminde deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmada scroll kompresör genişletici olarak kullanılmıştır. Genişletici çıkış performans değeri ölçülmüştür. Laboratuvar testlerinde, genişleticinin maksimum çıkış gücü 0.45 kW ve dönme hızı 1800 dev/dak olarak belirlenmiştir.

1.3. İdeal Rankine Çevrimi

İdeal Rankine çevrimi, bir ısı kaynağından aldığı ısıyı işe dönüştüren bir çevrimdir. Buharlı güç üretim sahalarında kullanılan bu çevrimde temel eleman olarak; kazan, türbin, yoğurturucu ve pompa bulunmaktadır. Şekil 1.5’de ideal Rankine çevriminin tesisat şeması ve şekil 1.6’da T-s diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.5. İdeal Rankine çevrimi



Şekil 1.6. İdeal Rankine çevriminin T-s diyagramı

İdeal Rankine çevrimi, içten tersinmezliklerin olmadığı dört hal değişiminden oluşur;

- 1-2 Pompada izantropik sıkıştırma
- 2-3 Kazanda sabit basınçta ısı girişi
- 3-4 Türbinde izantropik genişleme
- 4-1 Yoğuşturucu da sabit basınçta ısı atılması

Su pompaya 1 halinde doymuş sıvı olarak girer ve burada izantropik olarak kazan çalışma basıncına kadar sıkıştırılır. Sıkıştırılmış su kazana 2 halinde girer ve kazandan 3 halinde kızgın buhar olarak çıkar. Kızgın buhar 4 halinde türbinde izantropik olarak genişlerken, elektrik jeneratörüne bağlı olan türbin milini döndürerek iş üretir (Çengel ve Boles, 2008).

1.4. Organik Rankine Çevrimi

Organik Rankine çevrimi ısı enerjisini işe çeviren termodinamik bir döngüdür ve bu çevrimde iş akışkanı olarak su kullanılmaktadır. Suyun dezavantajlarından dolayı son yıllarda su yerine sudan daha yüksek moleküler kütlesi olan hidrokarbon bileşenli akışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu akışkanların kullanılması ile bu sistemler organik Rankine çevrimi adını almıştır. ORC sistemler çoğunlukla biyokütle, egzost gazı, güneş enerjisi, jeotermal vb. uygulamalarda oldukça yaygın enerji üretim prosesleri arasına girmiştir (Cihan, 2014; Gang vd., 2010; Roy vd., 2010; Gozdur vd., 2007).

Düşük sıcaklıkta enerji üretim çevrimlerinden olan organik Rankine çevrimi küçük ölçekli enerji üretim sistemlerinde genellikle tercih edilen bir çevrimdir. Organik Rankine çevrimlerinde kullanılan çalışma sıvısı ise organik soğutucu gazlar olduğu için çevreye duyarlı bir çevrim olduğundan da söz edilebilir.

Isıdan elektrik üretimini esas alan bir ORC teknolojisi, buharlaştırıcı içerisindeki organik çalışma sıvısını buharlaştırmak için sıcak kaynaktaki ısıyı kullanır. Bu kaynaktan gelen ısı buharlaştırıcıda akışkana ısını aktarır ve akışkan buhar haline gelir. Seçilen çalışma sıvısı silikon tabanlı sıvılar olmasının yanı sıra düşük sıcaklıklar için hidrokarbon veya soğutucu akışkanlarda kullanılabilir. Basınçlı buhar daha sonra türbinlere yollanır ve jeneratörle birleştiğinde elektrik üretir. Yüksek basınç ve sıcaklıkta türbine gelen akışkan türbinde genişleyecek basınç ve sıcaklığı düşer. Basınç ve sıcaklığı düşen akışkan yoğuşturucuya gelir. Buhar, yoğuşturucu içinde tekrar sıvı hale yoğuşturulur. Yoğuşturucudan pompaya düşük basınç da gelen akışkanda tekrar sıvı pompası ile buharlaştırıcıya basılır ve sistemin çalışması bu şekilde tekrarlanır. Sıcak sıvı yakıt kaynağı olarak kullanıldığından yakıt maliyeti çok

düşüktür. Ayrıca hiçbir yanma prosesi gerçekleşmediğinden, ORC enerji sisteminde atmosfere zararlı hiçbir emisyon salınımı oluşmaz (Yılmaz, 2013).

Organik Rankine çevrimi beş ana bileşenden meydana gelmektedir. Bunlar; pompa, evaporatör, türbin, kondenser ve çalışma akışkanıdır. Evaporatör ve kondenser sistemde ısı değiştirici gibi çalışırlar. Bununla birlikte çevrime ısı girişi evaporatör aracılığıyla yapılırken çevrimden ısı çıkışını kondenserle yapılır (Yılmaz, 2013; Saitoh vd., 2007).

Bu çalışmanın amacı, organik Rankine çevrimlerinden elektrik üretebilmek için gerekli olan türbin yerine geçebilecek scroll tip kompresörlerin genişletici (expander) olarak çalıştırılmasının araştırılmasıdır. Bu ihtiyaç, organik Rankine çevrimlerinde çalıştırılabilecek düzeyde mikro türbin bulunamamasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada scroll genişletici ile elektrik üretimi için basınçlı hava kullanılacaktır. Böylelikle organik Rankine çevrimlerinde kullanılan akışkanlara da uygulanabileceği gösterilecektir.

Bunun için scroll kompresör öncelikle scroll genişletici haline getirilecek ve farklı sıcaklık, basınç ve debide hava ile hesaplanarak scroll genişleticinin elektrik üretim potansiyeli belirlenebilecektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Spiral kompresör düşüncesi 1900'lü yıllara kadar uzanır. 20. yüzyılın ikinci yarısında hassas işleme teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte prototip spiral kompresörlerin imalatını kolaylaştırdı. Bununla birlikte özellikle Amerika ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerde teknolojik ilerlemeler devam etti ve yirminci yüzyılların sonlarına doğru HVAC ve soğutma uygulamalarında kullanılmaya başlandı. Bugün ise, spiral kompresörler konut uygulaması, ticari işleri ve organik Rankine çevrimi gibi güç üretim sistemlerinde kullanılmaktadır.

Bayır (2008), yaptığı tez çalışmasında farklı tipteki ve markadaki scroll ve pistonlu tip kompresörlerin performans tablolarını oluşturarak isentropik verim, basınç oranı, emiş hacmi, hacimsel verim ve soğutma etkinlik katsayısını hesaplamıştır. Ayrıca scroll ve pistonlu tip kompresörlerin kapasite ve verimlerinin çalışma şartları ile değişimini incelemiş ve karşılaştırmasını yapmıştır. Farklı tipteki kompresörler için soğutma kapasitesi ve verimin, basınç oranı, yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıkları ile değişimini araştırarak grafikler halinde sunmuştur. Son olarak, scroll tip bir soğutma kompresörünün katalog değerleri ile deney sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Lemort vd. (2009), scroll tip genişleme elemanın iş akışkanı olarak HCFC-123 kullanan bir organik Rankine çevrimine entegre edilerek deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca yarı deneysel model oluşturarak genişleme elemanın performansını 8 farklı parametre için incelemişlerdir. Modeldeki birincil öneme sahip değişkenler kütleli debi, elde edilen şaft gücü ve tahliye sıcaklığı olup ikincil öneme sahip değişkenler ise sağlanan ısı, egzoz soğutması çevresel kayıplar, içteki sızıntılar ve mekanik kayıplardır. Model ve deneyler arasındaki maksimum sapma her bir eleman için şu şekildedir: kütleli debi için % 2, şaft gücü için % 5 ve tahliye sıcaklığı için 3 K olarak belirlemişlerdir.

Quoilin vd. (2010), scroll tip genişleme elemanı kullanan iş akışkanı olarak da HCFC-123 seçilen bir organik Rankine çevriminin sayısal modelini oluşturmuşlar ve deneysel olarak araştırmışlardır. Isı değiştiricileri, pompa ve genişleme elemanı için alt modeller oluşturmuşlardır. Yaptıkları çalışmada scroll tip genişleme elemanı kullanan organik Rankine çevriminin performansını deneysel olarak incelemişlerdir ve

modelleri yaptıkları deneylerle doğrulamışlardır. Ayrıca, sistem performansı etkileyen bazı iyileştirmeleri belirtmişlerdir.

Orallı (2010), yaptığı tez çalışmasında scroll tip kompresörü genişletici gibi kullanarak Rankine çevrimi uygulamasında güç üretimi için karşılaştırmalı matematiksel model oluşturmuş altı farklı iş akışkanı için sistem performansını incelemiştir. En yüksek ısı verimi R404a akışkanı için % 18 olarak bulmuştur. Genişletici geometrisi modifiye edildiğinde ise aynı akışkan için enerji veriminin % 19'dan % 25'e, ekserji veriminin ise % 50'den % 61'e yükseldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, spiral geometrisinin çevrimi üzerinde etkili olduğunu tespit etmiştir.

Tarique (2011), yaptığı tez çalışmasında seçtiği scroll tip kompresörü ters çevirerek organik Rankine sisteminin genişletici olarak kullanmış ve sistem performansını deneysel olarak incelemiştir. Üç farklı deneysel sistem dizayn etmiş, kurmuş ve farklı çalışma şartları altında R134a iş akışkanı kullanarak genişleticinin optimum performans parametrelerini belirlemek için güç üretimini incelemiştir. Ayrıca, birinci ve ikinci kanun analizleri ışığında sistemin termodinamik analizini gerçekleştirmiş ve sistemin optimum parametrelerini belirlemiştir. Gerçekleştirdiği analiz sonucunda 120 °C'lık ısı kaynağı için sistemin enerji ve ekserji verimlerini sırasıyla % 5 ve % 30 olarak hesaplamıştır.

Lu vd. (2012), 70-120°C aralığındaki güneş enerjisini kullanan küçük ölçekte elektrik üretimi için scroll tip genişleme elemanı kullanarak güneş enerjisi destekli organik Rankine çevriminin verimliliğini teorik olarak incelemişlerdir. Altı farklı iş akışkanın seçilerek sistemin termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Birinci ve ikinci kanun analizleri sonucunda sistemin en uygun iş akışkanlarını R600 ve R600a olarak belirlemişler; sistemin birinci ve ikinci yasa verimlerini yaklaşık olarak sırasıyla % 18 ve % 65 olarak hesaplamışlardır. Scroll tip genişleme elemanın enerji ve ekserji verimlerini de sırasıyla % 33 ve % 27 olarak bulmuşlardır.

Yamada vd. (2013), scroll tip genişleme elemanı kullanarak düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından beslenen bir Pompasız Rankine Çevriminin (PRÇ) performansını deneysel olarak belirlemeye çalışmışlardır. PRÇ sistemi temel olarak scroll tip genişleme elemanından, iki tane ısı değiştiriciden ve kontrol valflerinden

oluşmaktadır. Ayrıca mevcut sistemle konvensiyonel organik Rankine çevriminin ayrıntılı karşılaştırmasını da araştırmışlardır. Pompasız sistemden 20 W'lık güç üretimi gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, belirlenen ısı veriminin genişleticinin izantropik veriminden dolayı düşük olmasına rağmen sistemden gerçek güç üretilebileceğini belirtmişlerdir. Tüm bunların yanında genişleme elemanındaki kaçak, mekanik ve genişleme kaçıklık kayıplarının en büyük kayıplar olduğunu tespit etmişlerdir.

Gao vd. (2015), bir organik Rankine çevrimi oluşturmak için test düzeneği kurmuşlar ve bunun için de scroll tip genişleme elemanı kullanmışlardır. Sıkıştırılmış hava kullanılarak scroll tip genişleme elemanının izantropik verimini incelemişler ve iş akışkanı olarak da R245fa kullanmışlardır. Sistemin termodinamik analizlerini gerçekleştirerek enerji ve ekserji verimlerini belirlemişlerdir. 105 °C'lık bir ısı kaynağı için sistemin enerji verimi % 1,7 ve % 3,2 arasında, ekserji verimi de % 8,6 ve % 16,9 arasında değiştiğini saptamışlardır.

Lu vd. (2015), scroll tip genişleme elemanı kurmuşlar ve benzer çalışma şartları altında bir emme kojenerasyon sisteminde performansını simüle etmek için test etmişlerdir. Giriş basıncı ve hacimsel debi arasında ilişkiyi deneysel olarak kurmuşlar ve test koşulları altında hacim oranını 2.80 olarak almışlardır. Scroll tip genişleme elemanından elektrik üretmek için minimum başlangıç durumunu 145 kPa olarak belirlemişlerdir. Farklı giriş sıcaklıkları için iki farklı giriş basıncının güç üretimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Üretilen maksimum güç üretim miktarını 360 W olarak hesaplamışlardır.

Wu vd. (2015), küçük ölçekli bir organik Rankine çevrim sistemi kurarak scroll tip genişleme elemanının performansını farklı çalışma koşulları altında deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. İş akışkanı olarak R123 akışkanını kullanmışlardır. Sayısal modeli genişleme elemanının performansını tahmin etmek için oluşturmuşlar ve deney sonuçlarıyla simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda maksimum çıkış gücünü, maksimum izantropik verimi ve maksimum dönme hızını sırasıyla 1540 W, % 86 ve 2165 rpm/dak olarak hesaplamışlardır. Ayrıca sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki ortalama sapma oranını da % 18,9 olarak bulmuşlardır.

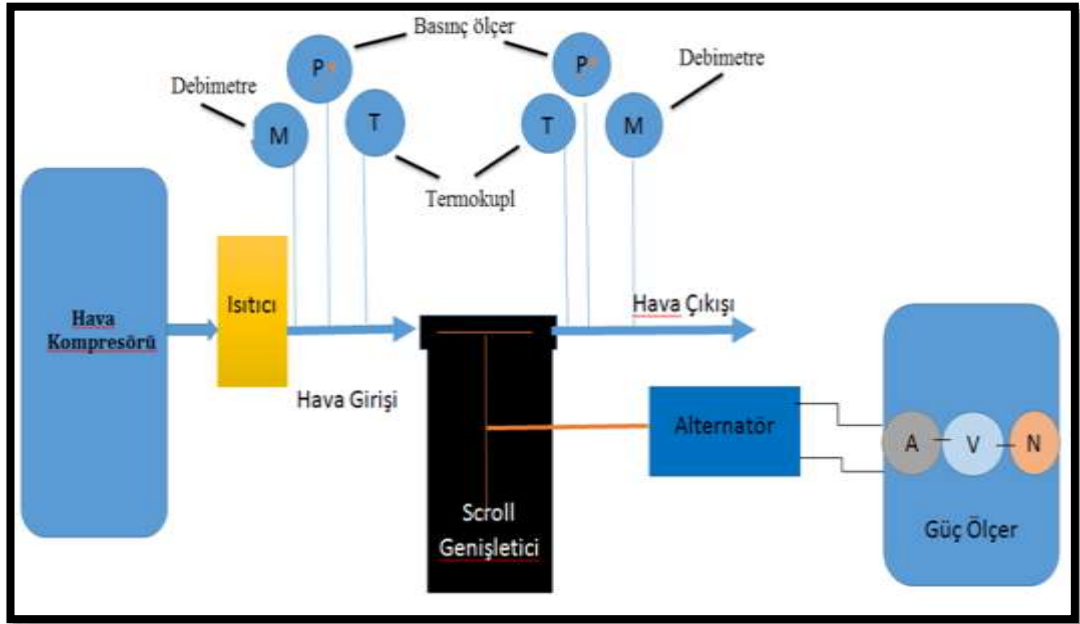
Bu tez çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, genellikle organik Rankine çevriminde kullanılan mikro türbinlerinin zor bulunmasından dolayı türbin yerine scroll tip genişletici kullanılmasıdır. Bu sistemde hava bir kompresör yardımıyla basınçlandırılarak scroll tip genişleticiye gönderilir ve elektrik üretilir. Farklı noktalarda basınç, sıcaklık ve hacimsel debi ölçülecek ve çıkışta elde edilen voltaj ve akım belirlenerek elde edilen elektriksel gücü hesaplanmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Seti ve Elemanları

Bu tez çalışmasında, scroll tip kompresör ters çevrilerek genişleme elemanı gibi çalıştırılmış ve ısıtıcıdan gelen havayı genişletici üzerinden geçirerek elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı noktalardan sıcaklık, basınç ve kütleli debi değerleri ölçülmüş; ayrıca genişleticide elde edilen akım ve voltaj değerleri ölçülerek elde edilen elektriksel gücü belirlenmiştir. Ayrıca sistemin enerji ve ekserji analizlerini yapabilmek için gerekli olan parametreler belirlenerek ısı verim, ekserji yıkımı, ekserji verimi, entropi üretimi hesaplanmıştır. Farklı basınç ve sıcaklık değerlerine göre elde edilen elektriksel gücü, giriş ve çıkış hacimsel debileriyle hacimsel debi oranının değişimleri incelenmiştir. Basınç ve sıcaklık değişimlerinin sistem ısı verimi, genişleticinin izentropik verimi, her bir elemanın ekserji yıkımı ve sistemin ekserji verimi üzerindeki etkileri grafikler yardımıyla incelenmiştir. Hesaplamalarda Mühendislik Denklem Çözücüsü (EES) adlı program ve akışkan olarak da hava kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Scroll tip genişletici kullanan güç üretim sisteminin şematik görünümü



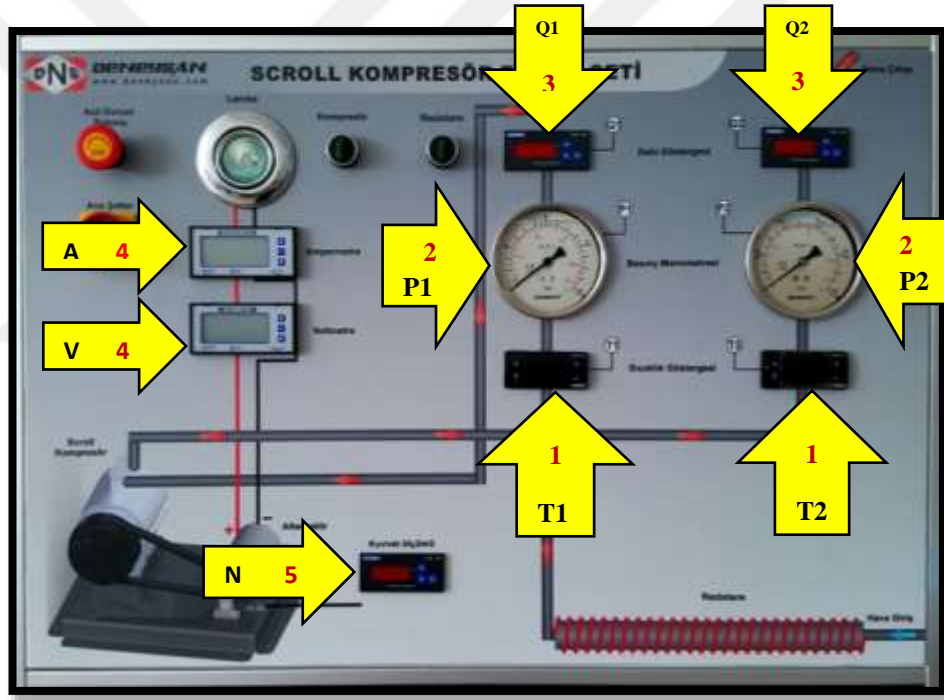
Şekil 3.2. Scroll tip genişletici kullanan güç üretim sisteminin görünümü

Deneysel olarak incelenen scroll tip genişletici sisteminin şematik görünümü Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Deneysel sistem temelde hava kompresörü, akımölçer, ısıtma bobinleri ve scroll tip genişleticiden oluşmaktadır. Ortamdan alınan hava öncelikli olarak kompresörde basınçlandırılarak sisteme gönderilir. Isıtıcı vasıtasıyla sıcaklığı yükselen havanın ısıtıcı çıkışında basıncı, sıcaklığı ve hacimsel debisi ölçülür. Daha sonra ısınan hava, scroll tip genişleticiden geçerken güç üretilir. Genişleticiden çıkan havanın sıcaklığı, basıncı ve hacimsel debisi ölçülerek ortama verilir. Genişleticide üretilen mekanik enerji alternatör vasıtasıyla elektriğe çevrilir. Elektrik üretim ünitesi ise genişletirici, genişletiriciden güç çıkışını hesaplamak için tork ve hız edinebildiğimiz tork ölçer, jeneratör, güç ölçer ve yük bankası içerir. Genleştiricinin güç çıkışı ilk olarak tork ölçere taşınır, esas olarak elektriği veren jeneratöre güç girişi ölçülür. Gerçek elektrik çıktısı jeneratör ve yük bankası arasındaki güç ölçerle ölçülür.

3.2. DeneYlerin Yapılması ve Deney Seti Üzerinde Okunan Değerler

Deney seti üzerinde okunan değerler aşağıda verilmiş ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

1. Hava giriş ve çıkış sıcaklıkları (Sırasıyla T1 ve T2, °C)
2. Hava giriş ve çıkış basınçları (Sırasıyla P1 ve P2, bar)
3. Hava giriş ve çıkış debileri (Sırasıyla Q1 ve Q2, m³/h)
4. Scroll tip genişletici ürettiği akım ve gerilim değerleri (Sırasıyla Ampermetre ve voltmetre, Amper ve Volt)
5. Scroll tip genişletici bağlı olduğu alternatörün dönerken uyguladığı kuvvet değeri (Kuvvet ölçümü, Newton)



Şekil 3.3. Deney seti üzerinde okunan değerler

3.3. Cihazın Tanıtımı ve Ölçü Aletleri

Bu bölümde deney setini ana elemanları özellikleri ile beraber tanıtılacaktır.

3.3.1. Hava kompresörü

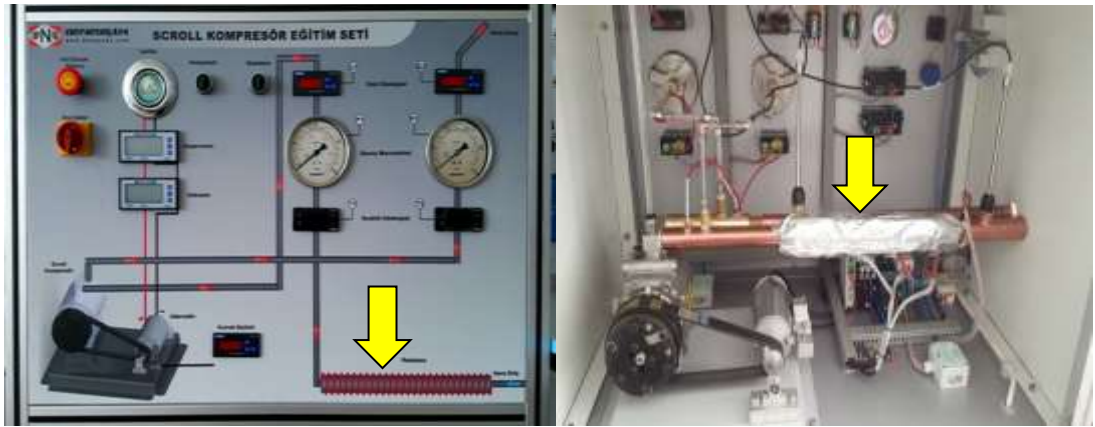
Şekil 3.4'te hava kompresörünün görüntüsü mevcuttur. Ortamdan alınan hava kompresör tarafından basınçlandırılarak sisteme gönderilir ve ısıtıcıda ısıtılır. Kullanılan kompresörün teknik özellikleri şöyledir: Hacmi 200 litre, test basıncı 13,5 bar, maksimum çalışma basıncı 9 bar ve test şekli de hidroliktir.



Şekil 3.4. Hava kompresörü

3.3.2. Rezistans

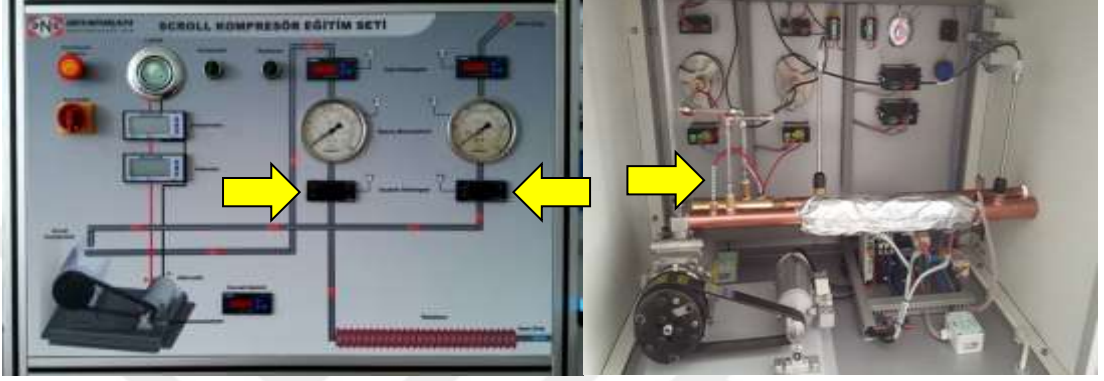
Şekil 3.5'te sistemde kompresörden gelen havayı ısıtmak için kullanılan rezistans görülmektedir. Sisteme ısı girişi modellemek için, havanın geçtiği borunun içine elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiş ve borunun çevresi de yalıtılmıştır. Rezistansın maksimum sıcaklık sınırı 60 °C'dır.



Şekil 3.5. Rezistans

3.3.3. Termokupl

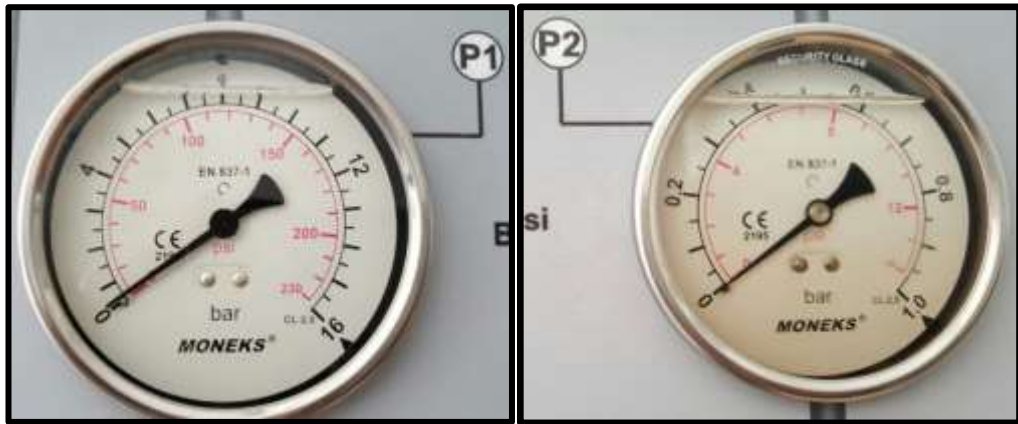
Şekil 3.6'de deney setindeki termokupllar (sıcaklık ölçerler) görülmektedir. Termokupllar, genişletici girişi ve çıkışına yerleştirilmiştir. K tipi termokupl kullanılmış olup, markası Emko (ESM3710- N)'dur. Termokuplun hata oranı $\pm 1 \%$ değerindedir. Çalışma sıcaklığı ise -40 C° ile 80 C° arasındadır.



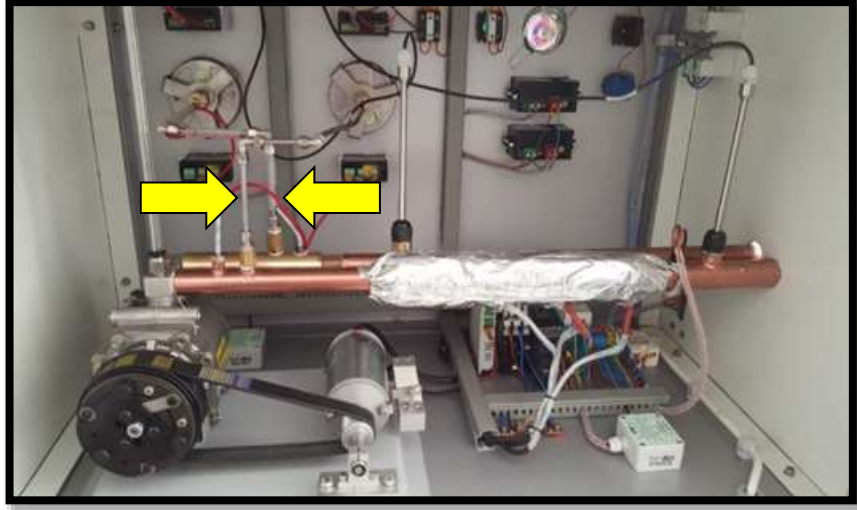
Şekil 3.6. Termokupl

3.3.4. Manometre

Şekil 3.7 ve 3.8'de kullanılan manometreler görülmektedir. Scroll tipi genişletici giriş ve çıkışında olmak üzere toplam 2 tane manometre kullanılmıştır. Her iki manometrenin markası Moneks olup sırasıyla girişteki ve çıkıştaki manometrelerin maksimum basınçları 16 bar, 230 psi ve 1 bar, 14 psi'dir.



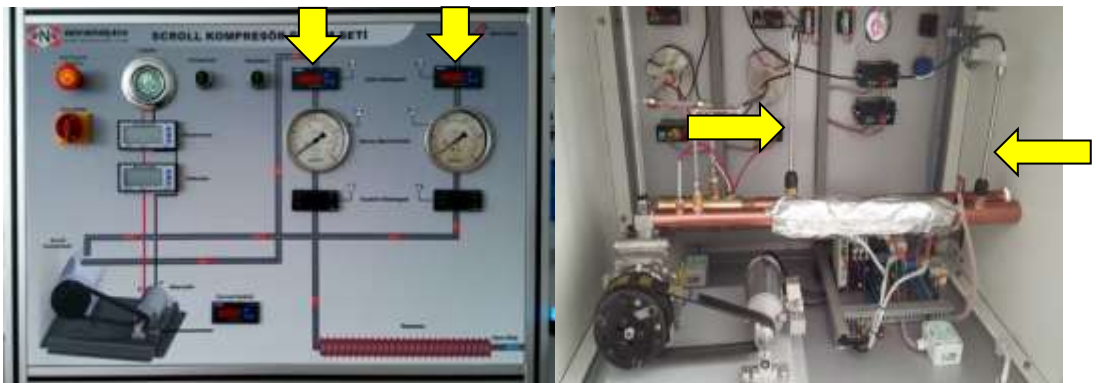
Şekil 3.7. Basınç manometresi göstergesi



Şekil 3.8. Basınç manometreleri

3.3.5. Debimetre

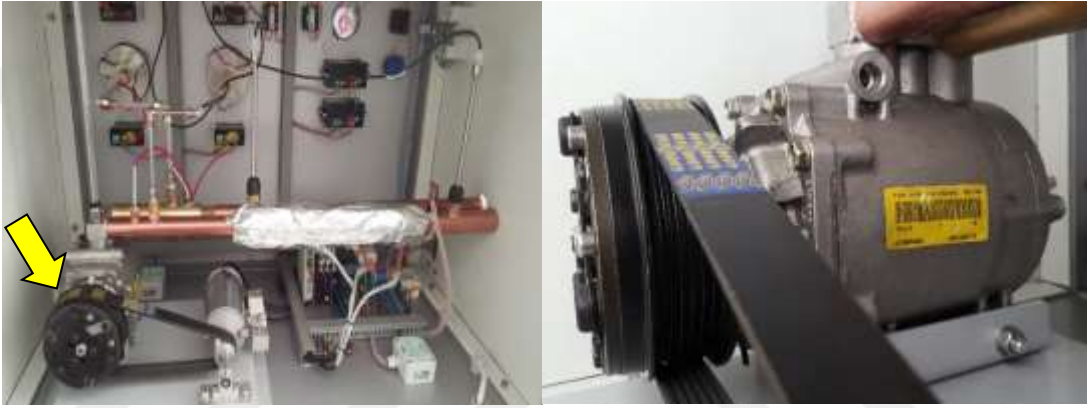
Şekil 3.9’de kullanılan debimetreler görülmektedir. Debimetre modeli HD403TS olup, debimetredeki hava hızı standart ölçüm aralığı 0.05 m/s - 5.00 m/s arasındadır. Cihazın hata oranları ise $\pm 0.03 \%$ ’dür. Bir tane ısıtıcı girişinde bir tane de genişletici çıkışında olmak üzere toplam 2 adet hacimsel debi ölçer kullanılmıştır. Hava debisini ölçen bu cihazlar rotametre de olarak da adlandırılmaktadır. Bu tür cihazlar herhangi bir akan havanın debisini ölçmede kullanılır. Kullanılan debimetrenin gösterge markası Emko, Esm-3700’dir.



Şekil 3.9. Debimetreler

3.3.6. Scroll tip genişletirici (Scroll tip araç kompresörü)

Araçlarda genellikle klima için tasarlanmış küçük kütleli akışkanlarla çalışmaya uyumlu alüminyum gövdeden imal edilmiş pistonlu tip kompresörler kullanılır. Dairesel hareketi doğrusala çevirmek için çalkantı plakası kullanılmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde mobil klima uygulamalarında pistonlu araç kompresörleri yerini paletli ve scroll tip araç klima kompresörlerine bırakmaktadır. Bu çalışmada da scroll tip kompresör ters çevrilerek genişletici olarak kullanılmıştır. Genişletici, Şekil 3.10'de gösterilmiştir.

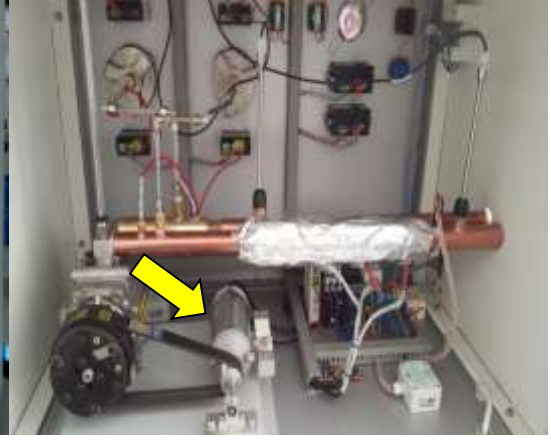


Şekil 3.10. Scroll tipi genişletirici

Şekil 3.11'de genişleticiden elde edilen mekanik enerjiyi DC elektriğe dönüştüren alternatör görülmektedir. Ayrıca 3.12'de ise ampermetre ve voltmetre görülebilir. Ampermetrenin akım aralığı 1A-10000A(10kA) aralığında olup, hata oranı ise %0,5'dir. Voltmetrenin gerilim aralığı ise +/- 200V olup hata oranı ise %0,5'dir.



Şekil 3.12. Ampermetre ve voltmetre



Şekil 3.11. Alternatör



4. TERMODİNAMİK ANALİZ

Termodinamik, enerji bilimi olarak tanımlanabilir. Değişikliklere neden olan faktör ise enerji olarak adlandırılır. Eski zamanlarda ısıyı işe dönüştürme olarak düşünülen termodinamik, günümüzde ise soğutma, güç üretimi ve enerji dönüşümlerinin tüm yönlerini içermektedir.

Enerjinin korunumu ilkesi, doğanın en temel yasalarından biridir. Bu ise termodinamiğin birinci yasası olarak anıla gelmiştir. Bu yasa, bir işlem boyunca enerjinin bir biçimden başka bir biçime dönüşebileceğini, fakat toplam miktarında değişiklik olmayacağını belirtir. Bir başka deyişle enerji vardan yok edilemez, yoktan da var edilemez olduğunu ispatlar.

Termodinamiğin ikinci yasası ise, enerjinin niceliğinin (miktarı) yanında niteliğinin (kalite) de göz önünde bulundurulması gerektiği üzerinde durur ve doğadaki tüm değişimlerin enerjinin niteliğinin azaldığı yönde gerçekleştiğini söyler. Bu yasaya göre yazın sıcak bir ortama bırakılan soğuk bir içecek ortam ısı alışverişi sonucunda ısınacaktır. Fakat bunun tersine olarak dışarıdan herhangi bir zorlama olmadığı müddetçe soğuk içecek daha da soğumayacaktır.

Bir sistemin çalışması için termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına uyması gerekir. Ayrıca termodinamik sistemler, birinci ve ikinci kanun analizleri yardımıyla daha verimli hale getirilebilir. Aşağıda açık sistemler için geçerli genel enerji ve ekserji denklemleri sunulmuştur (Çengel ve Boles, 2008).

4.1. Sürekli Akışlı Açık Sistemlerin I. Yasa Analizi

Sürekli akışlı açık sistemde zamanla değişmeyen bir akış vardır. Kontrol hacminin içinde, akışkan özellikleri bir noktadan diğer noktaya farklılık gösterebilirken verilen noktada zamanla değişmez.

4.1.1. Kütlenin korunumu

Sürekli akışlı açık sistemde kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanda değişmez ve sisteme giren kütle ile sistemden çıkan kütle birbirine eşittir. Birçok giriş ve çıkışı olan sürekli akışlı açık sistem için kütlenin korunumu ilkesi aşağıdaki gibidir (Çengel ve Boles, 2008).

(Birim zamanda giren toplam kütle) = (Birim zamanda çıkan toplam kütle)

$$\Sigma \dot{m}_g = \Sigma \dot{m}_ç \quad (4.1)$$

4.1.2. Enerjinin korunumu

Enerji analizi, termodinamiğin birinci kanunu olan enerjinin korunumu prensibine dayanır. Enerjinin korunumu denklemleri, sistem ile çevre arasında gerçekleşen iş ve ısı etkileşimlerinin net etkisinden türetilir. Sürekli akışlı açık sistemde kontrol hacminin toplam enerjisi sabit olduğu belirtilmiştir. Böylece kontrol hacmine ısı, iş ve kütle akışı olarak giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması gerekir. Sürekli akışlı açık sistemler için termodinamiğin birinci yasasına göre enerji korunumu aşağıdaki gibi yazılabilir (Çengel ve Boles, 2008).

$$\left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{sınırları geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{çıkan toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{giren toplam enerji} \end{array} \right)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma(\dot{m}h)_ç - \Sigma(\dot{m}h)_g \quad (4.2)$$

Yukarıdaki bağıntı genellikle enerjinin korunumuna karşılık gelmekte ve herhangi bir hal değişiminde gerçekleşen herhangi bir sistem için uygulanabilir olmaktadır.

4.2. Sürekli Akışlı Açık Sistemlerin II. Yasa Analizi

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumu yasasıdır. Birinci yasaya aykırı bir hal değişimi bugüne kadar görülmemiştir. Hal değişiminin gerçekleşebilmesi için

birinci yasanın sağlanması zorunludur. Fakat birinci yasanın sağlanması hal değişimin gerçekleşmesi için tek başına yeterli değildir.

Termodinamiğin ikinci yasası sadece hal değişimlerinin yönünü belirlemekle sınırlı değildir. İkinci yasa enerjinin niceliğinin yanında niteliğinde inceler. Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısıyı işe dönüştüren hiçbir makinenin verimi % 100 olamaz, yani ısının tamamı işe çevrilemez.

Sürekli akışlı açık sistemin birden çok girişi ve çıkışı olduğu, sistemin P_0 basıncında ve sıcaklığındaki çevre şartlarında ısı alış verişinde bulunabileceği kabul edilir. (Çengel ve Boles, 2008).

Bir sistemin toplam ekserjisi dört bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, fiziksel ekserji, kinetik ekserji, potansiyel ekserji ve kimyasal ekserjidir (Kızılkın, 2008).

$$\dot{E}_{\text{toplam}} = \dot{E}_{\text{fiziksel}} + \dot{E}_{\text{kinetik}} + \dot{E}_{\text{potansiyel}} + \dot{E}_{\text{kimyasal}} \quad (4.3)$$

Birim kütle başına ekserjiyi ifade eden toplam özgül ekserji ise şu şekilde ifade edilir.

$$e = e_{\text{fiziksel}} + e_{\text{kinetik}} + e_{\text{potansiyel}} + e_{\text{kimyasal}} \quad (4.4)$$

Buradaki kinetik ekserjiyi $V^2/2$ ve potansiyel ekserjiyi de gz olarak ifade edip üstteki eşitlik (4.4)'te yerine yazılırsa;

$$e = e_{\text{fiziksel}} + V^2/2 + gz + e_{\text{kimyasal}} \quad (4.5)$$

Eşitliği elde edilir. Bu problemlerde potansiyel ve kinetik ekserjiler ihmal edilirse eşitlik şu hale gelir (Bejan vd., 1996):

$$e = e_{\text{fiziksel}} + e_{\text{kimyasal}} \quad (4.6)$$

Analizi gerçekleştirelen sistem kararlı olduğu için sürekli akışlı açık sistemler için genel ekserji denge denkliği şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{E}_Q - \dot{E}_W = \sum_{\text{çıkan}} \dot{m} \cdot e - \sum_{\text{giren}} \dot{m} \cdot e + \dot{E}_D \quad (4.7)$$

Burada;

$$\dot{E}_Q = \dot{Q} \left[1 - \left(\frac{T_0}{T_k} \right) \right] \quad (4.8)$$

$$\dot{E}_W = W \quad (4.9)$$

$$\dot{E}_D = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (4.10)$$

olarak ifade edilir. Burada \dot{E}_Q ve \dot{E}_W sırasıyla ısı transferi ve mekanik enerjiye karşılık gelen birim zamandaki ekserjileri, e özgül ekserjiyi, T_0 referans sıcaklığını, T_k kaynak sıcaklığını, $\dot{S}_{\text{üretim}}$ entropi üretimini, \dot{E}_D birim zamanda meydana gelen ekserji yıkımını yani tersinmezliği temsil etmektedir (Çengel ve Boles, 2008).

Birim zamandaki ekserjinin kütle debisine oranı olarak tanımlanan özgül ekserji (fiziksel ekserji) herhangi bir durum (T, P) ile çevrenin sadece sıcaklığı (T_0) ve basıncı (P_0) ile dengede olan bir durum arasındaki ekserjidir (Kızılkkan, 2008).

Aksi belirtilmedikçe, ölü hal sıcaklığı ve basıncı $T_0=25^\circ\text{C}$ ve $P_0=1$ atm (101.325 kPa) olarak kabul edilecektir (Çengel ve Boles, 2008).

$$e = e_{\text{fiziksel}} + \frac{v^2}{2} + gz + e_{\text{kimyasal}} \quad (4.11)$$

$$e_{\text{fiziksel}} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.12)$$

İkinci yasa verimini tanımlamadaki amaç tersinir hal değişimlerine hangi ölçüde yaklaştığını belirlemektir. Bu bakımdan ikinci yasa veriminin değeri en kötü durumda sıfır, en iyi durumda bir olacaktır. Buna göre ikinci yasa verimi aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\eta_{\text{enerji}} = \frac{\text{sistemden elde edilen enerji}}{\text{sisteme sağlanan enerji}} \quad (4.13)$$

$$\eta_{\text{ekserji}} = \frac{\text{sistemden elde edilen ekserji}}{\text{sisteme sağlanan ekserji}} \quad (4.14)$$

$$\eta_{\text{ekserji}} = 1 - \frac{\text{ekserji yok oluşu}}{\text{sisteme sağlanan ekserji}} \quad (4.15)$$

Genişleticinin izantropik verimi de aşağıdaki denklem vasıtasıyla hesaplanmıştır:

$$\eta_{\text{izantropik}} = \frac{h_g - h_c}{h_g - h_{c,s}} \quad (4.16)$$

Burada h_g , h_c ve $h_{c,s}$ sırasıyla genişletici girişindeki gerçek entalpi, çıkışındaki gerçek entalpi ve çıkışındaki izantropik entalpi.

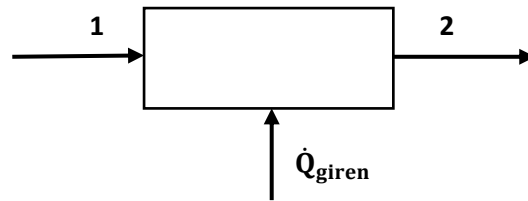
Hacimsel debi oranı da şöyle ifade edilebilir:

$$r = \frac{\dot{V}_c}{\dot{V}_g} \quad (4.17)$$

Burada r , \dot{V}_c ve \dot{V}_g sırasıyla hacimsel debi oranı, genişletici çıkışındaki hacimsel debi ve genişletici girişindeki hacimsel debidir.

4.3. Enerji Ve Ekserji Analizleri

4.3.1. Isıtıcı



$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} \quad (4.18)$$

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c \quad (4.19)$$

$$\dot{m} \cdot h_1 + \dot{Q}_{giren} = \dot{m} \cdot h_2 \quad (4.20)$$

$$\dot{Q}_{giren} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (4.21)$$

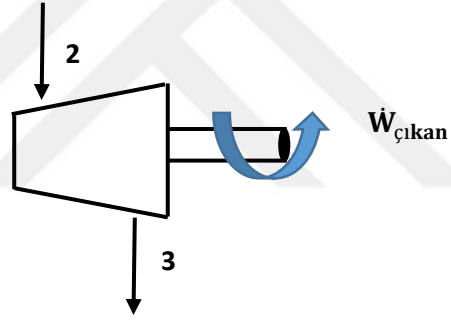
$$\dot{E}x_g = \dot{E}x_c + \dot{E}x_{yıkım,ısıtıcı} \quad (4.22)$$

$$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_Q = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{yıkım,ısıtıcı} \quad (4.23)$$

$$\dot{m} [(h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2)] + \dot{Q}_{giren} \cdot (1 - \frac{T_0}{T_k}) = \dot{E}x_{yıkım,ısıtıcı} \quad (4.24)$$

Burada sırasıyla g , c , Q , T_0 ve T_k sırasıyla giriş durumu, çıkış durumu, ısı miktarı, referans sıcaklığı ve kaynak sıcaklığını ifade etmektedir.

4.3.2. Genişletici



$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m} \quad (4.25)$$

$$\dot{E}g = \dot{E}c \quad (4.26)$$

$$\dot{m} \cdot h_2 = \dot{m} \cdot h_3 + \dot{W}_{çıkan} \quad (4.27)$$

$$\dot{E}x_g = \dot{E}x_c + \dot{E}x_{yıkım,genişletici} \quad (4.28)$$

$$\dot{E}x_2 = \dot{E}x_3 + \dot{W}_{çıkan} + \dot{E}x_{yıkım,genişletici} \quad (4.29)$$

$$\dot{E}x_{yıkım,genişletici} = \dot{m} [(h_2 - h_3) - T_0 (s_2 - s_3)] + \dot{W}_{çıkan} \quad (4.30)$$

4.4. Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmaların tümü, çeşitli nedenlerden dolayı hata içerir. Deneysel çalışmalarda yapılan bu hatalar genellikle üç grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi deneyi yapan araştırmacının dikkatsizlik ve tecrübesizliğinden ileri gelen hatalardır. Deney tesisatlarında kullanılan ölçme cihazlarının yanlış seçiminden veya ölçme sistemlerinin yanlış tasarımından kaynaklanan hatalar bu grup içinde düşünülebilir. İkinci grup hatalar sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalardır. Bunlar genellikle tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla tespit edilemeyen hatalardır. Üçüncü grup hatalar ise rastgele hatalardır. Bunlar ise; deneyi yapan kişilerin değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin zamanla azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, ölçme aletlerindeki histerizis olaylarından veya cihazların ısınması nedeniyle elektronik ölçme aletlerinde oluşan salınımlardan kaynaklanabilmektedir (Bilen, 2011).

Deneysel sonuçların geçerliliğinin belirlenebilmesi için mutlaka bir hata analizi yapmak gerekmektedir. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan parametrelere ait hata miktarlarının/oranlarının tespiti için pratikte bir kaç yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde, akılcı yaklaşım (commonsense basis) ve belirsizlik analizi (uncertainty analysis) yöntemleri en çok kullanılanlarıdır. Son yıllardaki çalışmalarda hata analizinde; ilk olarak Kline ve McClintock tarafından ortaya atılan ve diğerlerine göre daha hassas bir yöntem olan belirsizlik analizi yöntemi daha çok tercih edilmektedir (Bilen, 2011).

Belirsizlik analizi yönteminde ise herhangi bir deney tesisatı aracılığı ile tespit edilmesi/hesaplanması gereken büyüklük R, bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olduğunda; $R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ yazılabilir. Deneylerde etkili olan her bir bağımsız değişkene ait sabit hata miktarları (belirsizlikler); $\pm wx_1, \pm wx_2, \pm wx_3, \dots, \pm wx_n$ ise, R büyüklüğünün sabit hata miktarı (belirsizliği) $\pm w_R$ ise;

$$w_R = \pm \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} wx_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} wx_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} wx_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} wx_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.31)$$

şeklinde yazılabilir.

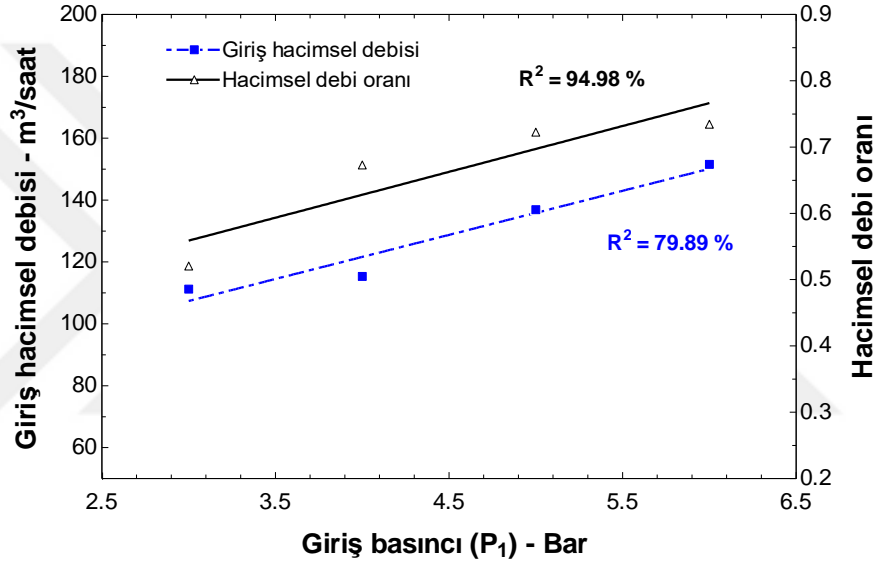
Çizelge 4.1. Sistemdeki Elemanların Hata Oranları

| Sistem Elemanları | Model | Doğruluk |
|-------------------|-----------------------|--------------|
| Debimetre | Emko, (Esm-3700- N) | ± 0.03 % |
| Termokupl | Emko (ESM3710- N) | ± 1 % |
| Manometre | Moneks | 0.5 % |
| Ampermetre | Entes | 0.5 % |
| Voltmetre | Entes | 0.5 % |

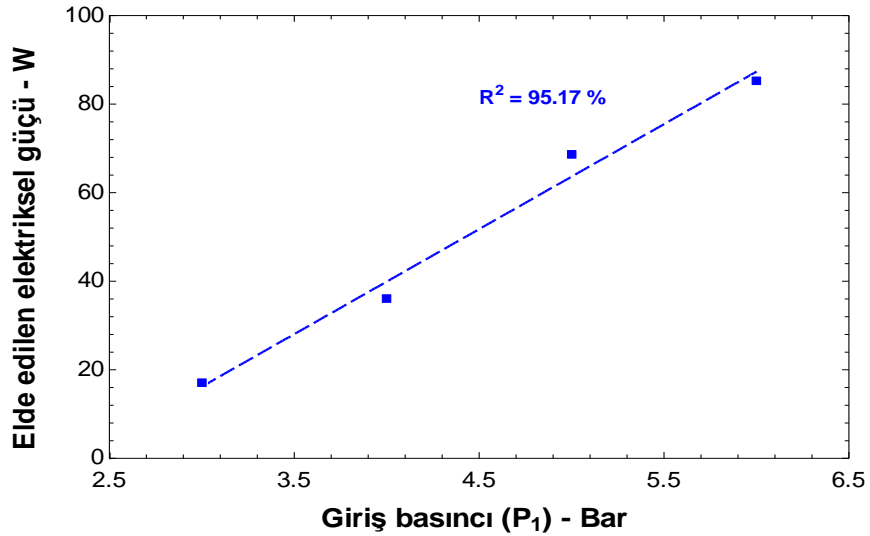
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan deneylerin sonuçları tartışılacaktır. Giriş basıncı, giriş sıcaklığı ve giriş hacimsel debisi, hacimsel debi oranına, elde edilen elektriksel gücüne, izantropik verimine, enerji verimine, ekserji verimine ve toplam ekserji yıkımına üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca giriş hacimsel debisi çıkış hacimsel debisine, hacimsel debi oranına ve elde edilen elektriksel gücüne üzerindeki etkisi de araştırılmıştır.

5.1. Giriş Basıncının Diğer Parametrelere Etkisi

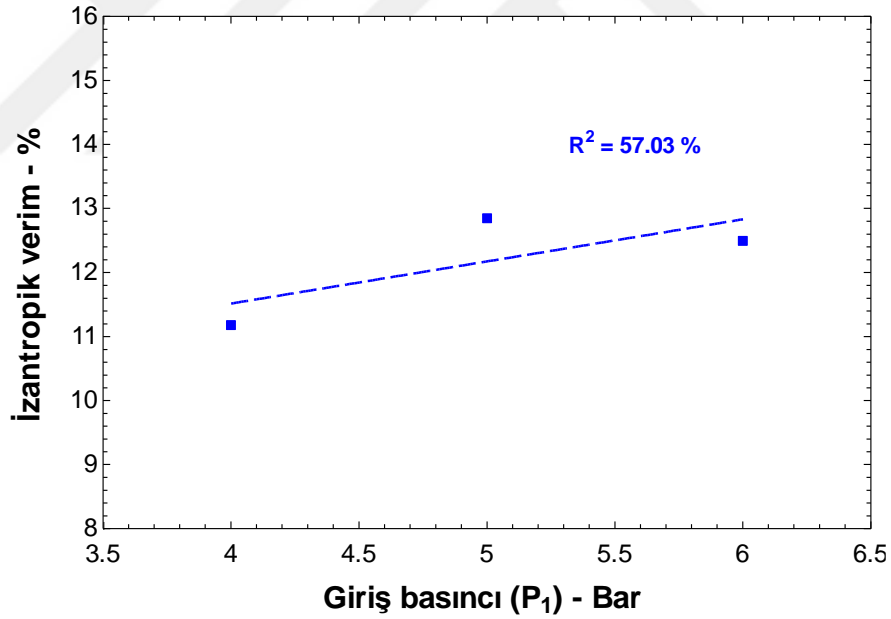


Şekil 5.1. Giriş basıncıyla giriş hacimsel debisi ve hacimsel debi oranının değişimi

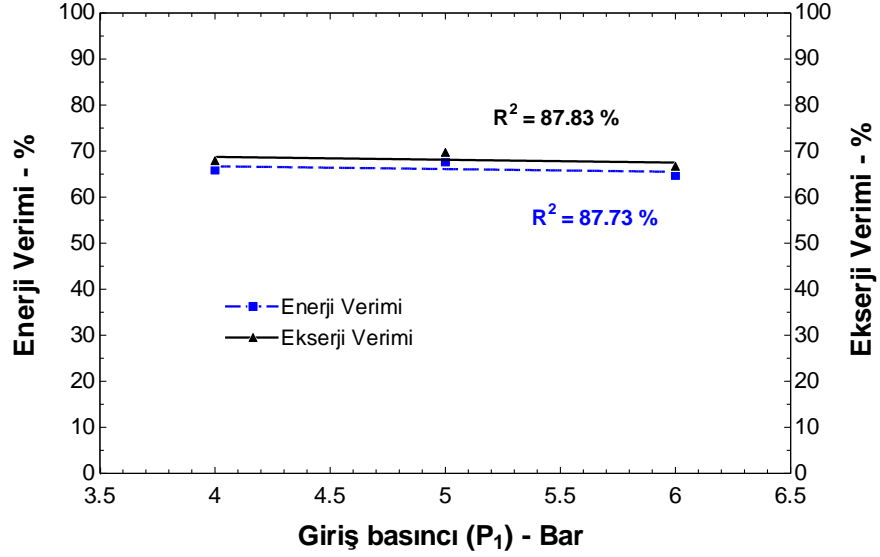


Şekil 5.2. Giriş basıncıyla elde edilen elektriksel gücünün değişimi

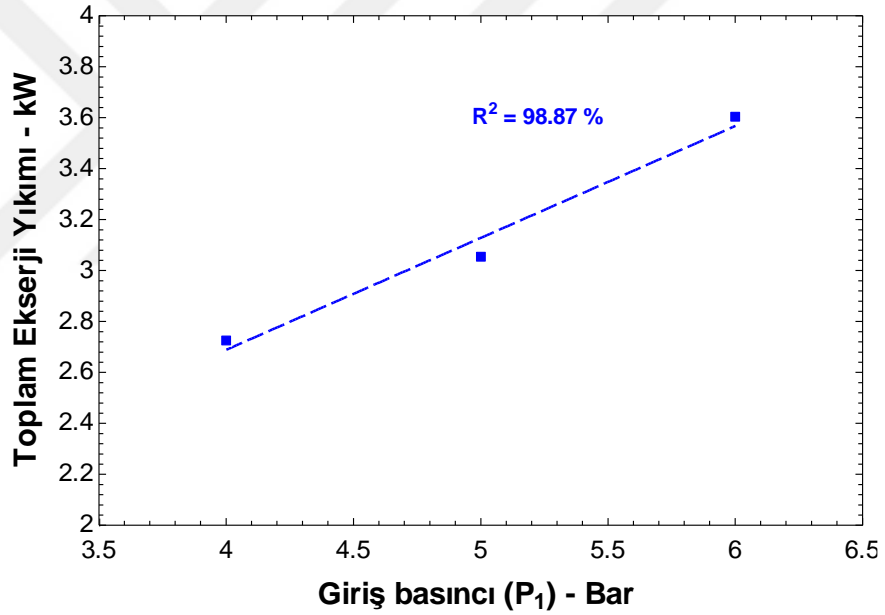
Şekil 5.1 ve 5.2’de giriş basıncının değişimiyle giriş hacimsel debisinin, hacimsel debi oranının ve elde edilen elektriksel gücünün nasıl değiştiği gösterilmiştir. Giriş basıncının artmasıyla girişteki hacimsel debi ve hacimsel debi oranı doğrusal bir şekilde artmaktadır. 3 bar’lık basınç artışıyla girişteki hacimsel debide yaklaşık 40 m³/saat’lik bir artış gözlenmiştir. Hacimsel debi oranının da girişteki debinin artışına bağlı olarak yükseldiği görülmektedir. Giriş basıncının artmasıyla girişteki havanın enerjisi, dolayısıyla hızı ve hacimsel debisi de artar. Hacimsel debi oranının artmasının nedeni ise çıkıştaki hacimsel debi artış oranının girişteki hacimsel debi artış oranından büyük olmasıdır. Giriş basıncıyla elde edilen elektriksel gücü doğru orantılıdır. Giriş basıncının 3 bardan 6 bara yükselmesiyle elde edilen elektriksel gücü de yaklaşık 20 W’tan 90 W’a yükseldiği görülmektedir. Bu şöyle açıklanabilir; genişletici girişindeki basınç artışıyla birlikte genişleticiye giren havanın enerjisinde de bir artış meydana gelir ve böylece daha fazla elektrik üretilmiş olur.



Şekil 5.3. Giriş basıncıyla genişletici izantropik veriminin değişimi



Şekil 5.4. Giriş basıncıyla enerji ve ekserji verimlerinin değişimi

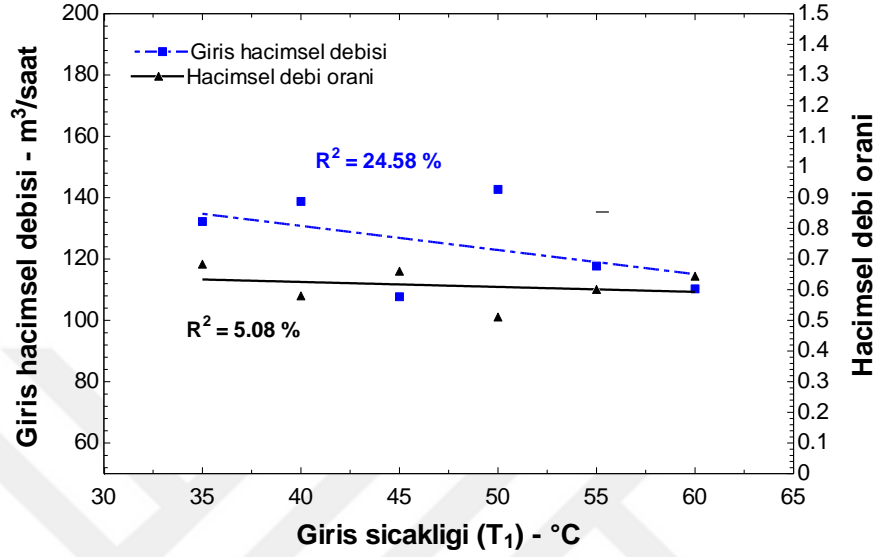


Şekil 5.5. Giriş basıncıyla toplam ekserji yıkımının değişimi

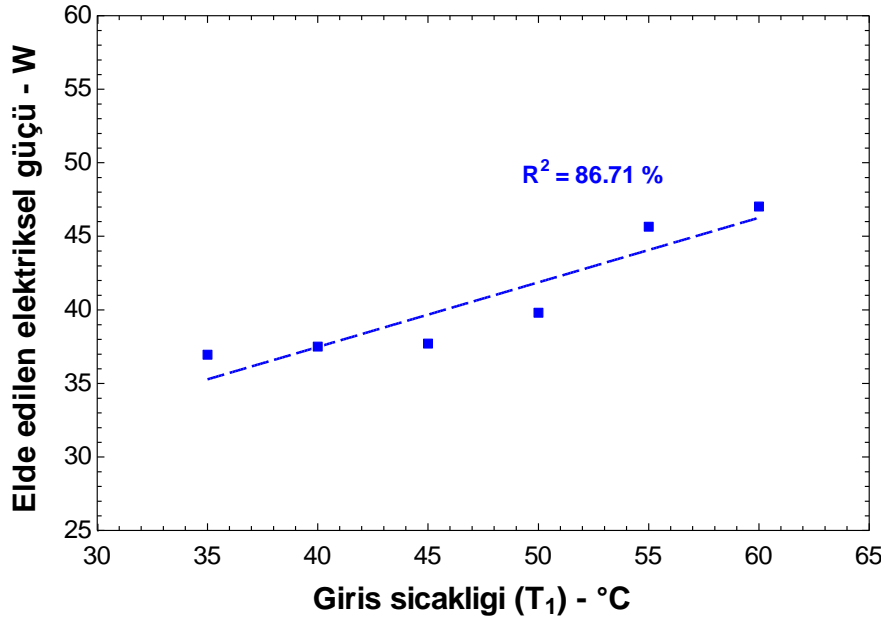
Genişletici girişindeki basıncın genişletici izantropik verimi, enerji verimi, ekserji verimi ve toplam ekserji yıkımı üzerindeki etkisi Şekil 5.3.- 5.5.'de sunulmuştur. Giriş basıncının artışıyla izantropik verim de artmaktadır. Basıncıdaki 2 bar'lık artışla birlikte verimde de yaklaşık %2'lik bir artış olduğu görülmektedir. Fakat bu artışın önemli bir düzeyde değildir. Bununla birlikte, Şekil 5.4.'te giriş basıncının artmasıyla sistemin enerji ve ekserji verimleri sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Diğer bir deyişle, basıncın sistem verimi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Basıncın artmasıyla sistemdeki

toplam ekserji yıkımı (tersinmezlik) da artmaktadır. Basıncın 4 bardan 6 bara artmasıyla tersinmezlik de yaklaşık 2.7 kW'dan 3.5 kW'a yükselmektedir.

5.2. Giriş Sıcaklığının Diğer Parametrelere Etkisi



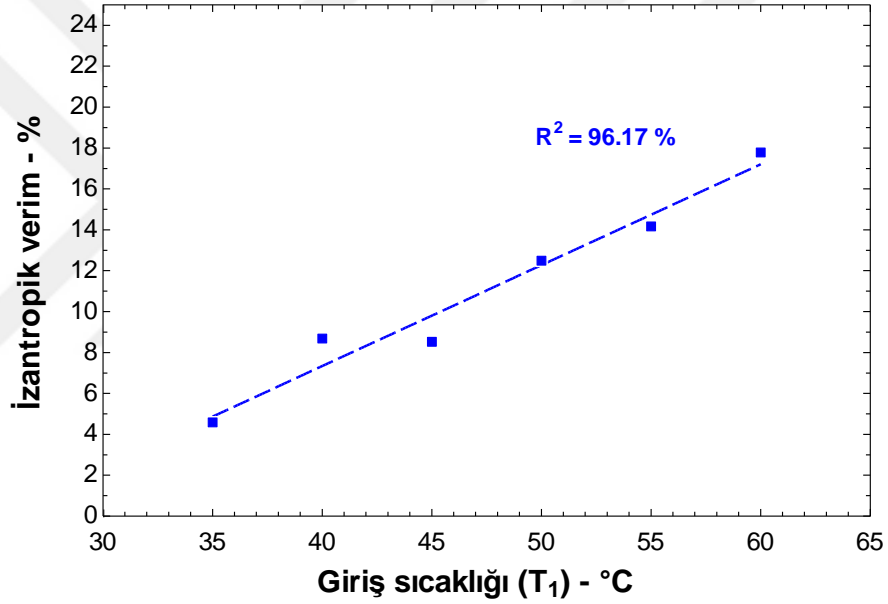
Şekil 5.6. Giriş sıcaklığıyla giriş hacimsel debisi ve hacimsel debi oranının değişimi



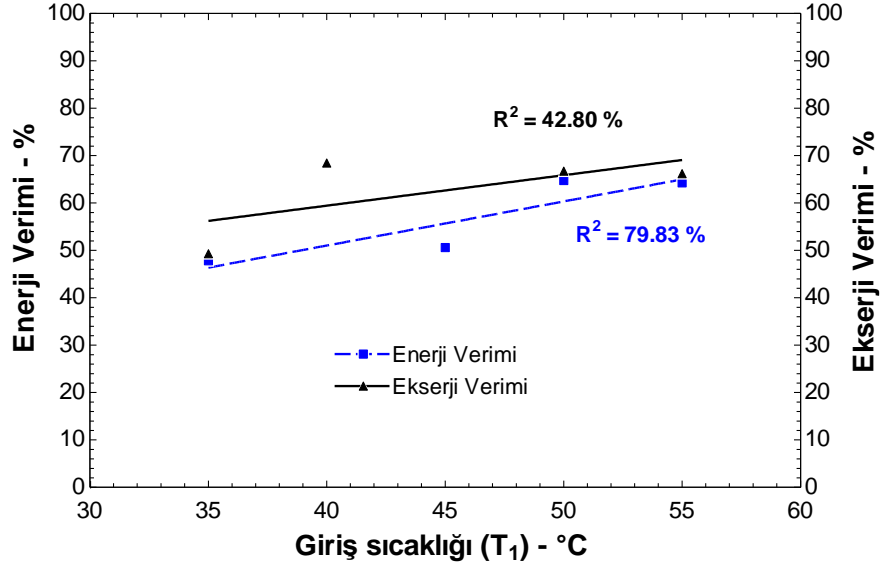
Şekil 5.7. Giriş sıcaklığıyla elde edilen elektriksel gücünün değişimi

Şekil 5.6. ve 5.7.'de giriş sıcaklığının değişimiyle giriş hacimsel debisinin, hacimsel debi oranının ve elde edilen elektriksel gücünün nasıl etkilendiği grafikler halinde

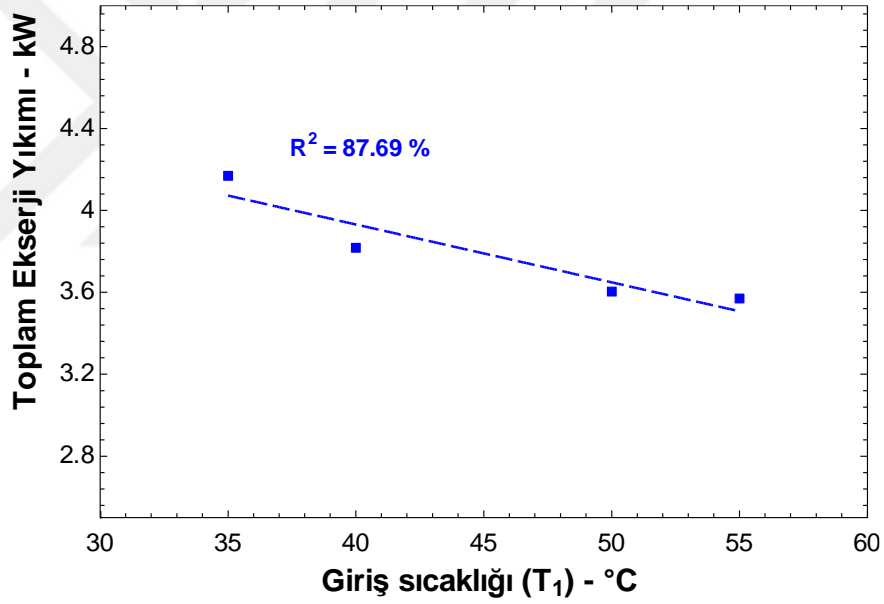
Sunulmuştur. Şekil 5.6.'dan görüldüğü gibi genişletici girişindeki sıcaklıkla giriş hacimsel debisi ters orantılıdır. Hacimsel debi oranının da sıcaklık artışıyla 0.6 değerinde hemen hemen sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Giriş sıcaklığının 35 °C'den 60 °C'ye yükselmesiyle birlikte giriş hacimsel debisinin yaklaşık 140 m³/saat'ten 110 m³/saat'e düştüğü görülmüştür. Şekil 5.7.'de giriş sıcaklığının artmasıyla birlikte elde edilen elektriksel gücünü de arttığı gözlemlenmiştir. 25 °C'lik sıcaklık artışı elde edilen elektriksel gücünü yaklaşık 18 W arttırmıştır. Dolayısıyla genişletici girişindeki sıcaklık artışının elde edilen elektriksel gücü üzerinde olumlu anlamda katkı sağladığı söylenebilir. Girişteki sıcaklığın artmasıyla birlikte genişletici girişindeki enerji artar ve böylece elde edilen elektriksel güç de artmış olur.



Şekil 5.8. Giriş sıcaklığıyla genişletici izantropik veriminin değişimi



Şekil 5.9. Giriş sıcaklığıyla enerji ve ekserji verimlerinin değişimi

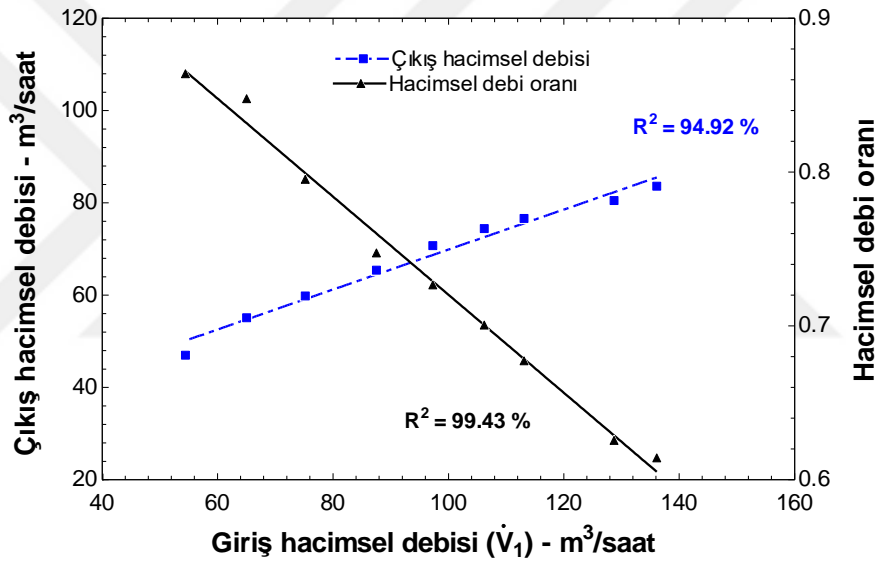


Şekil 5.10. Giriş sıcaklığıyla toplam ekserji yıkımının değişimi

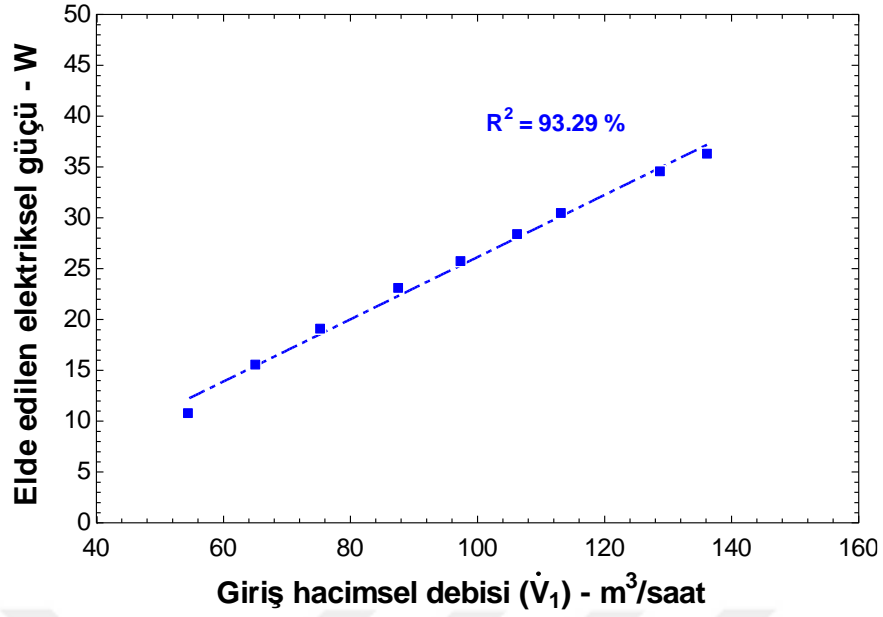
Şekil 5.8.-5.10.'da genişletici girişindeki sıcaklığın genişletici izantropik verimini, sistemin enerji verimini, sistemin ekserji verimini ve toplam ekserji yıkımı nasıl etkilediği grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5.8.'den görüldüğü gibi giriş sıcaklığının artmasıyla izantropik verim de artmaktadır. Sıcaklığın 35 °C'den 60 °C'ye artmasıyla birlikte izantropik verim de yaklaşık % 5'ten % 18'e yükseldiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.9'da sıcaklığın sistemin enerji ve ekserji verimleri üzerindeki etkisi sunulmuştur. Sıcaklığın artmasıyla hem enerji hem de ekserji veriminin arttığı görülmektedir.

Sistemin enerji verimindeki artışın ekserji verimindeki artıştan daha büyük olduğu, bu nedenle yüksek giriş sıcaklıklarında verimlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca ekserji veriminin enerji veriminden daha büyük olduğu söylenebilir. Enerji veriminin artması elde edilen elektriksel gücün artmasından kaynaklanmaktadır. Giriş sıcaklığının sistemdeki toplam ekserji yıkımına etkisini Şekil 5.10.'da görülmektedir. Giriş sıcaklığının artmasıyla toplam ekserji yıkımı azalmaktadır. Ekserji yıkımın azalması ekserji veriminin artmasından kaynaklanmaktadır. Sıcaklığın 35 °C'den 60 °C'ye artmasıyla birlikte tersinmezlikte yaklaşık 1 kW'lık düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

5.3. Giriş Hacimsel Debisinin Diğer Parametrelere Etkisi



Şekil 5.11. Giriş hacimsel debisiyle çıkış hacimsel debisi ve hacimsel debi oranının değişimi



Şekil 5.12. Giriş hacimsel debisiyle elde edilen elektriksel gücünün değişimi

Şekil 5.11. ve 5.12.'de giriş hacimsel debisinin çıkış hacimsel debisi, hacimsel debi oranı ve elde edilen elektriksel gücünün üzerindeki etkisi incelenmiştir. Giriş hacimsel debisini artmasıyla çıkıştaki hacimsel debi de artmaktadır. Fakat, giriş hacimsel debisinin çıkış hacimsel debisine oranla daha fazla arttığından hacimsel debi oranı azalmaktadır. Giriş debisinin artmasıyla genişletici girişi ve çıkışındaki hız da artar. Çıkış hızının da artmasıyla çıkıştaki hacimsel debi artar. Giriş hacimsel debi oranının artmasıyla elde edilen elektriksel gücü de artmaktadır. Çünkü, genişletici girişindeki debinin artmasıyla birlikte genişleticiye giren havanın enerjisi artacak böylece daha fazla elektrik üretilmiş olacaktır. Debinin artmasıyla birlikte elektrik üretiminde yaklaşık 25 W'lık bir artış meydana gelmiş ve en yüksek elektrik üretiminin 35 W olduğu tespit edilmiştir. Girişteki debi arttıkça genişletici girişindeki enerji miktarı artar. Dolayısıyla, elde edilen elektriksel güç de artmış olur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sanayi devriminden sonra enerji ihtiyacında artış meydana gelmiştir ve bunun yanında son yüzyılda bilimdeki gelişmeler ve teknolojik ilerlemeler sosyal yaşamdaki kaliteli hayat için yardımcı olmuştur. Fakat enerji ihtiyacındaki artışla birlikte fosil kaynaklar yetersiz kalmıştır. Ayrıca fosil kaynakların çevreye zararlı olması ve gelecek on yıllarda biteceği tahmin edilmesi güneş, jeotermal ve rüzgar enerjisi gibi çevre dostu ve küresel ısınmaya sebep olmayan yeni enerji dönüşüm sistemlerine yönelmeye neden olmuştur. Son yıllarda evsel kullanım amaçlı, güneş enerjisi, atık ısı ve küçük ölçekli kojenerasyon sistemleri farklı tip uygulamalar düşük sıcaklıktaki ısı kaynaklarından elektrik üretimi popüler hale gelmiştir. Rankine çevrimi, düşük sıcaklığa sahip ısı kaynakları kullanılarak güç üretimi yapıldığında diğer çevrimlere göre daha yüksek ısı verime sahiptir. Çevrim için düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı olarak güneş enerjisi ve yanma ısı kullanılabılır. Geleneksel güç çevrimlerinde genellikle iş akışkanı olarak su kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış çalışma akışkanı bir kazana girerek buharlaşır ve ardından bir genişleticiden geçerken şaftı döndürerek iş üretir. Son olarak yoğuşan akışkan tekrar pompa gönderilerek çevrim tamamlanmış olur.

Bu çalışmada, scroll tip ters çevrilerek genişletici olarak kullanılmasını amaçlayan deney sistemi kurularak farklı parametreler için sistem performansı araştırılmıştır. Bu sistemde ortamdaki alınan hava, kompresör vasıtasıyla basınçlandırılarak deney sistemine gönderilir. Basınçlandırılmış hava ısıtıcıdan geçerek genişleticiye girer. Isınan hava, genişleticiden geçerken güç üretilir ve sıcaklığı ve basıncı azalan hava dış ortama salınır. Üç farklı parametre olan giriş basıncı, giriş sıcaklığı ve giriş hacimsel debisi, çıkış hacimsel debisine, hacimsel debi oranına, elde edilen elektriksel gücüne, genişletici izantropik verimine, toplam ekserji yıkımına, enerji ve ekserji verimlerine üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler ve analizler neticesinde tespit edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Giriş basıncının enerji ve ekserji verimlerinin üzerinde çok fazla bir etkisi yoktur.
- Giriş basıncının artmasıyla girişteki hacimsel debi ve hacimsel debi oranı doğrusal bir şekilde artmaktadır. 3 bar'lık basınç artışıyla girişteki hacimsel debide yaklaşık 40 m³/saat'lik bir artış gözlenmiştir.
- Giriş basıncının artışıyla izantropik verim de artmaktadır.
- Giriş sıcaklığının artmasıyla elde edilen elektriksel gücü, izantropik verimi, enerji ve ekserji veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca maksimum ekserji verimi yaklaşık % 70 olarak bulunmuştur.
- Giriş hacimsel debisinin elde edilen elektriksel güçünde olumlu etki yaptığı belirlenmiştir.
- Giriş sıcaklığındaki 25 °C'lik artışla birlikte giriş hacimsel debisinde yaklaşık 30 m³/saat'lik düşüş olduğu görülmüştür.
- Giriş sıcaklığının artmasıyla birlikte elde edilen elektriksel gücünün arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla genişletici girişindeki sıcaklık artışıyla elde edilen elektriksel gücünün doğru orantılı olduğu söylenebilir.
- Sıcaklığın 35 °C'den 60 °C'ye artmasıyla birlikte izantropik verimin de yaklaşık % 5'ten % 18'e yükseldiği gözlemlenmiştir.
- Sıcaklığın artmasıyla hem enerji hem de ekserji veriminin arttığı görülmektedir. Sistemin enerji verimindeki artışın ekserji verimindeki artıştan daha büyük olduğu, bu nedenle yüksek giriş sıcaklıklarında verimlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca enerji veriminin ekserji verimine göre daha küçük olduğu söylenebilir.
- Giriş sıcaklığıyla toplam ekserji yıkımının ters orantılı olduğu söylenebilir. Sıcaklığın 35 °C'den 60 °C'ye artmasıyla birlikte toplam ekserji yıkımı yaklaşık 1 kW düşmüştür.
- Giriş hacimsel debisinin artması çıkıştaki hacimsel debiyi olumlu etkilediği görülmüştür. Fakat, çıkıştaki hacimsel debinin girişteki hacimsel debiye oranla daha az arttığından hacimsel debi oranı azalmaktadır.
- Giriş hacimsel debi oranıyla elde edilen elektriksel gücü doğru orantılıdır. Giriş debisinin artmasıyla birlikte elde edilen elektriksel de yaklaşık 25 W'lık bir artış meydana gelmiş ve en yüksek elektrik üretiminin 35 W olduğu tespit edilmiştir.
- Elde edilen elektriksel güçündeki hata oranı belirsizlik analizi ile hesaplanarak % 9.16 olarak bulunmuştur.

- Elektrik üretimini etkileyen en önemli parametre giriş basıncıdır. Özellikle böyle bir sistem göz önüne alındığında yüksek basınçlarda çalışılması elde edilen elektriksel gücü arttıracaktır.
- Sistemde akışkan olarak hava kullanılmıştır. Çünkü hava, organik Rankine çevrimlerinde kullanılan diğer akışkanlara göre daha temizdir, çevreye karşı daha az zararı vardır ve bedavadır. Ayrıca bakım gerektirmemesi de avantajları arasında sayılabilir. Havanın kullanıldığı bu sistemde elde edilen elektriksel güç çok büyük değildir. Çünkü deney setinin kısıtlamalarından dolayı genişletici girişindeki sıcaklık maksimum 60 °C'ye çıkmıştır. Atık ısı uygulamaları için uygun olduğu düşünülen bu sistem, eğer genişletici girişinde daha yüksek sıcaklıklara çıkılabildiği takdirde daha fazla elektriksel güç elde edilebilir ve bu sayede sistem verimi de artmış olur.

Çalışmada elde edilen bilgiler ışığında gelecek çalışmalar için aşağıda sunulan önerilerde bulunulabilir:

- Literatürde Scroll tip genişletici ile ilgili çok fazla çalışma mevcut değildir. Bu nedenle özellikle organik Rankine çevrimi uygulaması için daha fazla çalışma yapılabilir.
- Yapılan çalışma bir açık çevrimdir. Mevcut deney sistemi kapalı bir çevrim haline getirilerek organik Rankine çevrimi elde edilebilir ve bu yönelik deneysel teorik ,çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Yapılan deneysel çalışmaların yanı sıra çok daha fazla deneysel çalışma gerçekleştirilerek deneylerin doğruluğu artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Bayır E., 2008. Scroll ve Pistonlu Tip Soğutma Kompresörlerinin Kapasite ve Verimlerinin Çalışma Şartları ile Değişimi. 96, Yüksek Lisans Tezi.
- Bejan, A., Tsatsaronis G. And Moran M., 1996. Thermal Design and Optimization. John Wiley and Sons, 39-167. United States of America.
- Bilen K., 2011, Ölçme Teknikleri Ders Notları, Ders Notu, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale, 11-13 (Yayımlanmamış).
- Bracco R.,S.and Micheli D., Reini M.,. 2013 Clemente Experimental Test And Modelization of a Domestic-scale ORC (Organic Rankine Cycle). Energy, 58, 107-116.
- Cihan E., 2014. Organik Rankine Çevrimi ile Çalışan Atık Isı Kaynaklı Bir Soğutma Sisteminin Performansının Araştırılması. Isı bilimi ve Tekniği Dergisi, 34, 1, 101-109.
- Çengel, Y.A and Boles, M.C., 2008. Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla 5. Baskı. İzmir Güven Kitap Evi, İzmir.
- Gang P., Jing L., Jie J., 2010. Analysis of Low Temperature Solar Thermal Electric Generation Using Regenerative Organic Rankine Cycle, Applied Thermal Engineering, 30, 998-1004.
- Gao P., Jiang L., Wang L.W., Wang R.Z., Song F.P., 2015. Simulation and Experiments on an ORC System with Different Scroll Expanders Based on Energy and Exergy Analysis. Applied Thermal Engineering, 75, 880-888.
- Gozdur A. B., Nowak W., 2007. Maximising the Working Fluid Flow as a Way of Increasing Power Output of Geothermal Power Plant, Applied Thermal Engineering, 27, 2074-2078.
- Hoque S.M.E., 2011. Experimental Investigation of an R134a Based Organic Rankine Cycle, Master Dissertation, University of Ontario Institute of Technology.
- Jradi M., Li J., Liu H., Riffat S., 2014. Micro-Scale ORC- Based Combined Heat and Power System Using a Novel Scroll Expander. International Journal Low-Carbon Tech. Vol: 9, 91-99.
- Kane M., Larrain D., Favrat D., Allani Y., 2003. Small Hybrid Solar Power System. Energy, 28, 1427-1443.

- Kızılkın, Ö., 2008. Alternatif Soğutucu Akışkanlar. 11 Değişken Hızlı Kompresörlü bir Soğutma Sisteminin Teorik ve Deneysel İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 112s, Isparta.
- Lemort V., Quoilin S., Cuevas C., Lebrun J., 2009. Testing and modeling a scroll expander integrated into an Organic Rankine Cycle. Applied Thermal Engineering, Volume 29, Issues 14–15, Pages 2773-3268.
- Liu G., Zhao Y., Yang Q., Wang L., Tanscale g B., Li L., 2013. Theoretical and Experimental Research on Scroll Expander Used in Small Scale Organic Rankine Cycle System. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering First Published on November 1.
- Lu Y.J., Wang L.W., Tian G.H., Roskilly A.P., 2012. Study on A Small Scale Solar Powered Organic Rankine Cycle Utilizing Scroll Expander. The 4th International Conference on Applied Energy, At Suzhou (China).
- Lu Y.J., Wang Y., Wang L., Yuan Y., Liu Z., Roskilly A.P., 2015. Experimental Investigation of a Scroll Expander for Power Generation Part of a Resorption Cogeneration. Energy Procedia, 75, 1027-1032.
- Mathias J.A., Johnston J.J.R., Cao J., Priedeman D.K., Christensen R.N., 2009. Experimental Testing of Gerotor and Scroll Expanders Used in and Energetic and Exergetic Modelling of an Organic Rankine Cycle. J. Energy Resour. Tech., 131, 1-9.
- Orallı E., 2010. Conversion of a Scroll Compressor to an Expander for Organic Rankine Cycle: Modeling and Analysis. University of Ontario Institute of Technology, M.Sc. Thesis, 138s, Canada.
- Özkol N., 1997. Soğutma Tekniğine Giriş, Ankara Eğitim Merkezi, Yayın No: 45
- Quoilin S., Lemort V., Lebrun J., 2010. Experimental Study and Modeling of an Organic Rankine Cycle Using Scroll Expander. Applied Energy, 87, 4, 1260-1268.
- Roy J.P., Mishra M.K., Misra A., 2010. Parametric Optimization and Performance Analysis of a Waste Heat Recovery System Using Organic Rankine Cycle. Energy, 35, 5049-5062.
- Saitoh T., Yamada N., Wakashima S. İ., 2007. Solar Rankine Cycle System Using Scroll Expander. Journal of Environment and Engineering, 2, 708-719.
- Song P., Wei M., Shi L., Danish S. N., Ma C., 2015. A Review of Scroll Expanders for Organic Rankine Cycle Systems. Applied Thermal Engineering, 75 (2015), 54-64.

Tarique Md. A.,2011. Experimental Investigation of Scroll Based Organic Rankine Systems. University of Ontario Institute of Technology. M.Sc. Thesis,165 s, Canada.

Teknik Bülten, Mart 2005 Sayı:3

Wu Z., Pan D., Gao N., Zhu T., Xie F., 2015. Experimental Testing and Numerical Simulation of Scroll Expander in a Small Scale Organic Rankine Cycle System. Applied Thermal Engineering, 89, 529-537.

Yamada N., Watanabe M., Hoshi A., 2013. Experiment on Pumpless Rankine-Type Cycle with Scroll Expander. Energy, 49, 137-145.

Yılmaz F., 2013. Güneş Çanaklı Organik Rankine Çevriminin Isparta Şartlarında İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, Isparta.

Zanelli R., Favrat D., 1994. Experimental Investigation of a Hermetic Scroll Expander-Generator, in: Proc. Int. Compress. Eng. Conf. Purdue (Paper 1021).

EKLER

EK A. Çizelgeler

Çizelge A.1. Scroll genişletici sisteminin termodinamik özellikleri

| | P_i | T_i | h_i | s_i | m_i | e_i | Ex_i | Sx_i | $Ex_{dest,i}$ | $Ex_{dest,i}$ | η_i | $Ex_{desttot,i}$ |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------------|---------------|----------|------------------|
| 1 | 101.3 | 20 | 293 | 6.8 | | | | | | | | |
| 0 | 400 | 20 | 293 | 6.4 | 0.17 | 7.22 | 1.23 | 1.10 | | | | |
| 1 | 400 | 50 | 323 | 6.5 | 0.17 | 35.6 | 6 | 1.11 | 0.18 | -4.8 | 11.2 | 2.72 |
| 2 | 24 | 29.4 | 303 | 7.3 | 0.17 | 0.72 | 0.12 | 1.25 | 2.54 | 2.54 | 65.9 | |
| 3 | | | | | | | 5.03 | 0.26 | | | 67.94 | |

Çizelge A.2. Basınç değişimine göre debi ve güç değişimi

| P (bar) | Q1 (m ³ /h) | Q2/Q1 | W (N) |
|------------|---------------------------|-------|----------|
| 3 | 111.2 | 0.52 | 17.06 |
| 4 | 115.3 | 0.67 | 36.08 |
| 5 | 136.9 | 0.72 | 68.66 |
| 6 | 151.6 | 0.73 | 85.27 |

Çizelge A.3. Basınç değişimine göre termodinamik verimlerin ve toplam ekserji yıkımının değişimi

| P(bar) | $\eta_{izantropik}$ | η_{enerji} | $\eta_{ekserji}$ | $\dot{E}_{x_{yıkım}}$ |
|--------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------------|
| 4 | 11.18 | 65.92 | 67.94 | 2.726 |
| 5 | 12.85 | 67.67 | 69.74 | 3.054 |
| 6 | 12.49 | 64.72 | 66.7 | 3.604 |

Çizelge A.4. Sıcaklık değişimine göre debi ve güç değişimi

| T1 (°C) | 4 (bar) | | | 5 (bar) | | | 6 (bar) | | |
|------------|---------------------------|--------|----------|---------------------------|--------|----------|---------------------------|--------|----------|
| | Q1 (m ³ /h) | Q2/Q1 | W (N) | Q1 (m ³ /h) | Q2/Q1 | W (N) | Q1 (m ³ /h) | Q2/Q1 | W (N) |
| 35 | 132.2 | 0.6831 | 36.95 | 151.6 | 0.7342 | 62.22 | 151.6 | 0.7342 | 76 |
| 40 | 138.8 | 0.58 | 37.5 | 151.6 | 0.7342 | 66.18 | 151.6 | 0.7342 | 84.8 |
| 45 | 107.7 | 0.66 | 37.7 | 151.6 | 0.7342 | 68.45 | 151.6 | 0.7342 | 85.4 |
| 50 | 142.7 | 0.5109 | 39.81 | 151.6 | 0.7342 | 69 | 151.6 | 0.7342 | 86.1 |
| 55 | 117.7 | 0.6007 | 45.65 | 151.6 | 0.7342 | 69.23 | 151.6 | 0.7342 | 87.4 |
| 60 | 110.3 | 0.6438 | 47.02 | 151.6 | 0.7342 | 70.83 | 151.6 | 0.7342 | 89.99 |

Çizelge A.5. Sıcaklık değişimine göre termodinamik verimlerin ve toplam ekserji yıkımının değişimi

| T1(°C) | $\eta_{\text{izantropik}}$ | η_{enerji} | η_{ekserji} | $\dot{E}_{\text{yıkım}}$ |
|--------|----------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 35 | 4.589 | 47.8 | 49.26 | 4.169 |
| 40 | 8.683 | | 68.41 | 3.818 |
| 45 | 8.521 | 50.57 | | |
| 50 | 12.49 | 64.72 | 66.7 | 3.604 |
| 55 | 14.17 | 64.22 | 66.19 | 3.569 |
| 60 | 17.78 | 69.11 | 71.22 | 3.297 |

Çizelge A.6. Giriş hacimsel debisiyle çıkış hacimsel debisinin değişimi ile gücün değişimi

| Q1 (m ³ /h) | Q2 (m ³ /h) | Q2/Q1 | W (N) |
|---------------------------|---------------------------|--------|----------|
| 136.1 | 83.6 | 0.6143 | 36.3 |
| 128.7 | 80.5 | 0.6255 | 34.57 |
| 113.1 | 76.6 | 0.6773 | 30.48 |
| 106.2 | 74.4 | 0.7006 | 28.41 |
| 97.3 | 70.7 | 0.7266 | 25.75 |
| 87.5 | 65.4 | 0.7474 | 23.1 |
| 75.2 | 59.8 | 0.7952 | 19.1 |
| 65 | 55.1 | 0.8477 | 15.56 |
| 54.4 | 47 | 0.864 | 10.78 |

Çizelge A.7. Anlık deney ölçüm değerleri

| x | T1 (°C) | T2 (°C) | P1 (bar) | P2 (bar) | Q1 (m ³ /h) | Q2 (m ³ /h) | A | V | W=A*V |
|----|------------|------------|-------------|-------------|---------------------------|---------------------------|------|-------|---------|
| 1 | 35 | 28.4 | 4 | 0.23 | 132.2 | 90.3 | 3.71 | 9.96 | 36.95 |
| 2 | 40 | 27.13 | 4 | 0.25 | 138.8 | 80.5 | 3.73 | 10.05 | 37.5 |
| 3 | 45 | 28.6 | 4 | 0.22 | 107.72 | 71.1 | 3.74 | 10.08 | 37.7 |
| 4 | 50 | 29.4 | 4 | 0.24 | 142.7 | 72.9 | 3.82 | 10.42 | 39.81 |
| 5 | 55 | 31.88 | 4 | 0.23 | 117.7 | 70.7 | 3.99 | 11.44 | 45.65 |
| 6 | 60 | 27.67 | 4 | 0.24 | 110.3 | 71.01 | 4.06 | 11.58 | 47.02 |
| 7 | 35 | 27 | 5 | 0.41 | 151.6 | 111.3 | 4.46 | 13.95 | 62.22 |
| 8 | 40 | 24.6 | 5 | 0.41 | 151.6 | 111.3 | 4.58 | 14.45 | 66.18 |
| 9 | 45 | 30 | 5 | 0.42 | 151.6 | 111.3 | 4.63 | 14.78 | 68.45 |
| 10 | 50 | 28.7 | 5 | 0.46 | 151.6 | 111.3 | 4.64 | 14.87 | 69 |
| 11 | 55 | 29.9 | 5 | 0.43 | 151.6 | 111.3 | 4.69 | 14.76 | 69.23 |
| 12 | 60 | 32.6 | 5 | 0.38 | 151.6 | 111.3 | 4.7 | 15.07 | 70.829 |
| 13 | 35 | 26.6 | 6 | 0.48 | 151.6 | 111.3 | 4.82 | 15.76 | 76 |
| 14 | 40 | 25.5 | 6 | 0.55 | 151.6 | 111.3 | 5 | 16.96 | 84.8 |
| 15 | 45 | 29.2 | 6 | 0.57 | 151.6 | 111.3 | 5.03 | 16.97 | 85.4 |
| 16 | 50 | 29.4 | 6 | 0.58 | 151.6 | 111.3 | 5.04 | 17.08 | 86.1 |
| 17 | 55 | 31.35 | 6 | 0.57 | 151.6 | 111.3 | 5.07 | 17.23 | 87.4 |
| 18 | 60 | 31.2 | 6 | 0.64 | 151.6 | 111.3 | 5.11 | 17.61 | 89.9871 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nihad RAOUF MAAROOF

Doğum Yeri ve Yılı : Irak – kirkuk , 1981.

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce ve Arapca

E-posta : nihad1981raoof@yahoo.com
qwertyuioo31@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : AL-Waleed lisesi, 1999.

Lisans : Kerkük Teknik Üniversitesi, Enerji ve Yakıt Mühendisliği
Bölümü, 2003

Mesleki Deneyim

Kerkük Üniversitesi 2007-..... (halen).