

**DÜŞÜK SICAKLIKLI ATIK AKIŞKAN DESTEKLİ  
GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU**

**Ahmet Serdar ÖNAL**



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

**DÜŞÜK SICAKLIKLI ATIK AKIŞKAN DESTEKLİ GÜÇ ÜRETİM  
SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU**

**Ahmet Serdar ÖNAL**

Doç. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU  
(Danışman)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BURSA – 2011  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Ahmet Serdar ÖNAL tarafından hazırlanan “Düşük Sıcaklıklı Atık Akışkan Destekli Güç Üretim Sistemlerinin Optimizasyonu” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU

|                |  |      |
|----------------|--|------|
| <b>Başkan:</b> | Doç. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU<br>U.Ü. Mühendislik Fakültesi,<br>Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| <b>Üye :</b>   | Prof. Dr. Muhiddin CAN<br>U.Ü. Mühendislik Fakültesi,<br>Makine Mühendisliği Anabilim Dalı       | İmza |
| <b>Üye :</b>   | Yrd. Doç. Dr. Sıddık CİNDORUK<br>U.Ü. Mühendislik Fakültesi,<br>Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Kadri ARSLAN**  
**Enstitü Müdürü**  
**../../....(Tarih)**

**U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili esere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**15/07/2011**

**Ahmet Serdar ÖNAL**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DÜŞÜK SICAKLIKLI ATIK AKIŞKAN DESTEKLİ GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

**Ahmet Serdar ÖNAL**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU

Yapılan tez çalışmasında, Engineering Equation Solver (EES) programı kullanılarak düşük sıcaklıklardaki ( $72,6^{\circ}\text{C}$ ) endüstriyel atık akışkanlardan ısı geri kazanımı vasıtasıyla elektrik üretimi için organik rankine çevrimine dayalı üç farklı çevrim tasarlanmıştır. Tasarlanan çevrimler basit organik rankine çevrimi, rejeneratif (geliştirilmiş) organik rankine çevrimi ve organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi çevrimleridir. Tasarlanan her üç sistemde atık akışkan giriş sıcaklığı ve atık akışkan debisi sabit alınmıştır. Organik iş akışkanı olarak izopentan, izobütan, R134a, R123, R245fa, R22, R13, propan ve R600 akışkanları incelenmiştir. Optimum akışkanı belirlemek amacıyla tasarlanan sistemlerde her akışkan için birinci ve ikinci kanun analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda farklı çevrim tiplerinde ve basınç aralıklarına göre çalışacak optimum akışkanlar tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Organik rankine çevrimi, ekserji analizi. Organik iş akışkanı, EES.

**2011, xi + 99 sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **OPTIMIZATION OF POWER GENERATION SYSTEMS BASED ON LOW TEMPERATURE WASTE FLUID**

**Ahmet Serdar ÖNAL**

Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Akin Burak ETEMOĞLU

In this thesis, three different cycle systems have been designed for heat recovery from the industrial waste fluids at the low temperature ( $72,6^{\circ}\text{C}$ ) to generate electricity using Engineering Equation Solver (EES). The cycles are simple organic rankine cycle, regenerative (developed) organic rankine cycle and cogeneration system with organic rankine cycle. Waste fluid input temperature and mass flow rate are kept constant in the each cycle. Organic working fluids such as isopentane, isobutane, R134a, R123, R245fa, R22, R13, propan and R600 have been investigated.

In order to determine the optimum working fluid, first and second law values have been analyzed for each fluid. Overall, our study demonstrated that optimum fluids have been determined for different types of cycles and fluid pressure ranges.

**Key words:** Organic Rankine Cycle, exergy analyze, organic working fluid, EES.

**2011, xi + 99 pages**

## TEŐEKKÖR

Tez konusunun seçimi, tezin düzenlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi sırasında yol gösteren, kıymetli hocam Doç. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU'na, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof.Dr. Muhiddin CAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarında desteklerinden dolayı Beyçelik-Gestamp Ar-Ge Müdürü Sayın Necip CEYLAN'a, Beyçelik-Gestamp Ar-Ge Mühendisleri İ.Can BAĐRIYANIK ve İmren ÖZTÖRK YILMAZ'a, Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Araş. Gör. Barış HASÇELİK'e teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere gelmemi sağlayan, beni her konuda destekleyen, bana güvenen, her zaman yanımda olan canım anneme, babama ve kardeşim Seda ÖNAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Ahmet Serdar ÖNAL**  
**15/07/2011**

## İÇİNDEKİLER

|   |     |
|---|-----|
| ÖZET.....   | i   |
| ABSTRACT.....   | ii  |
| TEŞEKKÜR.....   | iii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....                           | vi  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....  | xi  |
| 1. GİRİŞ.....   | 1   |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....                                    | 3   |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                    | 8   |
| 3.1. Basit Organik Rankine Çevrimi.....                       | 9   |
| 3.2. Rejeneratif (Geliştirilmiş) Organik Rankine Çevrimi..... | 11  |
| 3.3. Organik Rankine Çevrimli Kojenerasyon Sistemi.....       | 13  |
| 4. BULGULAR.....  | 15  |
| 4.1. Basit Organik Rankine Çevrimi.....                       | 15  |
| 4.1.1. Organik iş akışkanı: İzopentan.....                    | 15  |
| 4.1.2. Organik iş akışkanı: İzobütan.....                     | 22  |
| 4.1.3. Organik iş akışkanı: Propan.....                       | 26  |
| 4.1.4. Organik iş akışkanı: R123.....                         | 29  |
| 4.1.5. Organik iş akışkanı: R600.....                         | 33  |
| 4.1.6. Organik iş akışkanı: R245fa.....                       | 36  |
| 4.1.7. Organik iş akışkanı: R13.....                          | 40  |
| 4.1.8. Organik iş akışkanı: R22.....                          | 43  |
| 4.1.9. Organik iş akışkanı: R134a.....                        | 47  |
| 4.2. Rejeneratif (Geliştirilmiş) Organik Rankine Çevrimi..... | 51  |
| 4.2.1. Organik iş akışkanı: İzopentan.....                    | 51  |
| 4.2.2. Organik iş akışkanı: İzobütan.....                     | 53  |
| 4.2.3. Organik iş akışkanı: Propan.....                       | 54  |
| 4.2.4. Organik iş akışkanı: R123.....                         | 56  |
| 4.2.5. Organik iş akışkanı: R600.....                         | 58  |
| 4.2.6. Organik iş akışkanı: R245fa.....                       | 60  |
| 4.2.7. Organik iş akışkanı: R13.....                          | 62  |
| 4.2.8. Organik iş akışkanı: R22.....                          | 64  |
| 4.2.9. Organik iş akışkanı: R134a.....                        | 66  |
| 4.3. Organik Rankine Çevrimli Kojenerasyon Sistemi.....       | 68  |



|   |    |
|---|----|
| 4.3.1. Organik iş akışkanı: İzopentan.....  | 68 |
| 4.3.2. Organik iş akışkanı: İzobütan.....   | 71 |
| 4.3.3. Organik iş akışkanı: Propan .....  | 73 |
| 4.3.4. Organik iş akışkanı: R123 .....  | 76 |
| 4.3.5. Organik iş akışkanı: R600.....   | 78 |
| 4.3.6. Organik iş akışkanı: R245fa.....   | 81 |
| 4.3.7. Organik iş akışkanı: R13 .....   | 83 |
| 4.3.8. Organik iş akışkanı: R22.....  | 85 |
| 4.3.9. Organik iş akışkanı: R134a .....   | 88 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....  | 91 |
| 5.1. Basit Organik Rankine Çevrimi İçin İncelenen Akışkanların Karşılaştırması ....                       | 91 |
| 5.2. Rejeneratif (Geliştirilmiş) Organik Rankine Çevrimi İçin İncelenen Akışkanların Karşılaştırması..... | 93 |
| 5.3. Organik Rankine Çevrimli Kojenerasyon Sistemi İçin İncelenen Akışkanların Karşılaştırması.....       | 95 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ .....  | 98 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 99 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <b>Simgeler</b>    | <b>Açıklama</b>             |
|--------------------|-----------------------------|
| $c_p$              | Özgül Isı, kJ/kgK           |
| $h$                | Entalpi, kJ/kg              |
| $oe$               | Özgül Ekserji, kJ/kg        |
| $s$                | Entropi, kJ/kgK             |
| $\dot{m}$          | Debi, kg/s                  |
| $Ex$               | Ekserji, kW                 |
| $I$                | Tersinmezlik, kW            |
| $P$                | Basınç, kPa                 |
| $Q$                | Isı Alış Verişi, kW         |
| $T$                | Sıcaklık, °C                |
| $W$                | İş, kW                      |
| $\epsilon_u$       | Yararlılık Katsayısı        |
| $\eta$             | Verim                       |
| <b>Kisaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>             |
| EES                | Engineering Equation Solver |
| $\dot{m}_{GF}$     | Atık Akışkan Debisi         |
| ORÇ                | Organik Rankine Çevrimi     |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.1 Yapılacak bir çalışmada izlenecek yol akış şeması .....                | 8  |
| Şekil 3.2 Basit organik rankine çevrimi için hazırlanan program.....             | 9  |
| Şekil 3.3 Rejeneratif organik rankine çevrimi için hazırlanan program .....      | 12 |
| Şekil 3.4 Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi .....                    | 13 |
| Şekil 4.1 İzopentan için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....              | 18 |
| Şekil 4.2 İzopentan için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....   | 18 |
| Şekil 4.3 İzopentan için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi ..... | 19 |
| Şekil 4.4 İzopentan için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....              | 21 |
| Şekil 4.5 İzopentan için $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....   | 21 |
| Şekil 4.6 İzopentan için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi ..... | 22 |
| Şekil 4.7 İzobütan için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....               | 23 |
| Şekil 4.8 İzobütan için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....   | 23 |
| Şekil 4.9 İzobütan için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi .....  | 24 |
| Şekil 4.10 İzopentan için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....             | 24 |
| Şekil 4.11 $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....                | 25 |
| Şekil 4.12 İzobütan için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi ..... | 25 |
| Şekil 4.13 Propan için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                 | 26 |
| Şekil 4.14 Propan için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....    | 27 |
| Şekil 4.15 Propan için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....    | 27 |
| Şekil 4.16 Propan için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                 | 28 |
| Şekil 4.17 Propan için $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....    | 28 |
| Şekil 4.18 Propan için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....    | 29 |
| Şekil 4.19 R123 için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                  | 30 |
| Şekil 4.20 R123 için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....       | 30 |
| Şekil 4.21 R123 için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....      | 31 |
| Şekil 4.22 R123 için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                  | 31 |
| Şekil 4.23 R123 için $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....       | 32 |
| Şekil 4.24 R123 için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....      | 32 |
| Şekil 4.25 R600 için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                  | 33 |
| Şekil 4.26 R600 için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....       | 34 |
| Şekil 4.27 R600 için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....      | 34 |
| Şekil 4.28 R600 için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                  | 35 |
| Şekil 4.29 R600 için $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....       | 35 |
| Şekil 4.30 R600 için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....      | 36 |
| Şekil 4.31 R245fa için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                | 37 |
| Şekil 4.32 R245fa için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....     | 37 |
| Şekil 4.33 R245fa için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi .....   | 38 |
| Şekil 4.34 R245fa için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                | 38 |
| Şekil 4.35 R245fa için $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....     | 39 |
| Şekil 4.36 R245fa için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi .....   | 39 |
| Şekil 4.37 R13 için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                   | 40 |
| Şekil 4.38 R13 için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....        | 41 |
| Şekil 4.39 R13 için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....       | 41 |
| Şekil 4.40 R13 için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                   | 42 |
| Şekil 4.41 R13 için $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....        | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.42 R13 için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....               | 43 |
| Şekil 4.43 R22 için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                           | 44 |
| Şekil 4.44 R22 için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....                | 44 |
| Şekil 4.45 R22 için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....               | 45 |
| Şekil 4.46 R22 için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                           | 45 |
| Şekil 4.47 R22 için $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....                | 46 |
| Şekil 4.48 R22 için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....               | 46 |
| Şekil 4.49 R134a için $P_2$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                          | 47 |
| Şekil 4.50 R134a için $P_2$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....             | 48 |
| Şekil 4.51 R134a için $P_2$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....             | 48 |
| Şekil 4.52 R134a için $P_1$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                          | 49 |
| Şekil 4.53 R134a için $P_1$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....              | 49 |
| Şekil 4.54 R134a için $P_1$ basıncı ile organik akışkan debisi değişimi.....             | 50 |
| Şekil 4.55 İzopentan için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                      | 51 |
| Şekil 4.56 İzopentan için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....         | 52 |
| Şekil 4.57 İzopentan için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi.....                   | 52 |
| Şekil 4.58 İzobütan için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                      | 53 |
| Şekil 4.59 İzobütan için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi.....           | 53 |
| Şekil 4.60 İzobütan için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi.....                    | 54 |
| Şekil 4.61 Propan için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                        | 55 |
| Şekil 4.62 Propan için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....            | 55 |
| Şekil 4.63 Propan için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi .....                     | 56 |
| Şekil 4.64 R123 için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                           | 57 |
| Şekil 4.65 R123 için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....              | 57 |
| Şekil 4.66 R123 için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi.....                        | 58 |
| Şekil 4.67 R600 için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                           | 59 |
| Şekil 4.68 R600 için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....              | 59 |
| Şekil 4.69 R600 için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi.....                        | 60 |
| Şekil 4.70 R245fa için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                         | 61 |
| Şekil 4.71 R245fa için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....            | 61 |
| Şekil 4.72 R245fa için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi.....                      | 62 |
| Şekil 4.73 R13 için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                            | 63 |
| Şekil 4.74 R13 için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....               | 63 |
| Şekil 4.75 R13 için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi.....                         | 64 |
| Şekil 4.76 R22 için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi.....                            | 64 |
| Şekil 4.77 R22 için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....               | 65 |
| Şekil 4.78 R22 için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi.....                         | 65 |
| Şekil 4.79 R134a için $P_7$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                         | 66 |
| Şekil 4.80 R134a için $P_7$ basıncı ile $\eta$ ve $\eta_{II}$ değişimi .....             | 66 |
| Şekil 4.81 R134a için $P_7$ basıncı ile $m_1$ debisi değişimi .....                      | 67 |
| Şekil 4.82 İzopentan için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                  | 68 |
| Şekil 4.83 İzopentan için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi..... | 69 |
| Şekil 4.84 İzopentan için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi.....              | 69 |
| Şekil 4.85 İzopentan için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....    | 70 |
| Şekil 4.86 İzopentan için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi.....              | 70 |
| Şekil 4.87 İzobütan için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....                   | 71 |
| Şekil 4.88 İzobütan için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi.....  | 71 |
| Şekil 4.89 İzobütan için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....              | 72 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.90 İzobütan için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                 | 72 |
| Şekil 4.91 İzobütan için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 73 |
| Şekil 4.92 Propan için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....   | 73 |
| Şekil 4.93 Propan için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                               | 74 |
| Şekil 4.94 Propan için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 74 |
| Şekil 4.95 Propan için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                   | 75 |
| Şekil 4.96 Propan için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 75 |
| Şekil 4.97 R123 için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....   | 76 |
| Şekil 4.98 R123 için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                 | 76 |
| Şekil 4.99 R123 için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 77 |
| Şekil 4.100 R123 için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                    | 77 |
| Şekil 4.101 R123 için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....   | 78 |
| Şekil 4.102 R600 için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....  | 78 |
| Şekil 4.103 R600 için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                | 79 |
| Şekil 4.104 R600 için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....   | 79 |
| Şekil 4.105 R600 için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                    | 80 |
| Şekil 4.106 R600 için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....   | 80 |
| Şekil 4.107 R245fa için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....  | 81 |
| Şekil 4.108 R245fa için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                              | 81 |
| Şekil 4.109 R245fa için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....   | 82 |
| Şekil 4.110 R245fa için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                  | 82 |
| Şekil 4.111 R245fa için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....   | 83 |
| Şekil 4.112 R13 için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....   | 83 |
| Şekil 4.113 R13 için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                 | 84 |
| Şekil 4.114 R13 için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 84 |
| Şekil 4.115 R13 için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                     | 85 |
| Şekil 4.116 R13 için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 85 |
| Şekil 4.117 R22 için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....   | 86 |
| Şekil 4.118 R22 için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                 | 86 |
| Şekil 4.119 R22 için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 87 |
| Şekil 4.120 R22 için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                     | 87 |
| Şekil 4.121 R22 için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 88 |
| Şekil 4.122 R134a için $P_{10}$ basıncı ile $W_{net}$ değişimi .....   | 88 |
| Şekil 4.123 R134a için $P_{10}$ basıncı ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                               | 89 |
| Şekil 4.124 R134a için $m_2$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 89 |
| Şekil 4.125 R134a için $m_2$ debisi ile $\eta_{II}$ ve $\epsilon_u$ değişimi .....                                   | 90 |
| Şekil 4.126 R134a için $m_3$ debisi ile net iş ve $Q_{PH}$ değişimi .....  | 90 |
| Şekil 5.1 Basit organik rankine çevrimi için izopentan, R123 ve R245fa karşılaştırması .....                         | 91 |
| Şekil 5.2 Basit organik rankine çevrimi için izobütan ve R600 karşılaştırması .....                                  | 92 |
| Şekil 5.3 Basit organik rankine çevrimi için R22, R134a ve propan karşılaştırması .....                              | 92 |
| Şekil 5.4 Rejeneratif (geliştirilmiş) organik rankine çevrimi için izopentan, R123 ve R245fa karşılaştırması .....   | 93 |
| Şekil 5.5 Rejeneratif (geliştirilmiş) organik rankine çevrimi için R134a, R22 ve propan R245fa karşılaştırması ..... | 94 |
| Şekil 5.6 Rejeneratif (geliştirilmiş) organik rankine çevrimi için R134a, R22 ve propan R245fa karşılaştırması ..... | 94 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 5.7 Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi için izopentan, R123 ve R245fa karşılaştırması..... | 95 |
| Şekil 5.8 Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi için izopentan, R123 ve R245fa karşılaştırması..... | 96 |
| Şekil 5.9 Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi için izobütan ve R600 karşılaştırması .....         | 97 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 1 $T_1=72,6^\circ\text{C}$ için basınca bağlı bölge belirleme örneği ..... | 16 |
| Çizelge 2 Seçilebilecek $P_2$ değerlerinin hesaplama örneği.....                   | 17 |
| Çizelge 3 Seçilebilecek $P_1$ değerlerinin hesaplama örneği.....                   | 19 |

## 1. GİRİŞ

Her canlı yaşamını sürdürebilmesi için enerjiye ihtiyacı vardır. Enerji olmadan yaşamda olmaz. İnsanoğlu enerjiyi gerek hayati işlevlerini gerçekleştirmede gerekse de günlük hayatında hayat kalitesini artırmada çeşitli araçlar vasıtasıyla kullanmaktadır. Kullanılan her cihaz ve araç beraberinde bu cihazla kullanılacak enerjinin de sağlanması sorununu getirmiştir. Önceleri sadece ısınma ve aydınlatma için kullandığı enerji kaynakları teknoloji ve bilimin gelişmesiyle artık günlük yaşamının her evresinde kullanılmaktadır. Enerji birey bazında bu kadar etkili iken ülkeler bazında da kalkınmanın sembolü, istikrar ve gelişmenin lokomotif, refah ve artan yaşam kalitesinin vazgeçilmez konumundadır.

Her ülke enerji ihtiyacında dışa bağımlılığını minimize etmek hatta ortadan kaldırmak istemektedir. Bunun içinde alternatif enerji üretim yöntemleri ve hali hazırdaki enerji üretim yöntemlerini daha verimli bir şekilde kullanmanın yolunu aramaktadırlar. Atık akışkanlardan ısı geri kazanımı bu yöntemlerden bir tanesidir. Atık akışkanlardan ısı geri kazanımı metodu ile elektrik üretilebilir ayrıca bu akışkanlar ısıtma amacı ile de kullanılabilir.

İşletmelerin atık olarak gördükleri ve kullanılmayacak gözüyle baktıkları atık akışkanlar enerji üretiminde kullanılarak işletmenin kendi elektriğini sağlayabilir. Böylelikle üretim maliyetlerini aşağı çekebilir kendi öz imkânları ile kendi enerjisini dışa bağımsız halde üretebilir.

Atık akışkanlardan enerji geri kazanımı vasıtasıyla elektrik üretimi şuan dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Tükenebilir kaynaklardan elde edilen enerji maliyetlerindeki artışlar alternatif ısı geri kazanım ve enerji üretim metotlarının önemini artırmaktadır. Termal kaynakların çoğunluğunun düşük sıcaklıklarda olması bu sıcaklıklarda kullanılacak ısı motoru çevrimlerinin yüksek verimli olmasını gerektirmektedir.



Atık akışkandan enerji geri kazanımında kullanılan en yaygın yöntem organik akışkan destekli güç sistemleridir. Sistemin temel prensibi geleneksel rankine çevrimine dayanmaktadır.

ORÇ (organik rankine çevrimi) temel prensipleri geleneksel rankine çevriminin prensipleri ile benzerdir. Geleneksel rankine çevrimi ile ORÇ arasındaki temel fark, ORÇ'nde organik çalışma akışkanı geleneksel rankine çevrimindeki çalışma akışkanı olan sudan daha düşük bir kaynama noktası ve daha yüksek bir buhar basıncına sahip olmasıdır. Bu temel fark çevrimin verimini artırdığından seçilecek çalışma akışkanının kaynama noktası ne kadar düşük, buhar basıncı ne kadar yüksek olursa türbinden elde edilen enerjide o kadar artar.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sun ve Li (2011), iş akışkanı olarak R-134a kullanan bir ORÇ ısı geri kazanım santralini detaylı olarak incelemiştir. Santralin performansını değerlendirmek ve optimize etmek üzere evaporatör, genişletici, hava soğutmalı kondenser ve pompa için matematik modeller geliştirmiştir. Optimizasyon sonuçları kontrollü değişkenler (optimal iş akışkan debisi, optimal kondenser fan debisi) ve kontrolsüz değişkenler (ısı kaynağı sıcaklığı ve ortam kuru termometre sıcaklığı ) arasında net güç üretimi için lineer bir fonksiyon, ısı verim için ikinci dereceden bir fonksiyon ilişkisi gösterdiklerine değinmiştir. İş akışkanı debisinin sistemin termal verimi ve net güç üretiminde kondenser fanı hava debisinden daha etkili olduğunu tespit etmiştir.

Srinivasan ve ark. (2010), ORÇ'nin, yüksek verimli düşük emisyonlu çift yakıtlı düşük sıcaklık yanmalı motor kullanarak egzoz atık ısı geri kazanım potansiyelini incelemiştir. ORÇ turbo bileşenlerinin; bir dizi enjeksiyon zamanlaması ve motor yükünde, yakıt dönüşüm veriminde potansiyel iyileştirmeleri ile sıcak egzoz gazı devir daiminde spesifik emisyonları ( $NO_x$  ve  $CO_2$ ) üzerindeki etkilerini de ölçmüştür. Sıcak egzoz gazı devir daiminde ve ORÇ turbo bileşenleri ile tüm enjeksiyon zamanlamalarında ve motor yüklerinde yakıt dönüşüm veriminin % 7 iyileştirildiği, ( $NO_x$  ve  $CO_2$ ) emisyonlarının (ortalama) % 18 düşüş kaydettiğini belirtmiştir. Yoğuşma noktası analizinden ORÇ evaporatör, ORÇ eşanjör etkinliği ve egzoz manifoldu basıncının önemli tasarım parametreleri olduğunu vurgulamışlardır. Yüksek yoğuşma noktası sıcaklık farkları eşit motor çalışma koşulları ne olursa olsun, ORÇ'nde evaporatörde daha büyük ekserji yıkımı olduğunu gözlemlemiştir. Artan yüzde sıcak egzoz gazı resirkülasyonun ancak daha yüksek yakıt dönüşüm verimliliği ve istikrarlı bir motor çalışması verdiğini belirtmiştir. Sıcak egzoz gazı resirkülasyonunun ORÇ evaporatörde su yoğuşmasını önlediğini belirterek egzoz borusunda korozyon potansiyelinin azaltılabileceğini söylemiştir.

Roy ve ark. (2010), enerji üretimi için ORÇ'ne dayalı bir atık ısı geri kazanım sisteminin parametrik optimizasyon ve performans analizlerini çalışma akışkanı R-12, R-123 ve R-134a kullanarak incelemiştir. Seçilen sıvılar için türbin giriş basıncı,

maksimum çalışma ve verimlilik optimizasyonu sisteminin doymuş buhar hattı boyunca ve izobarik farklı basınçlarda aşırı ısıtma ile yapmışlardır. Sonuçlarda seçilen tüm sıvılar arasında maksimum iş çıkışı ve verimi R-123 akışkanının gösterdiğini belirtmişlerdir. Düzeltilmiş basınçta R-123 akışkanı için Carnot verimi, benzer koşullardaki gerçek verimle yakın olarak değerlendirmişlerdir. Bu nedenle iş akışkanı olarak R-123 kullanılan bir ORÇ'ni düşük dereceli ısı kaynaklarından enerji üretiminde yararlanmak için bir seçenek olarak görmüşlerdir.

Heberle ve Brüggemann (2010), 450K'nin altındaki sıcaklıklardaki jeotermal kaynaklar için kombine ısı güç üretimi sağlamak amacıyla bir seçenek olarak sundukları çalışmalarında seri ve paralel ORÇ devreleri ile ilave bir ısı üretimini ikinci kanuna göre analiz edip karşılaştırmışlardır. Çalışma parametreleri kriterlerine bağlı olarak iş akışkanını tespit etmişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki kombine ısı güç üretimi, bir jeotermal santralin ikinci kanun verimini önemli ölçüde artırmıştır. Güç üretiminde izopentan gibi yüksek kritik sıcaklığa sahip organik iş akışkanlarını seri devreler, R-227EA gibi kritik sıcaklığa sahip organik iş akışkanlarını ise paralel devreler için önermişlerdir.

Dai ve ark.(2009), atık ısı geri kazanımı için organik rankine çevriminde iş akışkanı olarak farklı çalışma sıvılarını incelemişlerdir. ORÇ'nin performansına termodinamik parametrelerin etkileri incelemişler ve ekserji verimliliği genetik algoritmanın bir amaç fonksiyonu olmak üzere her bir akışkan için ORÇ'nin termodinamik parametrelerini optimize etmişlerdir. Aynı atık ısı koşulları altında farklı çalışma sıvılarıyla çevrimlerin verimlerini karşılaştırmışlardır. R-236EA akışkanının en fazla ekserji verimine sahip olduğunu, sisteme bir iç ısı değiştiricisi eklenerek sistem veriminin artırılmayacağını belirtmişlerdir. Buna ek olarak, pozitif olmayan doymuş buhar eğrisi eğimli çalışma sıvıları için çevrim, doymuş buhar ile en iyi performans özelliğine türbin girişinde sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Schuster ve ark. (2009), ORÇ'nin birleşik ısı güç üretimi için gelecek vadeden bir çözüm olduğuna atıfta bulunmuş küçük ölçekli uygulamalarda avantajlı bir verimlilik sunan çevrimin, düşük sıcaklık ısı kaynaklarının kullanımına olanak sağladığına

değınmişlerdir. Organik rankine çevriminin olumlu özelliklerinin: ters osmoz yöntemi ile güneş enerjili damıtım sistemlerinde, biyogaz çevrim santralleri ve mikro ısı güç sistemlerinde atık ısı geri kazanımı gibi uygulamalarla entegre olması için çevrimi uygun hale getirdiğini belirtmişlerdir.

Hettiarachchi ve ark. (2007), düşük sıcaklıktaki jeotermal ısı kaynaklarından yararlanan ORÇ sistemleri için uygun maliyetli optimum tasarım kriterleri sundukları çalışmalarında amaç fonksiyonu olarak toplam ısı değıştiricisi alanının net güç çıkışına oranını kullanan dik iniş yöntemi ile hesaplamalarını gerçekleştirmişlerdir. Buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları, jeotermal ve soğutma suyu hızlarını optimize etmeye çalışmışlardır. İş akışkanı olarak amonyak, HCFC123, n-pentan ve PF5050'yi kullanılması halinde bu akışkanların verimlerini karşılaştırmışlardır. Organik akışkan seçiminin amaç fonksiyonuna çok büyük etkisi olduğunu, bu etkinin güç santrali maliyetlerini neredeyse iki kat artırabileceğini belirtmişlerdir. Amonyak maksimum jeotermal su kullanımında minimum etkiye sahip olduğunu söylemişlerdir. Yaptıkları ekserji analizi sonucuna göre amonyağın verimin diğer iş akışkanlarına nazaran . HCFC123,ve n-pentanın PF5050'ye göre daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Wei ve ark. (2006), egzoz ısı tarafından yönlendirilen HFC-245fa iş akışkanı kullanan bir ORÇ sisteminde sistemin performans analizleri ve optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki; egzoz ısı kullanımını mümkün olduğunca maksimize etmenin sistemin net gücü ve verimini artırmada iyi bir yol olduğunu belirtmişlerdir. Kondenser çıkışındaki ara soğutma değerin 0,5–0,6 K değerinden küçük olmasını vurgulamışlardır. Ortam sıcaklığı çok yüksek olduğunda (nominal hali %30 aştığında) sistemin net çıkış gücü ve veriminin bozulacağını gözlemlemişlerdir. Çalışılan çevre koşullarına bağlı olarak uygun bir nominal hal seçimi sistemin net gücü ve verimini arttırmak için iyi bir fikir olacağını söylemişlerdir.

Liu ve ark. (2004), çalışma sıvılarının ORÇ performansına etkilerini incelemişlerdir. Termik verim ve toplam ısı geri kazanım verimliliği üzerinde çeşitli çalışma sıvılarının etkilerini incelenmişlerdir. Çalışmalarında su, amonyak ve etanol gibi bazı moleküllerde

hidrojen bağıının varlığı nedeniyle ıslak sıvı koşullarında büyük buharlaşma entalpisine neden olduğundan ORÇ sistemleri için bu akışkanların uygun olmadıklarını söylemişlerdir. Hesapladıkları sonuçlarda çeşitli çalışma akışkanları için ısı veriminin kritik sıcaklığın zayıf bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Toplam ısı geri kazanım verimliliği maksimum değerinin atık ısı giriş sıcaklığı ve yoğuşma sıcaklığı arasındaki uygun buharlaşma sıcaklığında meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Atık ısı kaynağının giriş sıcaklığının artışı ile toplam ısı geri kazanım veriminin arttığını ve iş akışkanı olarak alt kritik sıcaklığı düşük sıvılar kullanıldığında azaldığını söylemişlerdir.

Maizza ve ark. (2001), çalışmalarında atık enerji geri kazanımı ORÇ sistemlerinde kullanılmak üzere alışılmamış bir dizi akışkanın termodinamik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Gerçekçi tasarım koşulları altında enerji gereksinimi ve geri kazanım sistemi performanslarını analiz etmişlerdir. İnceledikleri iş akışkanları R-600a,R-123,R-142b,R-401A, R-401B,R-290R-124a,R-401C'dir. Sistem ve çevrim verimlerini 35°C asgari yoğuşma sıcaklığında hesaplamışlardır. Bu sıcaklığın altında sistem veriminin arttığını ve iş akışkanlarının kullanışlı hale geldiklerini belirtmişlerdir. ORÇ sistemleri için en elverişli akışkanın R-401C olabileceğini söylemişlerdir.

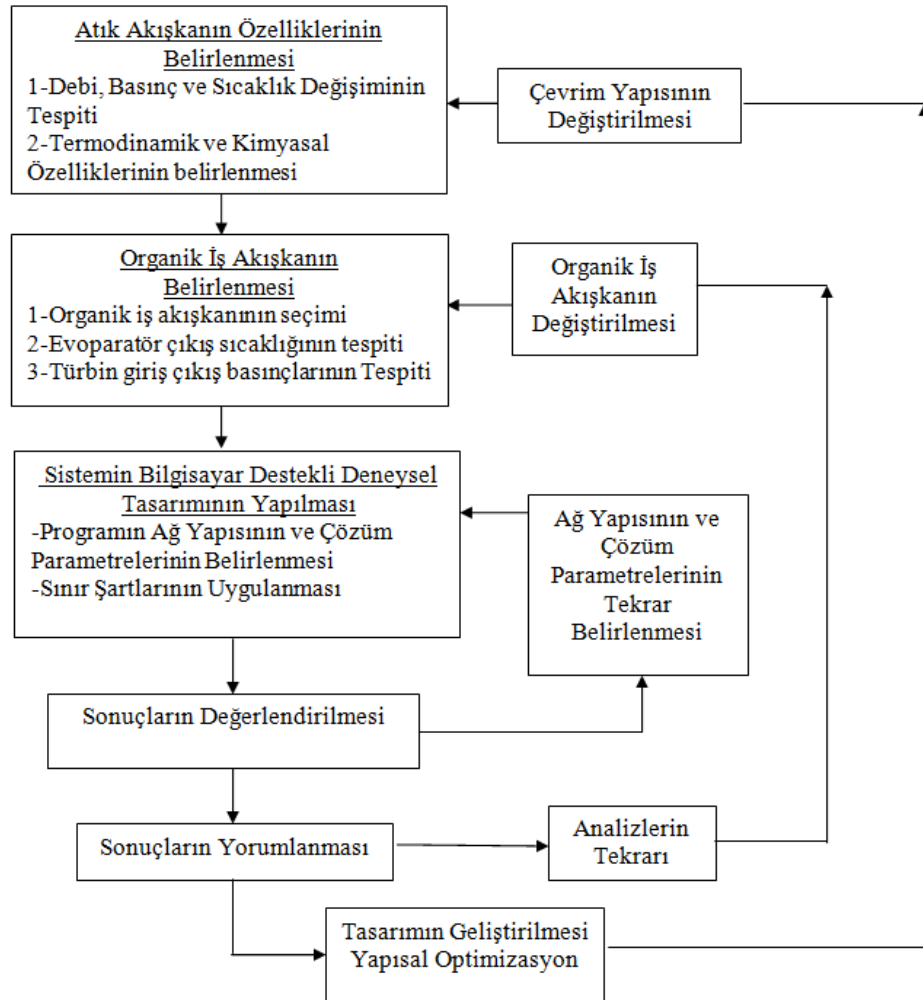
Lee ve ark. (1988), organik rankine çevriminin (ORÇ) enerji geri kazanım sistemi üzerindeki parametrelerin analizi için sistematik bir algoritma önermişlerdir. Yaptıkları termodinamik analiz, ekonomik değerlendirme ve duyarlılık analizi, ekonomik ve tasarım parametrelerinin araştırılmasını içermektedir. Çalıştıkları durumlarda, sistemin ekonomik fizibilite ve tasarım parametrelerinin etkilerinin çok önemli olduğunu belirterek, bu parametrelerin ekonomik bir kombinasyonu olduğuna değinmişlerdir. Yıllık çalışma saatleri, elektrik birim maliyet ve ekipman imal maliyetinin de ORÇ geri kazanım sisteminin entegrasi yararına önemli parametreler olduklarını vurgulamışlardır. Ayrıca, ORÇ sistemi ile düşük sıcaklık, gaz fazı atık ısı geri kazanımının ekonomik olduğunu, ancak ORÇ sistemi ile düşük basınçlı atık buhar geri kazanım orta kapasiteli tesisler için yüksek bir maliyette olduğunu belirtmişlerdir.

Najjar ve Radhwan (1988), gaz türbini motorlarının kısmi yükte düşük verimli olduklarına atıfta bulunarak enerji tasarrufu ve işletme maliyetlerini azaltmak amacıyla atık ısıdan ısı geri kazanımını gaz türbini çevrimiyle kapalı ORÇ arasında ısı alış verişi ile sağladıkları bir kojenerasyon sistemi üzerinde analitik bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bilgisayar programı sayesinde kombine çevrim performansını net iş ve ısıl verim cinsinden hesaplamışlardır. Kabul parametreleri olarak; gaz türbini basınç oranı, maksimum çevrim sıcaklığı, sıvı-hava kütlesi oranı ve çalışma sıvısı türünü belirlemişlerdir. Analitik çalışmaları sonucunda iş akışkanı olarak R133 iş akışkanının en optimum akışkanı olduğunu söylemişlerdir. Bunun sebebini ise akışkanın turbo genişletici boyutlarını minimize etmesine ve bu sayede sistemin ekonomik olmasına bağlamışlardır. Ekonomik analizlerinin sonucunda kojenerasyonla ısı geri kazanımının yatırımın kendini amorti etmesi yönünde olumlu olduğunu vurgulamışlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

EES (Engineering Equation Solver) programı kullanılarak, basit organik rankine çevrimi, rejeneratif organik rankine çevrimi ve organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi nümerik olarak modellenmiştir. Çevrimlerde tüm organik akışkanlar için akışkan türbin giriş sıcaklıkları ve atık akışkan debileri sabit alınarak iterasyonlar yapılmıştır. Modellenen sistemlerde organik çalışma akışkanları olarak izopentan, izobütan, R134a, R123, R245fa, R22, R13, propan ve R600 akışkanları incelenmiştir.

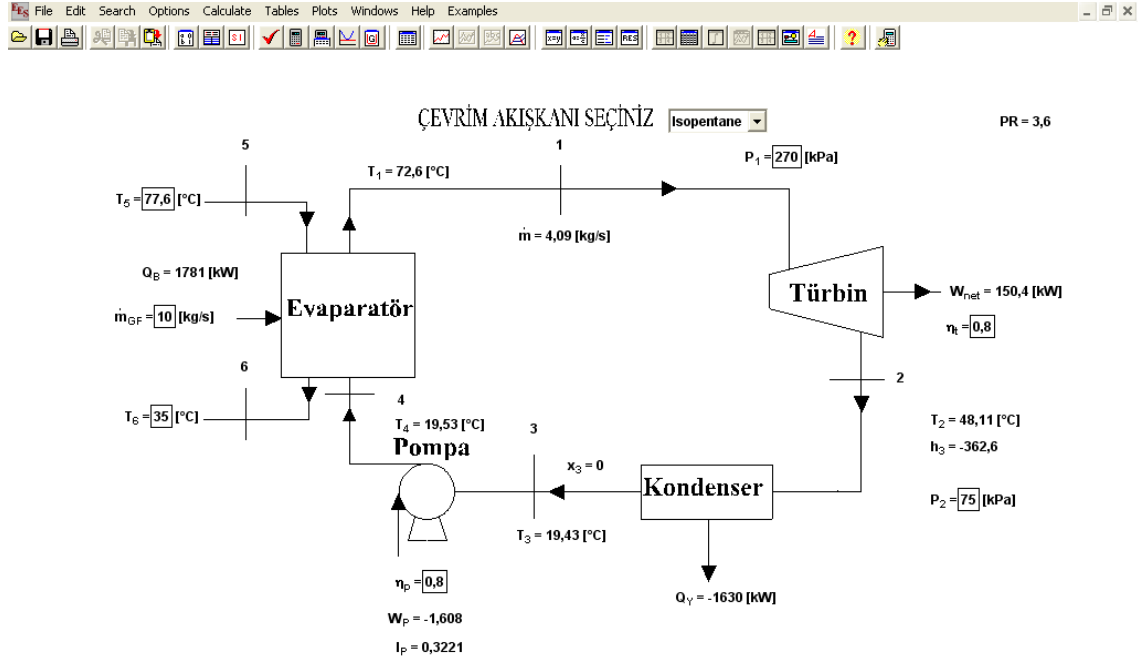
Çalışmalarda izlenen yol aşağıdaki yol akış şemasında belirtildiği gibidir.



Şekil 3.1. Yapılacak bir çalışmada izlenecek yol akış şeması

### 3.1. Basit Organik Rankine Çevrimi

EES programı kullanılarak basit organik rankine çevrimi Şekil 3.2’ de gösterildiği şekilde tasarlanmıştır. Çevrim akışkanı seçiniz kısmından organik iş akışkanı seçilir. Çevrim akışkanı için türbine giriş ve çıkış basınçları tespit edilerek bu basınçlar sırasıyla  $P_1$  ve  $P_2$  kutucuklarına yazılır. Atık akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları ( $T_5, T_6$ ), atık akışkan debisi ( $\dot{m}_{GF}$ ) istenilen değerlere göre değiştirilebilir. Türbin ve pompa elemanlarının verimleri alt taraflarında bulunan ilgili yerlere ( $\eta_T, \eta_P$ ) girilerek seçilen verim değerlerine göre hesaplar yaptırılabilir.



Şekil 3.2. Basit organik rankine çevrimi için hazırlanan program

Basit organik rankine çevriminde kullanılan evaporatör, türbin, kondenser ve pompa için birinci kanun denklemleri sırasıyla aşağıda verilmektedir.

Evaporatör için kullanılan denklemler;

$$\dot{m} \cdot (h_1 - h_4) = \dot{m}_{GF} \cdot c_p (T_1 - T_6) \quad (3.1.1)$$

$$Q_E = \dot{m}_{GF} \cdot c_p (T_1 - T_6) \quad (3.1.2)$$

$$P_1 = P_4 \quad (3.1.3)$$

$$P_5 = P_6 \quad (3.1.4)$$



Türbin için kullanılan denklemler;

$$W_T = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (3.1.5)$$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (3.1.6)$$

Kondenser için kullanılan denklem;

$$Q_K = \dot{m} \cdot (h_3 - h_2) \quad (3.1.7)$$

Pompa için kullanılan denklemler;

$$W_P = \dot{m} \cdot (h_3 - h_4) \quad (3.1.8)$$

$$\eta_P = \frac{h_{4s} - h_3}{h_4 - h_3} \quad (3.1.9)$$

Net iş;

$$W_{net} = W_T + W_P \quad (3.1.10)$$

I.Kanun verimi;

$$\eta_P = \frac{(W_T + W_P)}{Q_E} \quad (3.1.11)$$

Basit organik rankine çevriminde kullanılan evaporatör, türbin, kondenser ve pompa için ikinci kanun denklemleri sırasıyla aşağıda verilmektedir.

Evaporatör için kullanılan tersinmezlik denklemi;

$$I_E = (T_0 + 273,15) \cdot \dot{m} \cdot (s_1 - s_4) + (T_0 + 273,15) \cdot \dot{m} \cdot (s_6 - s_5) \quad (3.1.12)$$

Türbin için ekserji ve ikinci kanun verimi denklemleri;

$$\eta_{IIT} = \frac{W_T}{Ex_1 - Ex_2} \quad (3.1.13)$$

$$I_T = Ex_1 - Ex_2 - W_T \quad (3.1.14)$$

$$Ex_1 = \dot{m} \cdot oe_1$$

$$oe_1 = h_1 - h_0 - [(T_0 + 273,15) \cdot (s_1 - s_0)]$$

$$Ex_2 = \dot{m} \cdot oe_2$$

$$oe_2 = h_2 - h_0 - [(T_0 + 273,15) \cdot (s_2 - s_0)]$$

Kondenser için tersinmezlik denklemi;

$$I_K = (T_0 + 273,15) \cdot \left[ \dot{m} \cdot (s_3 - s_2) - \left( \frac{Q_K}{T_0 + 273,15} \right) \right] \quad (3.1.15)$$

Pompa için kullanılan II. Kanun denklemleri;

$$I_P = -W_P - (Ex_4 - Ex_3) \quad (3.1.16)$$

$$Ex_3 = \dot{m} \cdot oe_3$$

$$oe_3 = h_3 - h_0 - [(T_0 + 273,15) \cdot (s_3 - s_0)]$$

$$Ex_4 = \dot{m} \cdot oe_4$$

$$oe_4 = h_4 - h_0 - [(T_0 + 273,15) \cdot (s_4 - s_0)]$$

İkinci kanun verimi;

$$\eta_C = 1 - \left[ \frac{T_0 + 273,15}{T_8 + 273,15} \right] \quad (3.1.17)$$

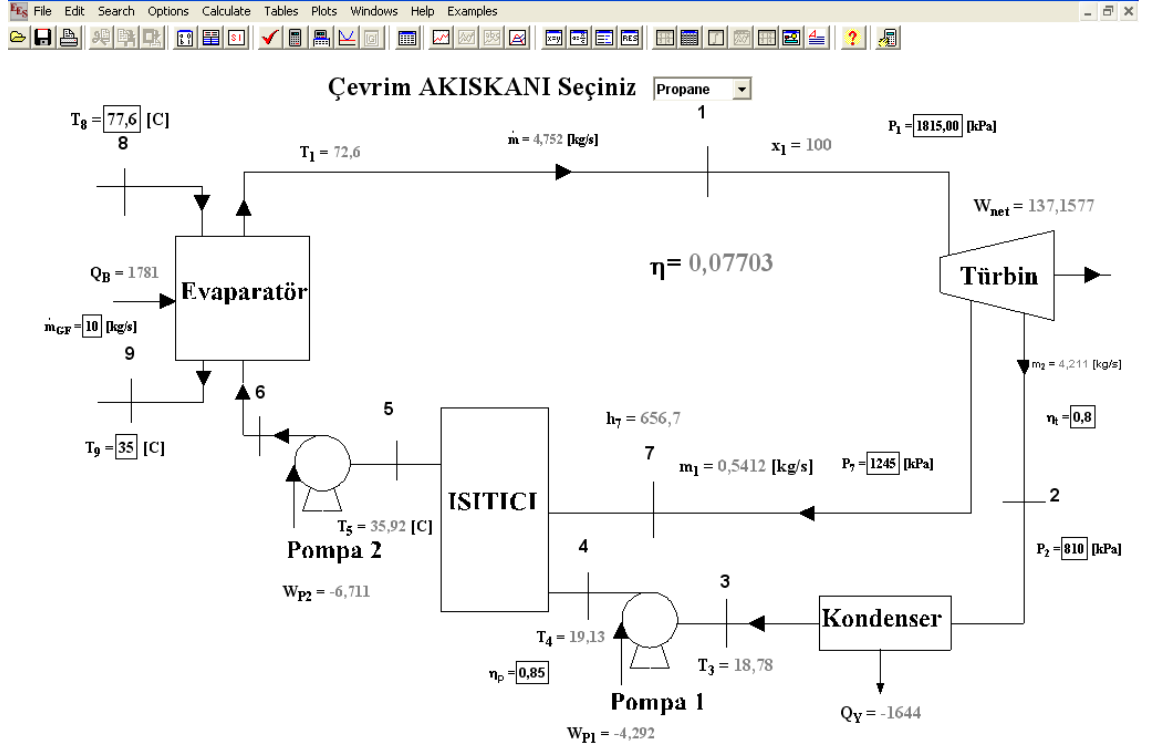
$$\eta_{II} = \frac{\eta}{\eta_C} \quad (3.1.18)$$

Toplam tersinmezlik değeri için kullanılan denklem;

$$I = I_T + I_Y + I_P + I_B \quad (3.1.19)$$

### 3.2. Rejeneratif (Geliştirilmiş) Organik Rankine Çevrimi

EES programı kullanılarak rejeneratif (geliştirilmiş) organik rankine çevrimi Şekil 3.3'de gösterildiği şekilde tasarlanmıştır. Çevrim akışkanı seçiniz kısmından organik iş akışkanı seçilir. Çevrim akışkanı için türbine giriş ve çıkış basınçları tespit edilerek bu basınçlar sırasıyla P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> ve P<sub>7</sub> kutucuklarına yazılır. Atık akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları (T<sub>8</sub>, T<sub>9</sub>), atık akışkan debisi ( $\dot{m}_{GF}$ ) istenilen değerlere göre değiştirilebilir. Türbin ve pompa elemanlarının verimleri alt taraflarında bulunan ilgili yerlere ( $\eta_T, \eta_P$ ) girilerek seçilen verim değerlerine göre hesaplar yaptırılabilir.



Şekil 3.3. Rejeneratif organik rankine çevrimi için hazırlanan program

Rejeneratif organik rankine çevriminde kullanılan evaporatör, kondenser, pompalar için birinci kanun ve ikinci kanun denklemleri basit organik rankine çevrimi ile aynıdır. Türbin ve ara ısıtıcı için kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir.

Türbin için kullanılan denklemler;

$$W_T = W_{Ta} + W_{Tb} \quad (3.2.1)$$

$$W_{Ta} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_7)$$

$$W_{Tb} = m_2 \cdot (h_1 - h_7)$$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (3.2.2)$$

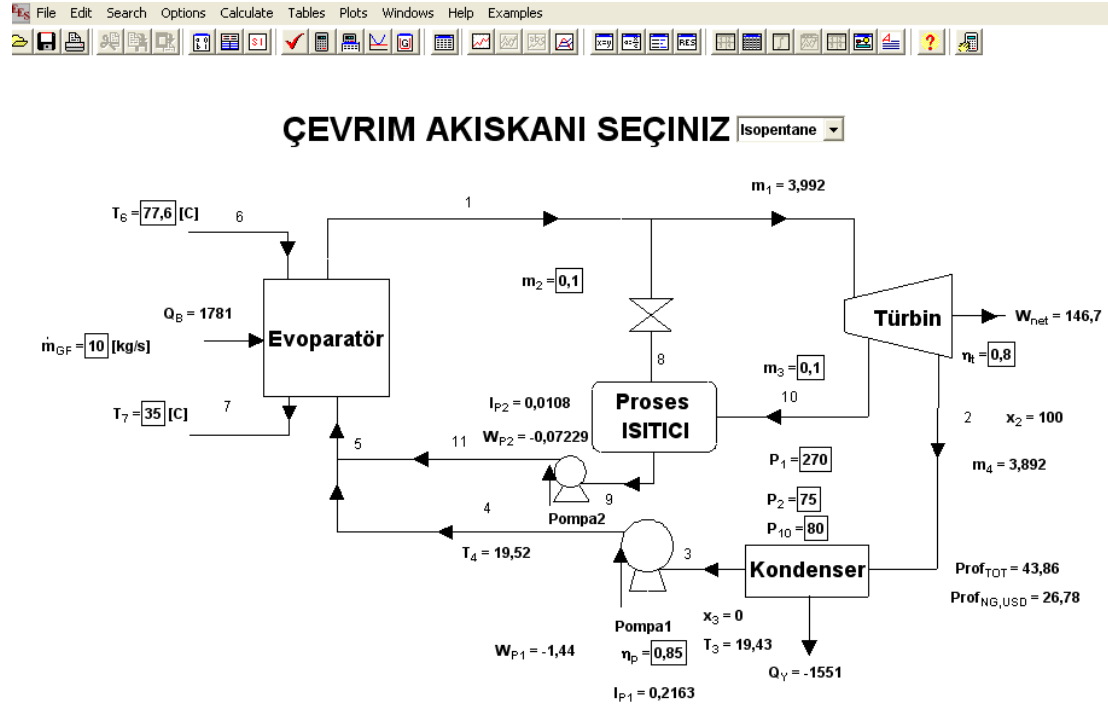
$$\eta_T = \frac{h_1 - h_7}{h_1 - h_{7s}}$$

Ara ısıtıcı için kullanılan debi dengesi denklemi;

$$m_1 \cdot h_7 + m_2 \cdot h_4 = \dot{m} \cdot h_5 \quad (3.2.3)$$

### 3.3. Organik Rankine Çevrimli Kojenerasyon Sistemi

EES programı kullanılarak organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi Şekil 3.3 'de gösterildiği şekilde tasarlanmıştır. Çevrim akışkanı seçiniz kısmından organik iş akışkanı seçilir. Çevrim akışkanı için türbine giriş ve çıkış basınçları tespit edilerek bu basınçlar sırasıyla  $P_1$ ,  $P_2$  ve  $P_{10}$  kutucuklarına yazılır. Atık akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları ( $T_6, T_7$ ), atık akışkan debisi ( $\dot{m}_{GF}$ ) istenilen değerlere göre değiştirilebilir. Türbin ve pompa elemanlarının verimleri alt taraflarında bulunan ilgili yerlere ( $\eta_T, \eta_P$ ) girilerek seçilen verim değerlerine göre hesaplar yaptırılabilir. Kısılma vanası vasıtasıyla proses ısıtıcıya giden debi ( $m_2$ ) ile türbinden proses ısıtıcıya giden debi değerleri ( $m_3$ ) değiştirilerek hesaplar yaptırılabilir.



Şekil 3.4. Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi

Proses ısıtıcı için kullanılan denklemler;

$$Q_{PH} = -(m_2 \cdot h_8 + m_3 \cdot h_{10} - m_9 \cdot h_9) \quad (3.3.1)$$

$$I_{PH} = (m_2 \cdot s_8 + m_3 \cdot s_{10} - m_9 \cdot s_9) - \left( \frac{Q_{PH}}{T_0 + 273,15} \right) \quad (3.3.2)$$

Yararlılık katsayısı için kullanılan denklem;

$$\varepsilon_u = \frac{(W_T + W_{P1} + W_{P2} - Q_{PH})}{Q_B} \quad (3.3.3)$$

## **4. BULGULAR**

### **4.1. Basit Organik Rankine Çevrimi**

Basit organik rankine çevrimi için modellenen programda organik çalışma akışkanları olarak izopentan, izobütan, propan, R123, R600, R2245fa, R13, R22 ve R134a akışkanları incelenmiştir.

#### **4.1.1.Organik iş akışkanı: İzopentan**

Çevrimlerde kullanılan yöntemler izopentan akışkanında ayrıntılı olarak anlatılmaya çalışılmıştır. Yapılan işlem alt adımları tüm çevrimler ve akışkanlar için aynıdır.

$T_1=72,6^{\circ}\text{C}$  olmak üzere izopentan iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. (Çizelge 1)

**Çizelge 1.**  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  için basınca bağlı bölge belirleme örneği

| $P_1$<br>[kPa] | Organik<br>Akışkan | $P_{\text{kritik}}$<br>[kPa] | Bölge        |
|----------------|--------------------|------------------------------|--------------|
| 5              | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 10             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 15             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 20             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 25             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 30             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 35             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 40             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 45             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 50             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 55             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 60             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 65             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 70             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 75             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 80             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 85             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 90             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 95             | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 100            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 105            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 110            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 115            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 120            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 125            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 130            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 135            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 140            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 145            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 150            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 155            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 160            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 165            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 170            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 175            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 180            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 185            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 190            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 195            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 200            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |

| $P_1$<br>[kPa] | Organik<br>Akışkan | $P_{\text{kritik}}$<br>[kPa] | Bölge        |
|----------------|--------------------|------------------------------|--------------|
| 205            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 210            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 215            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 220            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 225            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 230            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 235            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 240            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 245            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 250            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 255            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 260            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 265            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 270            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 275            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 280            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 285            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 290            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 295            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 300            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 305            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 310            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 315            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 320            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 325            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 330            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 335            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 340            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 345            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 350            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 355            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 360            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 365            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 370            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 375            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 380            | İzopentan          | 3370                         | KIZGIN BUHAR |
| 385            | İzopentan          | 3370                         | ISLAK BUHAR  |
| 390            | İzopentan          | 3370                         | ISLAK BUHAR  |
| 395            | İzopentan          | 3370                         | ISLAK BUHAR  |
| 400            | İzopentan          | 3370                         | ISLAK BUHAR  |

Çizelge 1’de görüldüğü üzere basınç değeri 380,31 kPa değerinin üzerine çıktığında verilen  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklık koşulunda izopentan ıslak buhar bölgesine geçmektedir. Islak buhar fazına geçtiği basınç direk alınmamaktadır. Bunun nedeni akışkanın kullanıldığı sistemin ekipmanlarının verilen basınç değerlerinde ikinci kanun analizi

sonuçlarının kabul edilemez değerlerde olmasıdır. Bu sebeple izopentan için  $P_1$  basıncının üst limiti  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında 250 kPa olarak seçilmiştir. Seçilen basınç değeri başlangıç iterasyonu değeridir.

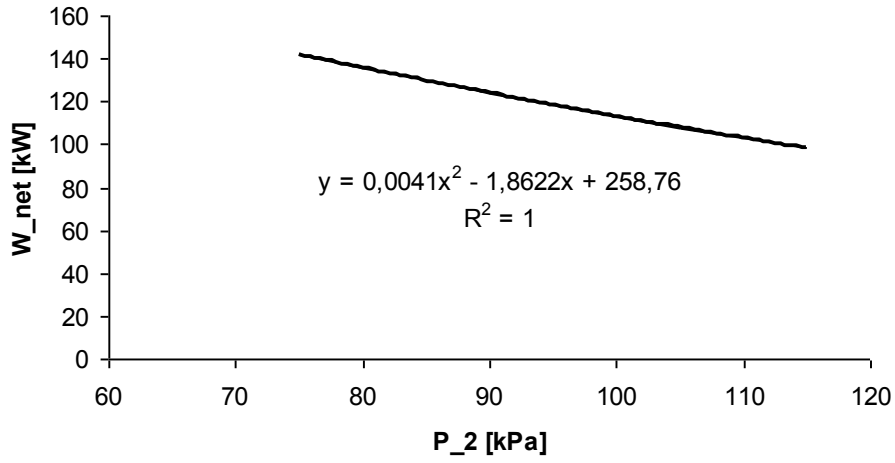
$P_1=250\text{kPa}$  ve  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s olmak üzere seçilebilecek  $P_2$  değerleri hesaplanmıştır.

**Çizelge 2.** Seçilebilecek  $P_2$  değerlerinin hesaplama örneği

| $P_2$<br>[kPa] | $m_{\text{dot}}$<br>[kg/s] | $I$<br>[kW] | $I_E$<br>[kW] | $I_P$<br>[kW] | $I_T$<br>[kW] | $I_K$<br>[kW] | $W_{\text{net}}$<br>[kW] | $W_P$<br>[kW] | $W_T$<br>[kW] | $\eta$  | $\eta_{II}$ |
|----------------|----------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------|---------|-------------|
| 5              | 3,197                      | -146,2      | 93,25         | 0,362         | 92,59         | -332,4        | 338,8                    | -1,45         | 340,2         | 0,1902  | 1,166       |
| 10             | 3,346                      | -105,1      | 70,75         | 0,358         | 77,75         | -253,9        | 297,6                    | -1,513        | 299,1         | 0,1671  | 1,024       |
| 15             | 3,449                      | -78,54      | 57,82         | 0,355         | 69,02         | -205,7        | 271,1                    | -1,544        | 272,6         | 0,1522  | 0,933       |
| 20             | 3,533                      | -58,5       | 48,77         | 0,35          | 62,79         | -170,4        | 251,1                    | -1,561        | 252,6         | 0,141   | 0,864       |
| 25             | 3,604                      | -42,19      | 41,84         | 0,346         | 57,91         | -142,3        | 234,8                    | -1,569        | 236,3         | 0,1318  | 0,808       |
| 30             | 3,667                      | -28,32      | 36,25         | 0,341         | 53,88         | -118,8        | 220,9                    | -1,57         | 222,5         | 0,124   | 0,76        |
| 35             | 3,725                      | -16,18      | 31,59         | 0,336         | 50,45         | -98,55        | 208,7                    | -1,567        | 210,3         | 0,1172  | 0,718       |
| 40             | 3,778                      | -5,328      | 27,62         | 0,331         | 47,45         | -80,72        | 197,9                    | -1,56         | 199,5         | 0,1111  | 0,681       |
| 45             | 3,828                      | 4,511       | 24,18         | 0,325         | 44,77         | -64,76        | 188,1                    | -1,55         | 189,6         | 0,1056  | 0,647       |
| 50             | 3,875                      | 13,54       | 21,15         | 0,319         | 42,36         | -50,28        | 179                      | -1,536        | 180,6         | 0,1005  | 0,616       |
| 55             | 3,92                       | 21,91       | 18,46         | 0,313         | 40,15         | -37,01        | 170,7                    | -1,521        | 172,2         | 0,09584 | 0,587       |
| 60             | 3,963                      | 29,72       | 16,05         | 0,307         | 38,12         | -24,76        | 162,8                    | -1,503        | 164,4         | 0,09145 | 0,56        |
| 65             | 4,004                      | 37,05       | 13,88         | 0,301         | 36,23         | -13,35        | 155,5                    | -1,484        | 157           | 0,08733 | 0,535       |
| 70             | 4,043                      | 43,98       | 11,91         | 0,295         | 34,47         | -2,686        | 148,6                    | -1,463        | 150           | 0,08344 | 0,511       |
| 75             | 4,082                      | 50,56       | 10,11         | 0,288         | 32,81         | 7,347         | 142                      | -1,44         | 143,4         | 0,07975 | 0,489       |
| 80             | 4,119                      | 56,82       | 8,472         | 0,282         | 31,24         | 16,82         | 135,7                    | -1,415        | 137,2         | 0,07623 | 0,467       |
| 85             | 4,155                      | 62,81       | 6,967         | 0,275         | 29,76         | 25,8          | 129,8                    | -1,39         | 131,1         | 0,07287 | 0,446       |
| 90             | 4,19                       | 68,55       | 5,582         | 0,268         | 28,35         | 34,35         | 124                      | -1,362        | 125,4         | 0,06965 | 0,427       |
| 95             | 4,225                      | 74,07       | 4,305         | 0,261         | 27,01         | 42,5          | 118,5                    | -1,334        | 119,8         | 0,06655 | 0,408       |
| 100            | 4,258                      | 79,39       | 3,125         | 0,254         | 25,72         | 50,29         | 113,2                    | -1,305        | 114,5         | 0,06356 | 0,389       |
| 105            | 4,291                      | 84,53       | 2,033         | 0,247         | 24,48         | 57,76         | 108                      | -1,274        | 109,3         | 0,06067 | 0,372       |
| 110            | 4,324                      | 89,5        | 1,022         | 0,24          | 23,29         | 64,94         | 103,1                    | -1,242        | 104,3         | 0,05788 | 0,355       |
| 115            | 4,356                      | 94,32       | 0,084         | 0,233         | 22,15         | 71,85         | 98,25                    | -1,209        | 99,46         | 0,05517 | 0,338       |
| 120            | 4,387                      | 99          | -0,787        | 0,225         | 21,04         | 78,52         | 93,57                    | -1,175        | 94,74         | 0,05254 | 0,322       |
| 125            | 4,418                      | 103,6       | -1,595        | 0,218         | 19,97         | 84,96         | 89,01                    | -1,141        | 90,15         | 0,04999 | 0,306       |
| 130            | 4,449                      | 108         | -2,345        | 0,21          | 18,94         | 91,18         | 84,58                    | -1,105        | 85,69         | 0,0475  | 0,291       |
| 135            | 4,479                      | 112,3       | -3,042        | 0,202         | 17,93         | 97,22         | 80,26                    | -1,068        | 81,33         | 0,04507 | 0,276       |
| 140            | 4,508                      | 116,5       | -3,689        | 0,194         | 16,95         | 103,1         | 76,04                    | -1,03         | 77,07         | 0,0427  | 0,262       |

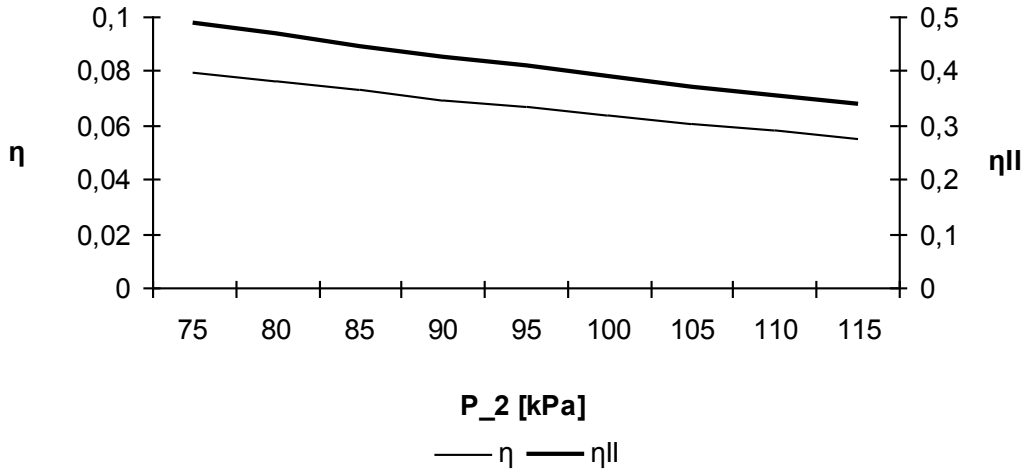
Hesaplanan değerler sonucunda  $P_2$  basınç değerinin 75 kPa ile 115 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür. Bu basınç aralığının üzerinde veya altında sistem ekipmanlarının tersinmezlikleri kabul edilemez değerlere ulaşmaktadır.





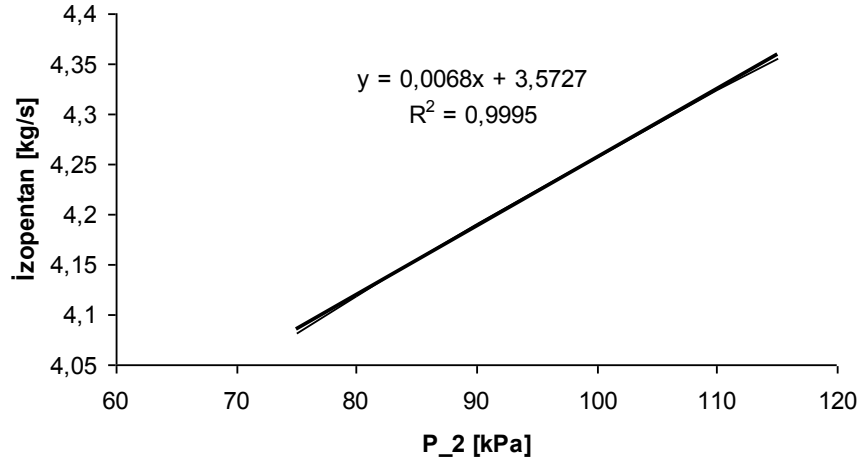
**Şekil 4.1.** İzopentan için  $P_2$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_2$  değeri arttıkça elde edilen net işin azaldığı görülmektedir. Bu sebeple maksimum net iş değerinin elde edilebilmesi için  $P_2$  basınç değeri minimum seçilmelidir.



**Şekil 4.2.** İzopentan için  $P_2$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_2$  basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin de azaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.3.** İzopentan için  $P_2$  basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

$P_2$  basıncı arttıkça sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi artmaktadır.

$P_2$  değeri 75 kPa olarak seçilerek seçilebilecek  $P_1$  basınç değerleri araştırılmıştır.

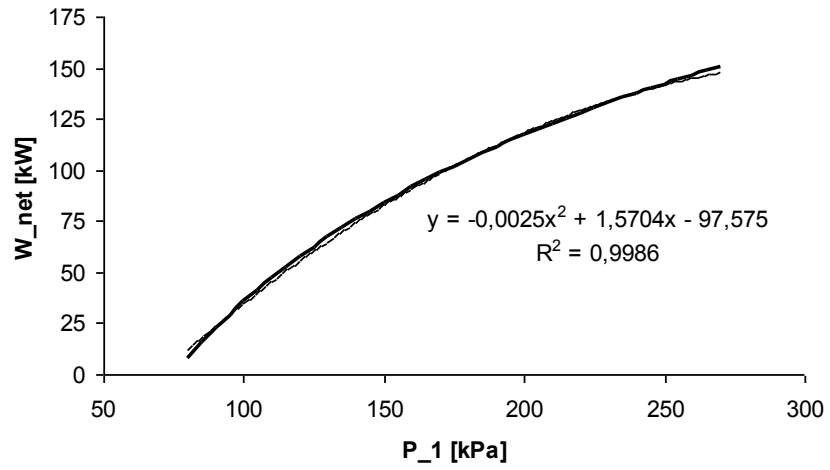
**Çizelge 3.** Seçilebilecek  $P_1$  değerlerinin hesaplama örneği

| $P_1$<br>[kPa] | $m_{org}$<br>[kg/s] | $I$<br>[kW] | $I_E$<br>[kW] | $I_p$ [kW] | $I_T$ [kW] | $I_k$ [kW] | $W_{net}$<br>[kW] | $W_p$ kW] | $W_T$<br>[kW] | $\eta$   | $\eta_{II}$ |
|----------------|---------------------|-------------|---------------|------------|------------|------------|-------------------|-----------|---------------|----------|-------------|
| 80             | 4,015               | 184,5       | 156           | 0,00811    | 1,718      | 26,76      | 8,032             | -0,0405   | 8,073         | 0,004511 | 0,02764     |
| 85             | 4,017               | 177         | 148,1         | 0,01623    | 3,335      | 25,54      | 15,54             | -0,081    | 15,62         | 0,008726 | 0,05346     |
| 90             | 4,019               | 170         | 140,7         | 0,02435    | 4,864      | 24,42      | 22,58             | -0,1215   | 22,7          | 0,01268  | 0,07769     |
| 95             | 4,02                | 163,4       | 133,6         | 0,03248    | 6,313      | 23,37      | 29,21             | -0,1621   | 29,37         | 0,0164   | 0,1005      |
| 100            | 4,022               | 157,1       | 127           | 0,04062    | 7,691      | 22,39      | 35,47             | -0,2027   | 35,67         | 0,01992  | 0,122       |
| 105            | 4,024               | 151,2       | 120,6         | 0,04876    | 9,004      | 21,47      | 41,4              | -0,2434   | 41,64         | 0,02325  | 0,1424      |
| 110            | 4,026               | 145,5       | 114,6         | 0,05688    | 10,26      | 20,61      | 47,03             | -0,284    | 47,31         | 0,02641  | 0,1618      |
| 115            | 4,028               | 140,2       | 108,9         | 0,06508    | 11,46      | 19,8       | 52,38             | -0,3248   | 52,71         | 0,02942  | 0,1802      |
| 120            | 4,03                | 135,1       | 103,4         | 0,07324    | 12,61      | 19,03      | 57,49             | -0,3655   | 57,86         | 0,03229  | 0,1978      |
| 125            | 4,031               | 130,2       | 98,09         | 0,08141    | 13,72      | 18,3       | 62,37             | -0,4063   | 62,78         | 0,03503  | 0,2146      |
| 130            | 4,033               | 125,5       | 93,04         | 0,08962    | 14,78      | 17,62      | 67,04             | -0,4472   | 67,49         | 0,03765  | 0,2307      |
| 135            | 4,035               | 121         | 88,18         | 0,09789    | 15,81      | 16,96      | 71,52             | -0,4882   | 72            | 0,04016  | 0,2461      |
| 140            | 4,037               | 116,8       | 83,51         | 0,106      | 16,8       | 16,34      | 75,81             | -0,529    | 76,34         | 0,04258  | 0,2608      |
| 145            | 4,039               | 112,6       | 79,01         | 0,1142     | 17,76      | 15,74      | 79,94             | -0,5699   | 80,51         | 0,0449   | 0,2751      |
| 150            | 4,041               | 108,6       | 74,67         | 0,1224     | 18,68      | 15,17      | 83,92             | -0,6109   | 84,53         | 0,04713  | 0,2887      |
| 155            | 4,043               | 104,8       | 70,47         | 0,1306     | 19,58      | 14,63      | 87,75             | -0,652    | 88,41         | 0,04928  | 0,3019      |
| 160            | 4,045               | 101,1       | 66,42         | 0,1389     | 20,45      | 14,1       | 91,45             | -0,693    | 92,15         | 0,05136  | 0,3147      |
| 165            | 4,047               | 97,54       | 62,49         | 0,1471     | 21,29      | 13,6       | 95,03             | -0,7342   | 95,76         | 0,05336  | 0,3269      |
| 170            | 4,049               | 94,08       | 58,69         | 0,1553     | 22,11      | 13,12      | 98,48             | -0,7753   | 99,26         | 0,0553   | 0,3388      |
| 175            | 4,051               | 90,74       | 55            | 0,1636     | 22,91      | 12,66      | 101,8             | -0,8165   | 102,6         | 0,05718  | 0,3503      |

**Çizelge 3.** Seçilebilecek  $P_1$  değerlerinin hesaplama örneği (devam)

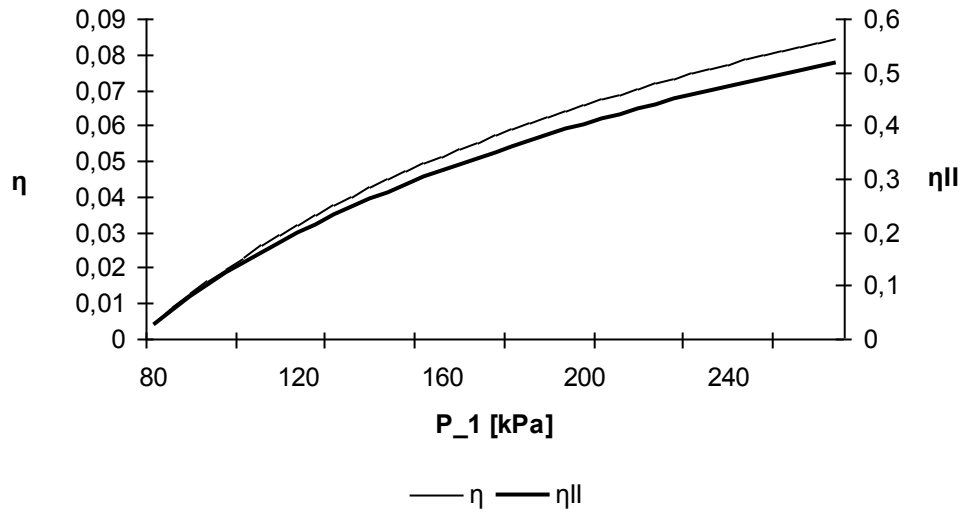
| $P_1$<br>[kPa] | $m_{org}$<br>[kg/s] | I<br>[kW] | $I_E$<br>[kW] | $I_P$ [kW] | $I_T$ [kW] | $I_K$ [kW] | $W_{net}$<br>[kW] | $W_P$ kW] | $W_T$<br>[kW] | $\eta$  | $H_{II}$ |
|----------------|---------------------|-----------|---------------|------------|------------|------------|-------------------|-----------|---------------|---------|----------|
| 180            | 4,053               | 87,5      | 51,43         | 0,1719     | 23,69      | 12,22      | 105,1             | -0,8578   | 105,9         | 0,059   | 0,3615   |
| 185            | 4,055               | 84,36     | 47,95         | 0,1801     | 24,44      | 11,79      | 108,2             | -0,899    | 109,1         | 0,06076 | 0,3723   |
| 190            | 4,057               | 81,32     | 44,57         | 0,1884     | 25,18      | 11,38      | 111,2             | -0,9404   | 112,2         | 0,06247 | 0,3828   |
| 195            | 4,059               | 78,36     | 41,29         | 0,1967     | 25,9       | 10,98      | 114,2             | -0,9817   | 115,2         | 0,06414 | 0,3929   |
| 200            | 4,061               | 75,49     | 38,09         | 0,205      | 26,6       | 10,59      | 117,1             | -1,023    | 118,1         | 0,06575 | 0,4028   |
| 205            | 4,063               | 72,69     | 34,98         | 0,2133     | 27,28      | 10,22      | 119,9             | -1,065    | 120,9         | 0,06732 | 0,4124   |
| 210            | 4,065               | 69,97     | 31,94         | 0,2216     | 27,95      | 9,859      | 122,6             | -1,106    | 123,7         | 0,06885 | 0,4218   |
| 215            | 4,067               | 67,33     | 28,98         | 0,2299     | 28,6       | 9,511      | 125,2             | -1,148    | 126,4         | 0,07033 | 0,4309   |
| 220            | 4,069               | 64,75     | 26,09         | 0,2383     | 29,24      | 9,173      | 127,8             | -1,189    | 129           | 0,07178 | 0,4398   |
| 225            | 4,071               | 62,24     | 23,28         | 0,2466     | 29,87      | 8,845      | 130,3             | -1,231    | 131,6         | 0,07319 | 0,4484   |
| 230            | 4,073               | 59,79     | 20,52         | 0,2549     | 30,48      | 8,528      | 132,8             | -1,273    | 134,1         | 0,07457 | 0,4568   |
| 235            | 4,075               | 57,39     | 17,83         | 0,2633     | 31,08      | 8,219      | 135,2             | -1,314    | 136,5         | 0,07591 | 0,4651   |
| 240            | 4,077               | 55,06     | 15,2          | 0,2717     | 31,67      | 7,92       | 137,5             | -1,356    | 138,9         | 0,07722 | 0,4731   |
| 245            | 4,079               | 52,78     | 12,63         | 0,2801     | 32,24      | 7,629      | 139,8             | -1,398    | 141,2         | 0,0785  | 0,4809   |
| 250            | 4,082               | 50,56     | 10,11         | 0,2884     | 32,81      | 7,347      | 142               | -1,44     | 143,4         | 0,07975 | 0,4886   |
| 255            | 4,084               | 48,38     | 7,649         | 0,2968     | 33,36      | 7,072      | 144,2             | -1,482    | 145,7         | 0,08097 | 0,4961   |
| 260            | 4,086               | 46,25     | 5,237         | 0,3052     | 33,91      | 6,804      | 146,3             | -1,524    | 147,8         | 0,08217 | 0,5034   |
| 265            | 4,088               | 44,17     | 2,873         | 0,3137     | 34,44      | 6,544      | 148,4             | -1,566    | 150           | 0,08333 | 0,5106   |
| 270            | 4,09                | 42,14     | 0,557         | 0,3221     | 34,97      | 6,29       | 150,4             | -1,608    | 152           | 0,08448 | 0,5176   |
| 275            | 4,093               | 40,14     | -1,714        | 0,3305     | 35,48      | 6,043      | 152,4             | -1,65     | 154,1         | 0,0856  | 0,5244   |
| 280            | 4,095               | 38,19     | -3,94         | 0,339      | 35,99      | 5,802      | 154,4             | -1,692    | 156,1         | 0,08669 | 0,5311   |
| 285            | 4,097               | 36,28     | -6,125        | 0,3474     | 36,49      | 5,567      | 156,3             | -1,734    | 158           | 0,08777 | 0,5377   |

Akışkanın verilen sıcaklık değerinde bölge tayini esnasında da söylendiği gibi  $P_1$  basıncı 270 kPa değerinin üzerine çıktığında evaporatör için tersinmezlik değeri kabul edilemez değerlere ulaşmaktadır. Bu sebeple  $P_1$  basıncı 80 kPa ile 270 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



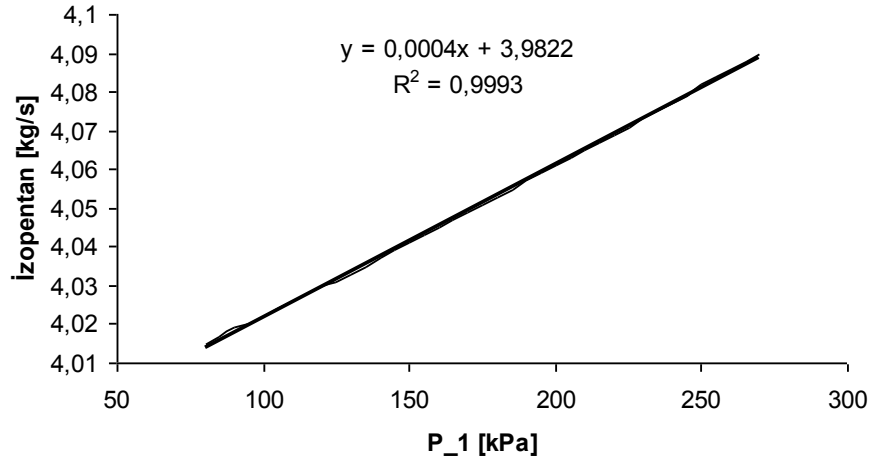
**Şekil 4.4.** İzopentan için  $P_1$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça net işin arttığı görülmektedir.



**Şekil 4.5.** İzopentan için  $P_1$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.



**Şekil 4.6.** İzopentan için  $P_1$  basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

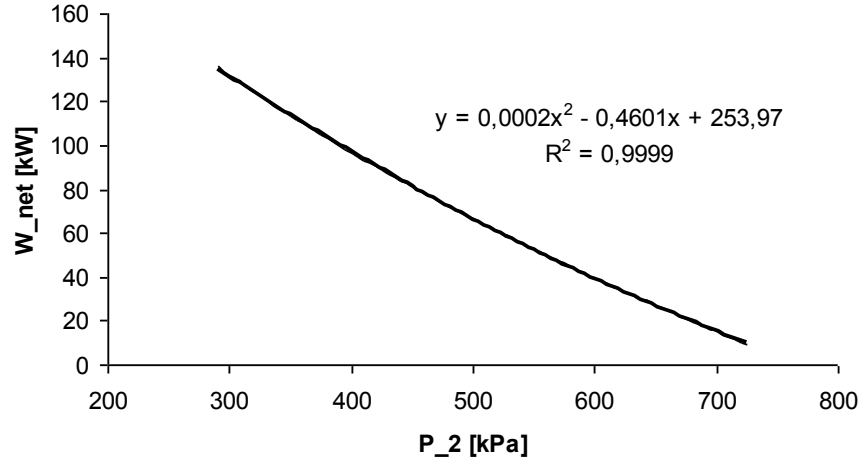
$P_1$  basıncı arttıkça sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi de artmaktadır.

Organik iş akışkanı izopentan,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10 \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}= 4,09 \text{ kg/s}$ ,  $P_1 = 270 \text{ kPa}$  ve  $P_2= 75 \text{ kPa}$  olmak üzere elde edilen net iş  $150,4 \text{ kW}$ 'tır.

#### 4.1.2. Organik iş akışkanı: İzobütan

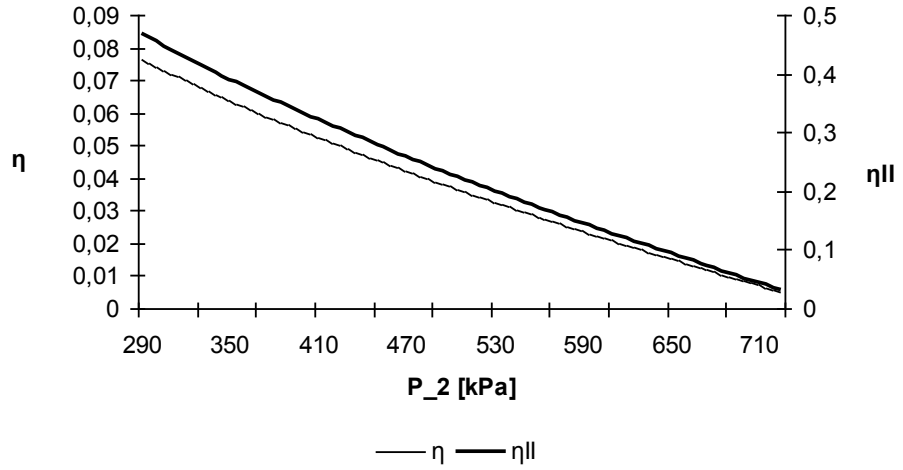
$T_1=72,6^\circ\text{C}$  olmak üzere izobütan iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç değeri  $1149,1 \text{ kPa}$  değerinin üzerine çıktığında verilen  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklık koşulunda izobütan ıslak buhar bölgesine geçmektedir. Bu sebepten dolayı izobütan için  $P_1$  basıncının üst limiti  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında  $765 \text{ kPa}$  olarak seçilmiştir.

$P_1=765 \text{ kPa}$  ve  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10 \text{ kg/s}$  olmak üzere seçilebilecek  $P_2$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sonucunda  $P_2$  basınç değerinin  $290 \text{ kPa}$  ile  $725 \text{ kPa}$  değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



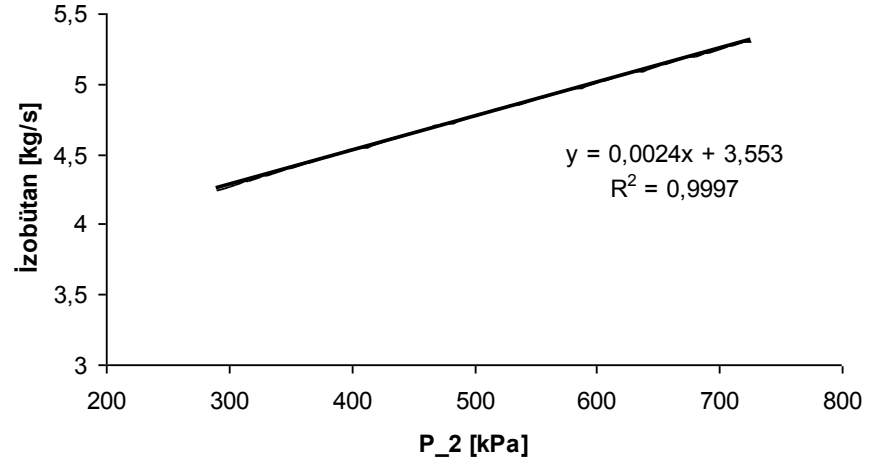
**Şekil 4.7.** İzobütan için  $P_2$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_2$  basıncı 290 kPa değerinin üzerine çıktıkça elde edilen net işin azaldığı görülmüştür.



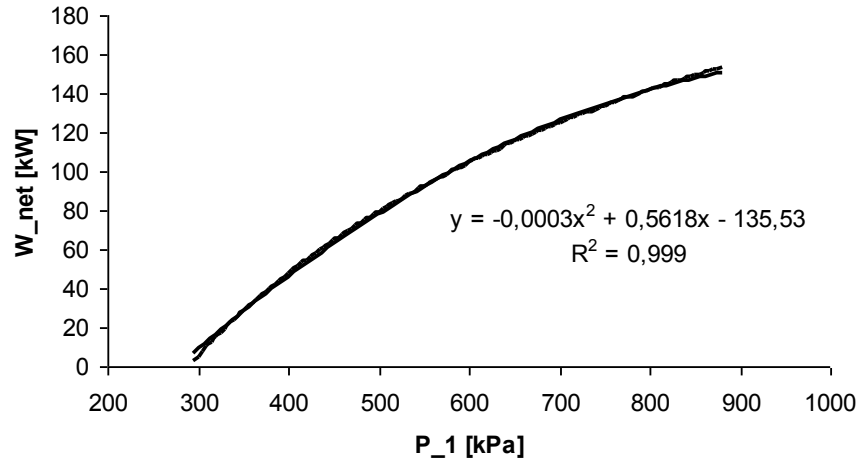
**Şekil 4.8.** İzobütan için  $P_2$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_2$  basıncı arttıkça I.ve II. Kanun verimlerinin azaldığı görülmüştür.



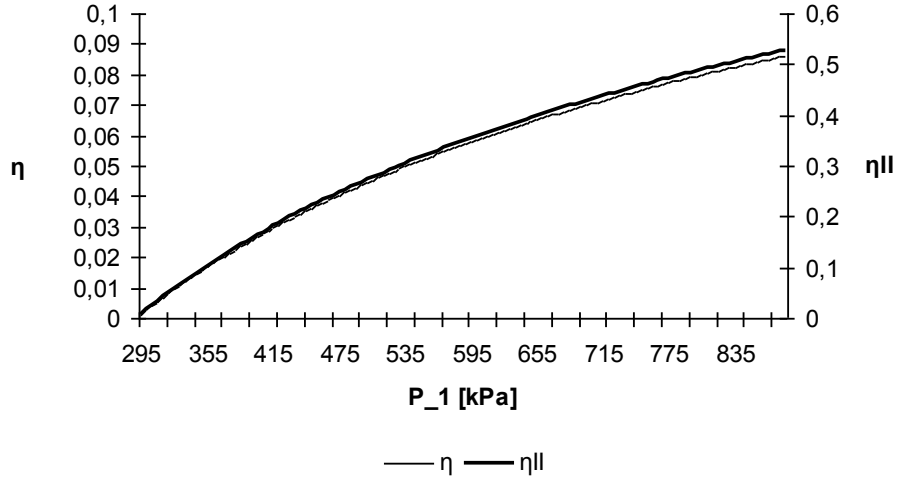
**Şekil 4.9.** İzobütan için P<sub>2</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça sistemdeki organik akışkan debisi artmaktadır. P<sub>2</sub> değeri 290 kPa olarak seçilerek seçilebilecek P<sub>1</sub> basınç değerleri araştırılmıştır. P<sub>1</sub> basıncının 295 kPa ile 880 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



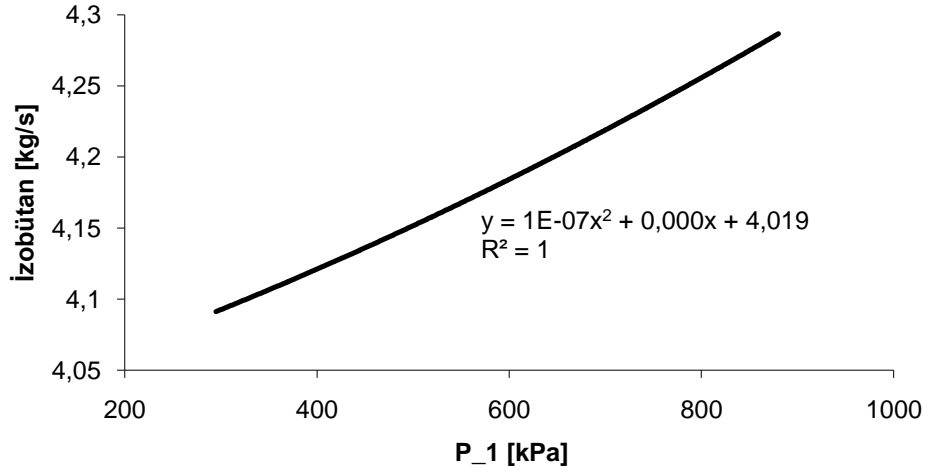
**Şekil 4.10.** İzopentan için P<sub>1</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>1</sub> basıncı arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.11. P<sub>1</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

P<sub>1</sub> basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.12. İzobütan için P<sub>1</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>1</sub> basıncının artmasına bağlı olarak sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi de artmaktadır.

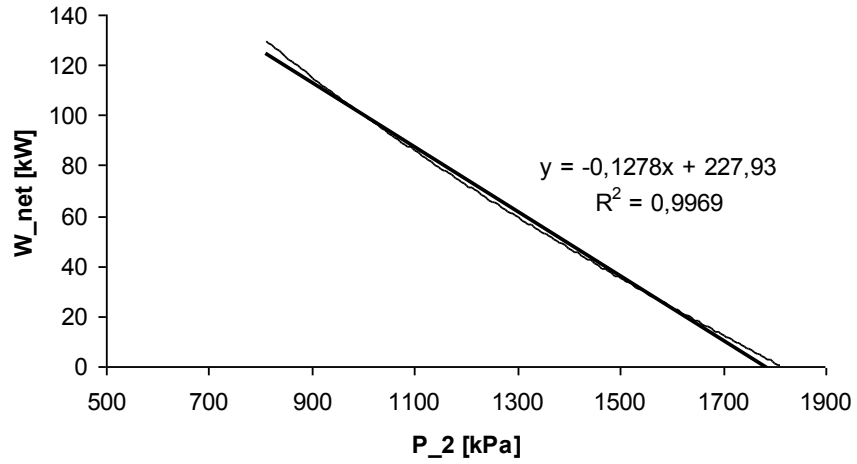
Organik iş akışkanı izobütan, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 4,287 kg/s, P<sub>1</sub> = 880 kPa ve P<sub>2</sub>= 290 kPa olmak üzere elde edilen net iş 153,3 kW'tır.



### 4.1.3. Organik iş akışkanı: Propan

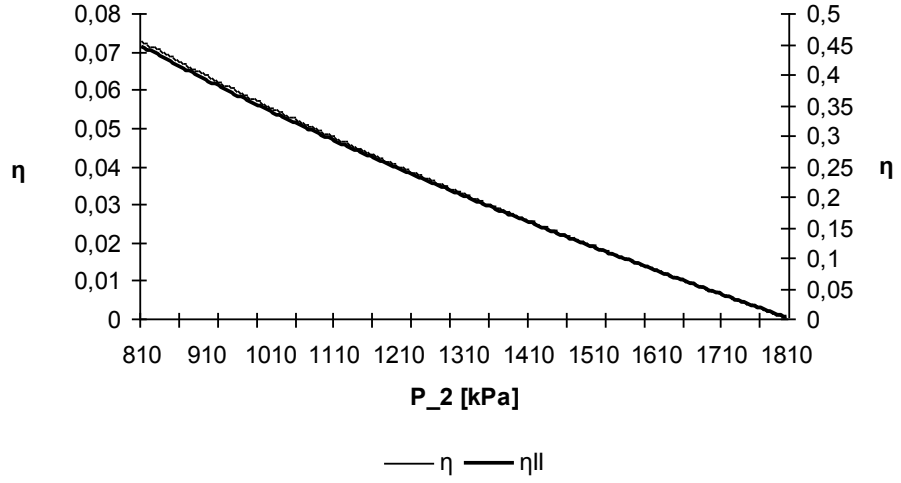
$T_1=72,6^\circ\text{C}$  olmak üzere propan iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç değeri 2721,34 kPa değerinin üzerine çıktığında verilen  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklık koşulunda propan ıslak buhar bölgesine geçmektedir. Bu sebepten dolayı propan için  $P_1$  basıncının üst limiti  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında 1815 kPa olarak seçilmiştir.

$P_1=1815$  kPa ve  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere seçilebilecek  $P_2$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sonucunda  $P_2$  basınç değerinin 810kPa ile 1810 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



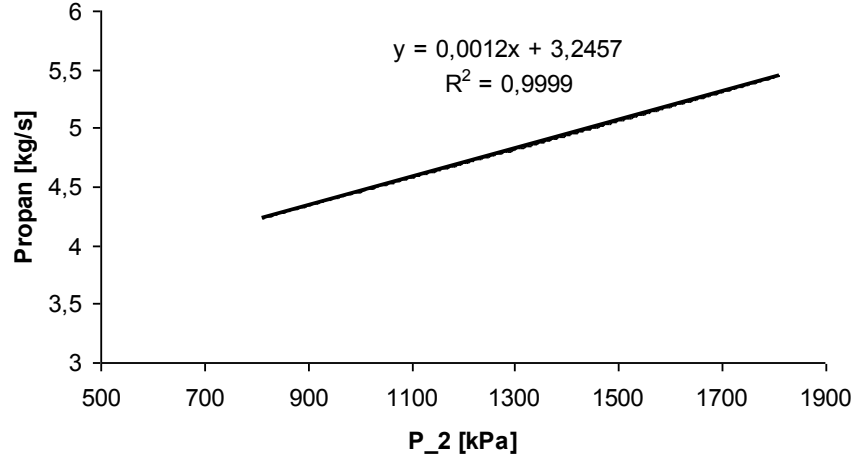
Şekil 4.13. Propan için  $P_2$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_2$  basıncı 810 kPa değerinin üzerine çıktıkça elde edilen net işin azaldığı görülmüştür.



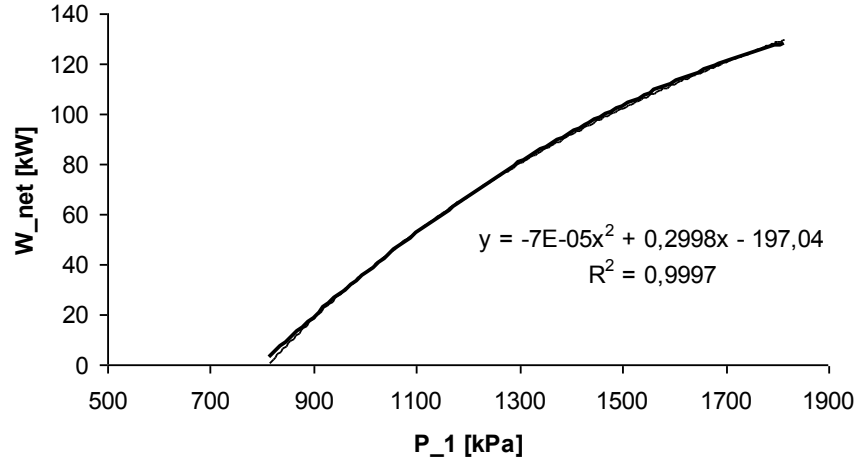
**Şekil 4.14.** Propan için P<sub>2</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça I.ve II. Kanun verimlerinin azaldığı görülmüştür.



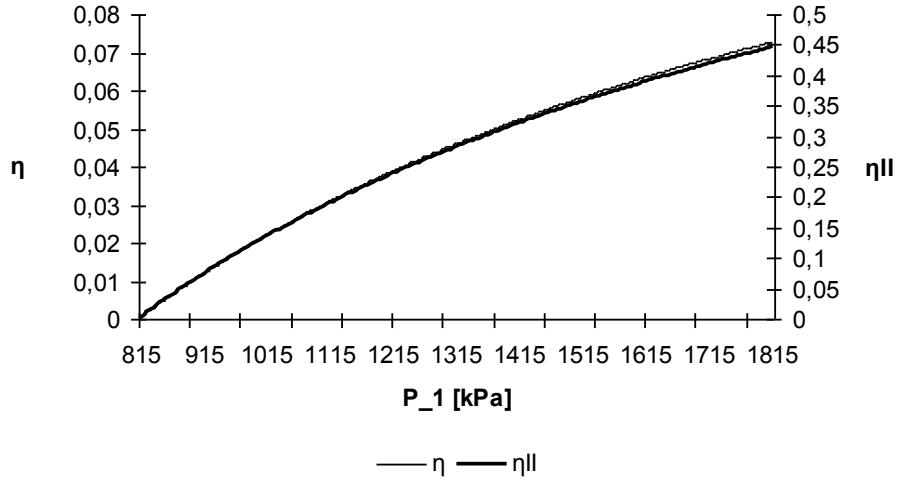
**Şekil 4.15.** Propan için P<sub>2</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça sistemdeki organik akışkan debisi artmaktadır. P<sub>2</sub> değeri 810 kPa olarak seçilerek seçilebilecek P<sub>1</sub> basınç değerleri araştırılmıştır. P<sub>1</sub> basıncının 815 kPa ile 1815 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



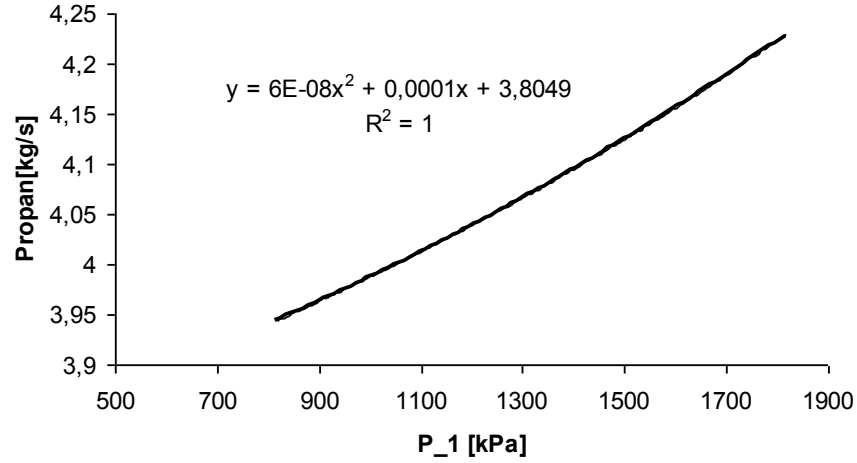
Şekil 4.16. Propan için  $P_1$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.17. Propan için  $P_1$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.



**Şekil 4.18.** Propan için P<sub>1</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

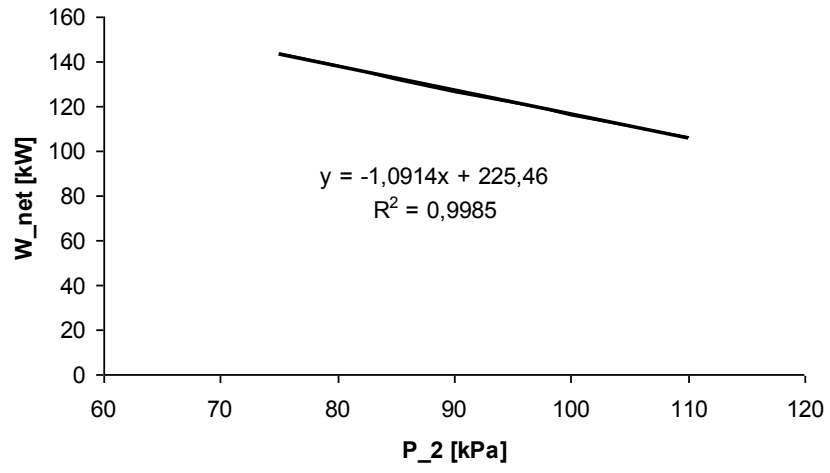
P<sub>1</sub> basıncının artışına bağlı olarak sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi de artmaktadır.

Organik iş akışkanı propan, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 4,23 kg/s, P<sub>1</sub> = 880 kPa ve P<sub>2</sub>= 290 kPa olmak üzere elde edilen net iş 129,8 kW'tır.

#### 4.1.4. Organik iş akışkanı: R123

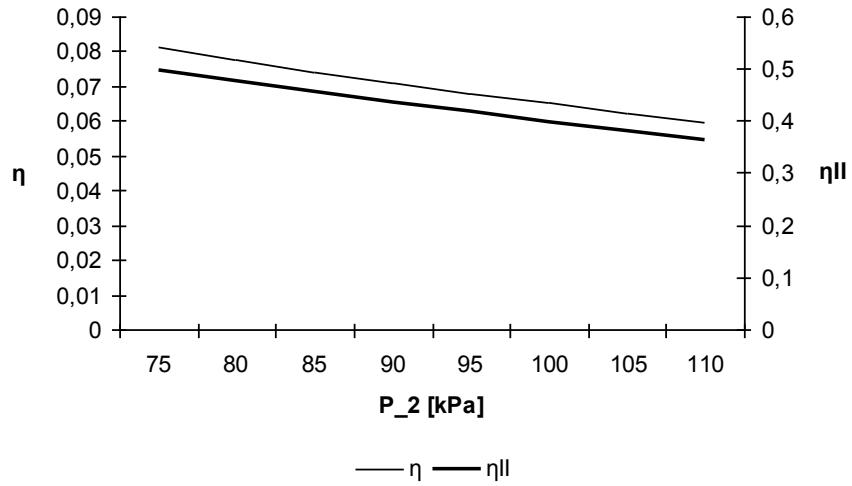
T<sub>1</sub>=72,6°C olmak üzere R123 iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç değeri 404,78 kPa değerinin üzerine çıktığında verilen T<sub>1</sub>=72,6°C sıcaklık koşulunda R123 ıslak buhar bölgesine geçmektedir. Bu sebepten dolayı R123 için P<sub>1</sub> basıncının üst limiti T<sub>1</sub>=72,6°C sıcaklığında 260 kPa olarak seçilmiştir.

P<sub>1</sub>=260 kPa ve T<sub>1</sub>=72,6°C m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere seçilebilecek P<sub>2</sub> değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sonucunda P<sub>2</sub> basınç değerinin 75kPa ile 110 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



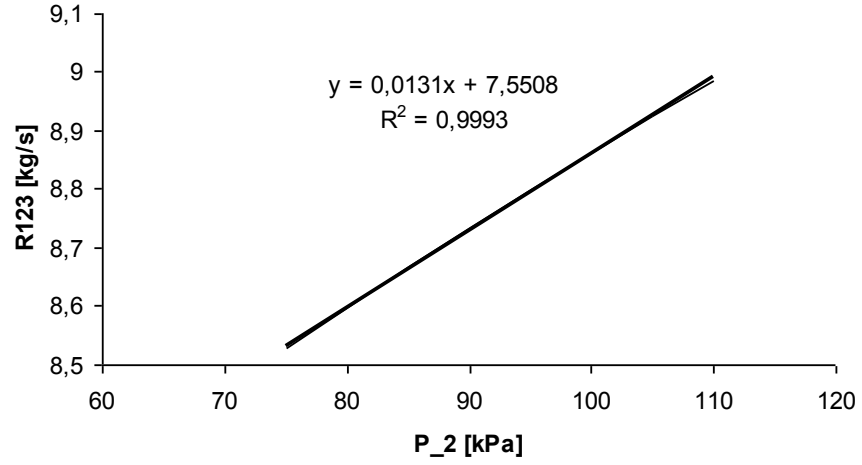
**Şekil 4.19.** R123 için P<sub>2</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>2</sub> basıncı 75 kPa değerinin üzerine çıktıkça elde edilen net işin azaldığı görülmüştür.



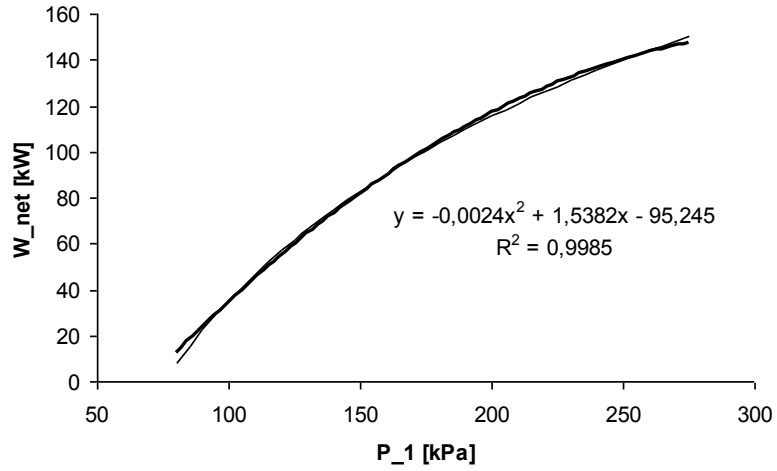
**Şekil 4.20.** R123 için P<sub>2</sub> basıncı ile η ve ηII değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça I.ve II. Kanun verimlerinin azaldığı görülmüştür.



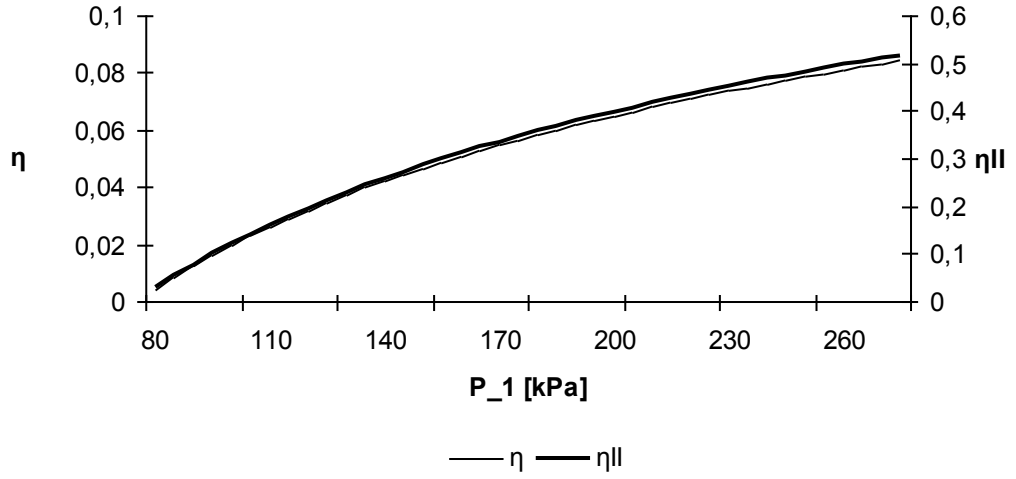
**Şekil 4.21.** R123 için P<sub>2</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça sistemdeki organik akışkan debisi artmaktadır. P<sub>2</sub> değeri 75 kPa olarak seçilerek seçilebilecek P<sub>1</sub> basınç değerleri araştırılmıştır. P<sub>1</sub> basıncının 80 kPa ile 275 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



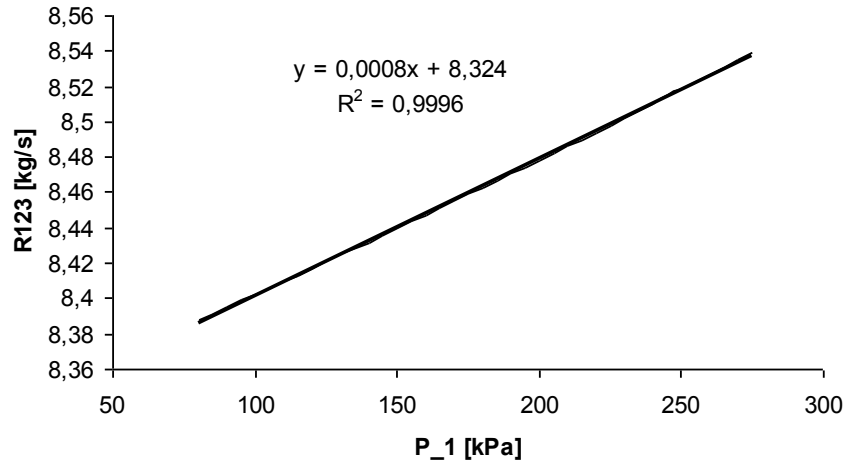
**Şekil 4.22.** R123 için P<sub>1</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>1</sub> basıncı arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.23. R123 için P<sub>1</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

P<sub>1</sub> basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.24. R123 için P<sub>1</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

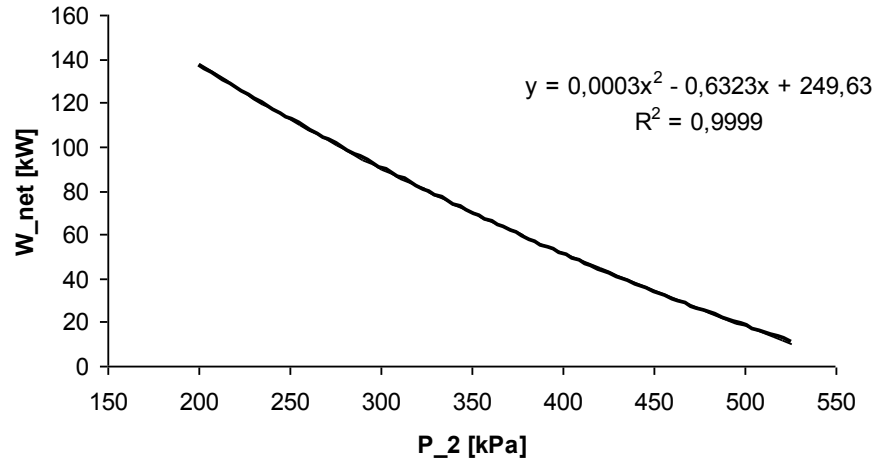
P<sub>1</sub> basıncının artışına bağlı olarak sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi de artmaktadır.

Organik iş akışkanı R123, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 8,539 kg/s, P<sub>1</sub> = 275 kPa ve P<sub>2</sub>= 75 kPa olmak üzere elde edilen net iş 150,3 kW'tır.

#### 4.1.5. Organik iş akışkanı: R600

$T_1 = 72,6^\circ\text{C}$  olmak üzere R600 iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç değeri 859,67 kPa değerinin üzerine çıktığında verilen  $T_1 = 72,6^\circ\text{C}$  sıcaklık koşulunda R600 ıslak buhar bölgesine geçmektedir. Bu sebepten dolayı R600 için  $P_1$  basıncının üst limiti  $T_1 = 72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında 560 kPa olarak seçilmiştir.

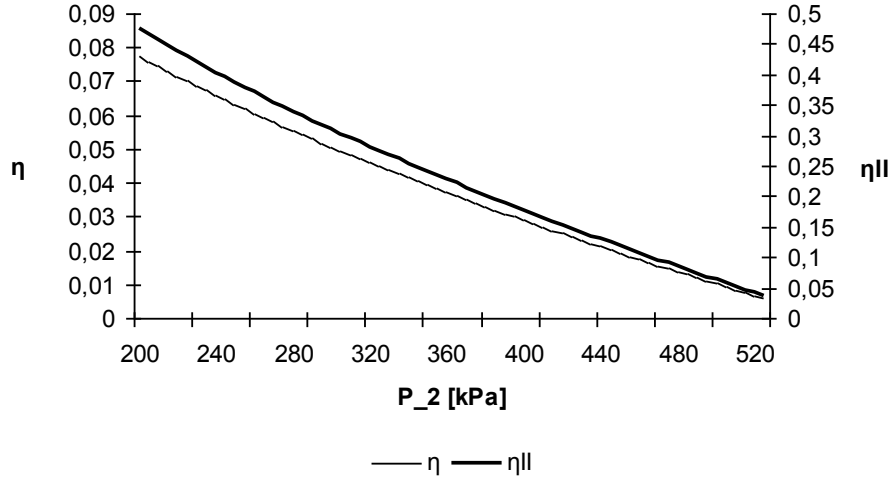
$P_1 = 560$  kPa ve  $T_1 = 72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}} = 10\text{kg/s}$  olmak üzere seçilebilecek  $P_2$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sonucunda  $P_2$  basınç değerinin 200 kPa ile 525 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



Şekil 4.25. R600 için  $P_2$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

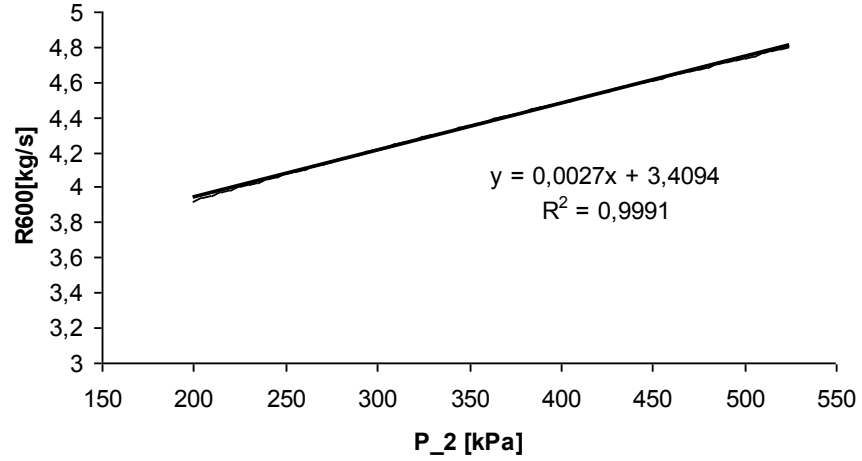
$P_2$  basıncı 200 kPa değerinin üzerine çıktıkça elde edilen net işin azaldığı görülmüştür.





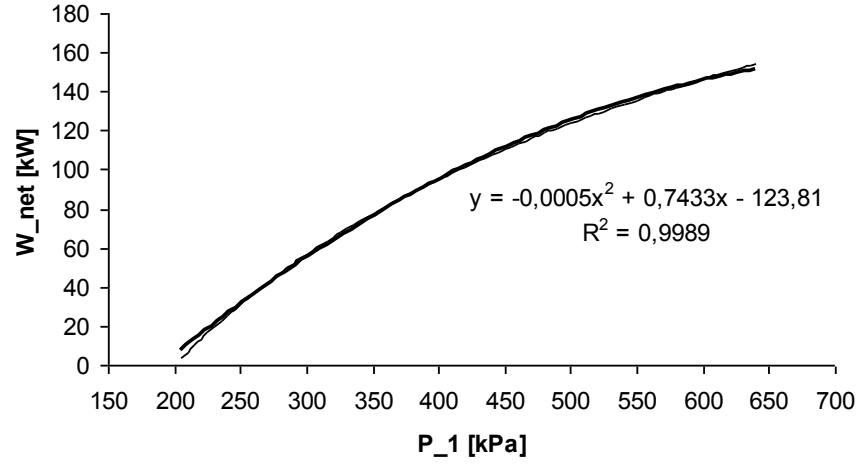
Şekil 4.26. R600 için P<sub>2</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça I.ve II. Kanun verimlerinin azaldığı görülmüştür.



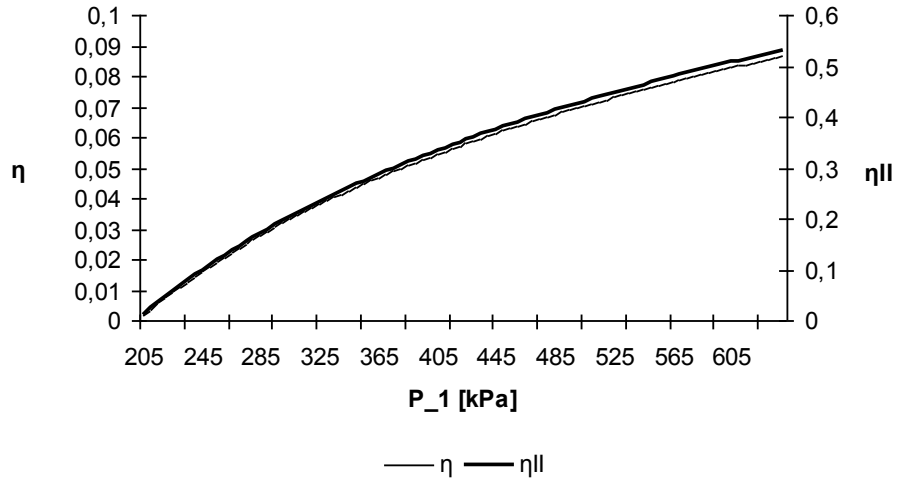
Şekil 4.27. R600 için P<sub>2</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça sistemdeki organik akışkan debisi artmaktadır. P<sub>2</sub> değeri 200 kPa olarak seçilerek seçilebilecek P<sub>1</sub> basınç değerleri araştırılmıştır. P<sub>1</sub> basıncının 205 kPa ile 640 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



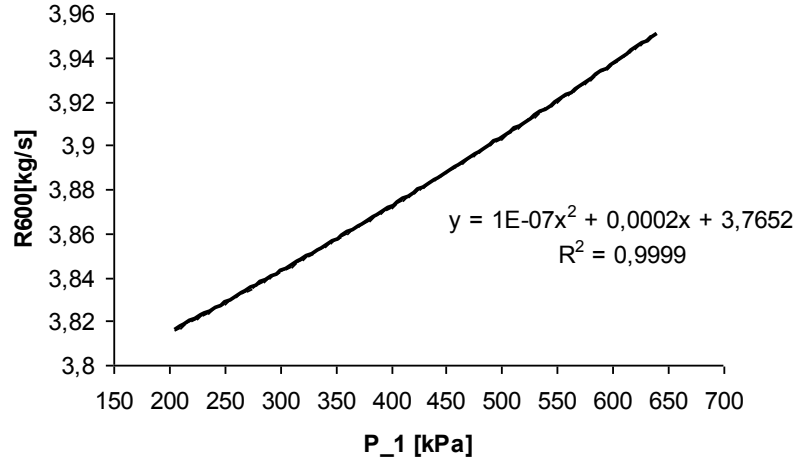
Şekil 4.28. R600 için  $P_1$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.29. R600 için  $P_1$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.



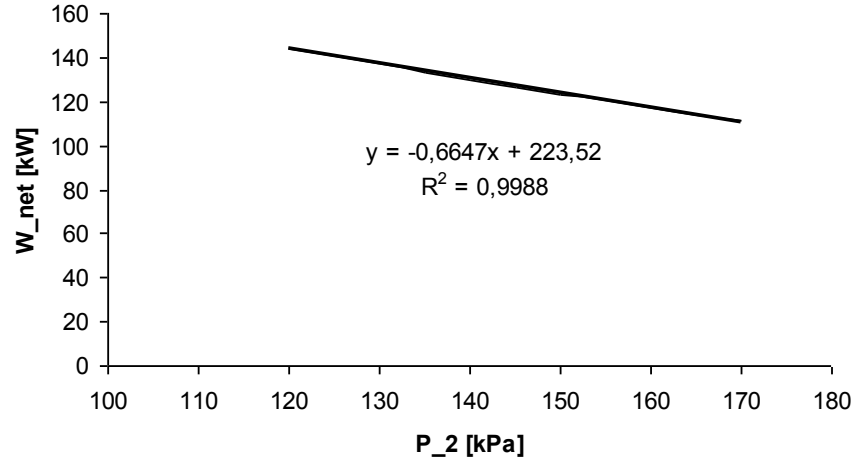
**Şekil 4.30.** R600 için  $P_1$  basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

Organik iş akışkanı R600,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10 \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}= 3,951 \text{ kg/s}$ ,  $P_1 = 640 \text{ kPa}$  ve  $P_2= 200 \text{ kPa}$  olmak üzere elde edilen net iş  $154,1 \text{ kW}$ 'tır.

#### 4.1.6.Organik iş akışkanı: R245fa

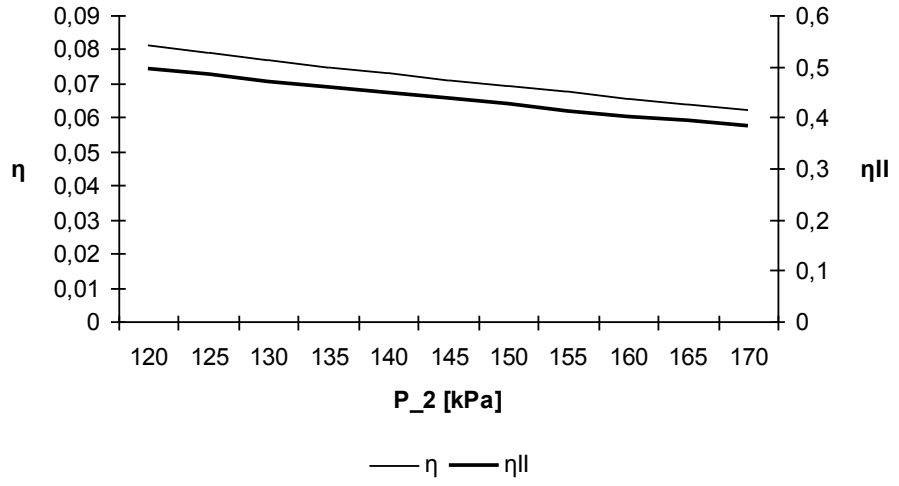
$T_1=72,6^\circ\text{C}$  olmak üzere R245fa iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç değeri  $653,44 \text{ kPa}$  değerinin üzerine çıktığında verilen  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklık koşulunda R245fa ıslak buhar bölgesine geçmektedir. Bu sebepten dolayı R245fa için  $P_1$  basıncının üst limiti  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında  $430 \text{ kPa}$  olarak seçilmiştir.

$P_1= 430 \text{ kPa}$  ve  $T_1= 72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}= 10\text{kg/s}$  olmak üzere seçilebilecek  $P_2$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sonucunda  $P_2$  basınç değerinin  $120 \text{ kPa}$  ile  $170 \text{ kPa}$  değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



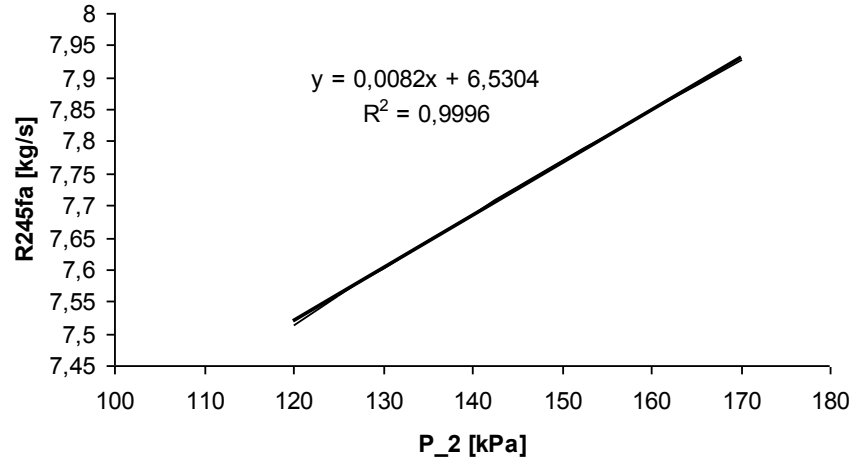
Şekil 4.31. R245fa için P<sub>2</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>2</sub> basıncı 120 kPa değerinin üzerine çıktıkça elde edilen net işin azaldığı görülmüştür.



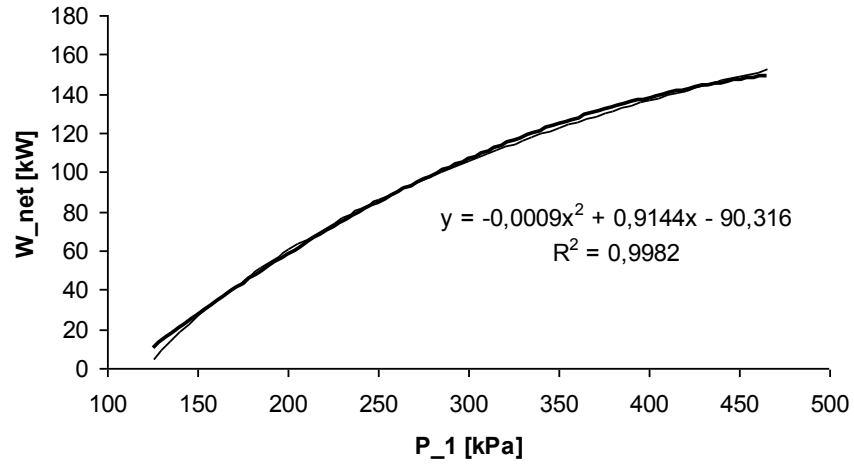
Şekil 4.32. R245fa için P<sub>2</sub> basıncı ile η ve ηII değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça I.ve II. Kanun verimlerinin azaldığı görülmüştür.



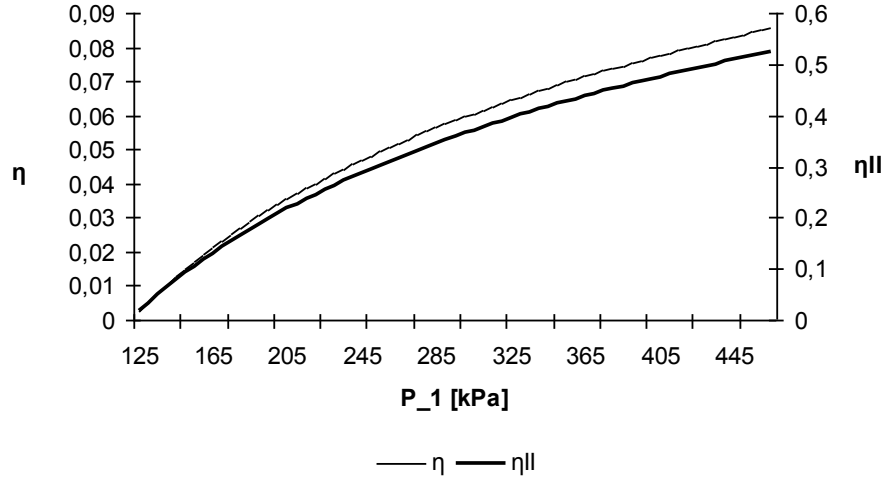
**Şekil 4.33.** R245fa için P<sub>2</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça sistemdeki organik akışkan debisi artmaktadır. P<sub>2</sub> değeri 120 kPa olarak seçilerek seçilebilecek P<sub>1</sub> basınç değerleri araştırılmıştır. P<sub>1</sub> basıncının 125 kPa ile 465 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



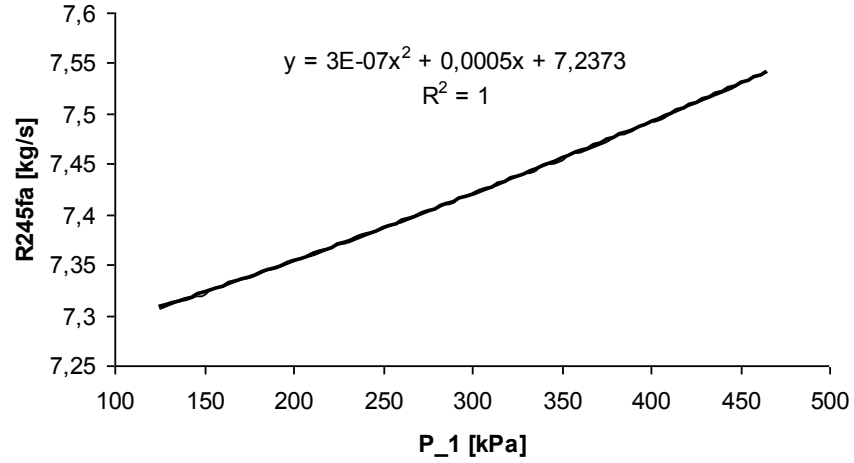
**Şekil 4.34.** R245fa için P<sub>1</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>1</sub> basıncı arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.35. R245fa için P<sub>1</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

P<sub>1</sub> basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.36. R245fa için P<sub>1</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

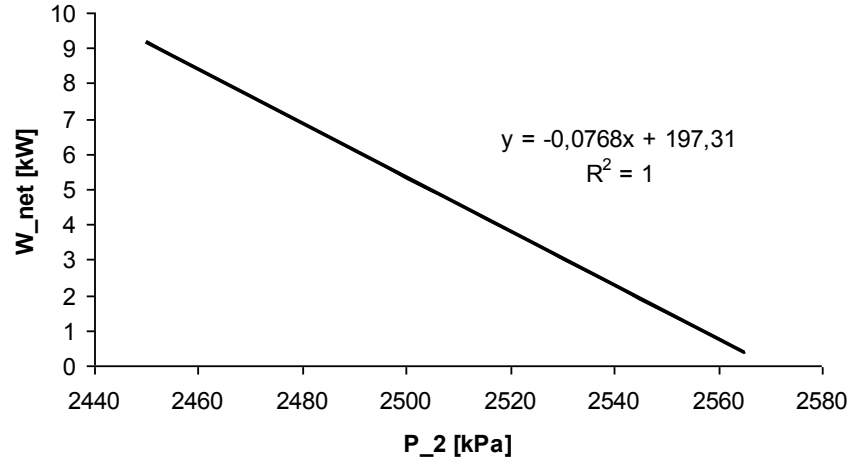
P<sub>1</sub> basıncının artışına bağlı olarak sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi de artmaktadır.

Organik iş akışkanı R245fa, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 7,542 kg/s, P<sub>1</sub> = 465 kPa ve P<sub>2</sub>= 120 kPa olmak üzere elde edilen net iş 152,4 kW'tır.

#### 4.1.7. Organik iş akışkanı: R13

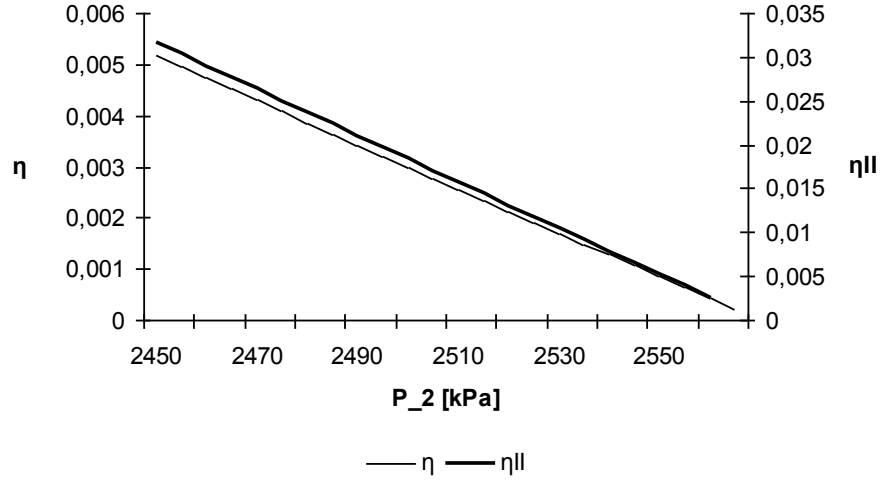
$T_1 = 72,6^\circ\text{C}$  olmak üzere R13 iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç değeri 3869 kPa değerinin üzerine çıktığında verilen  $T_1 = 72,6^\circ\text{C}$  sıcaklık koşulunda R13 kritik basınç değerine ulaşmaktadır. Bu sebepten dolayı R13 için  $P_1$  basıncının üst limiti  $T_1 = 72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında 2570 kPa olarak seçilmiştir.

$P_1 = 2570$  kPa ve  $T_1 = 72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}} = 10$  kg/s olmak üzere seçilebilecek  $P_2$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sonucunda  $P_2$  basınç değerinin 2450 kPa ile 2565 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



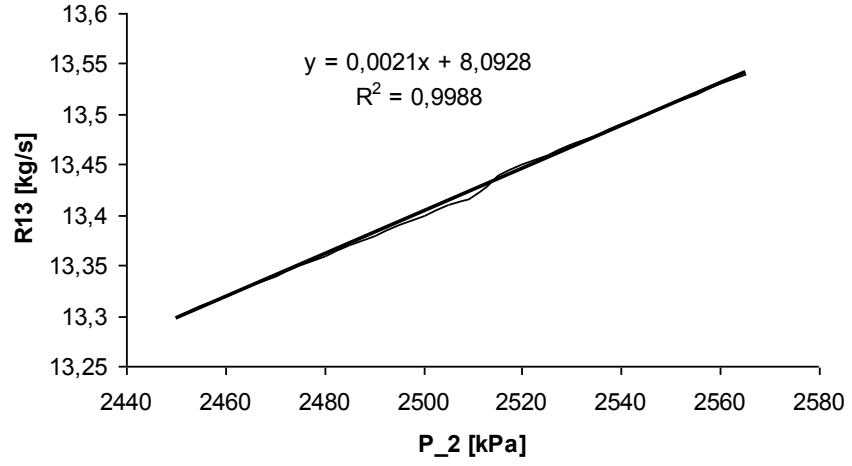
Şekil 4.37. R13 için  $P_2$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_2$  basıncı 2450 kPa değerinin üzerine çıktıkça elde edilen net işin azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.38. R13 için P<sub>2</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

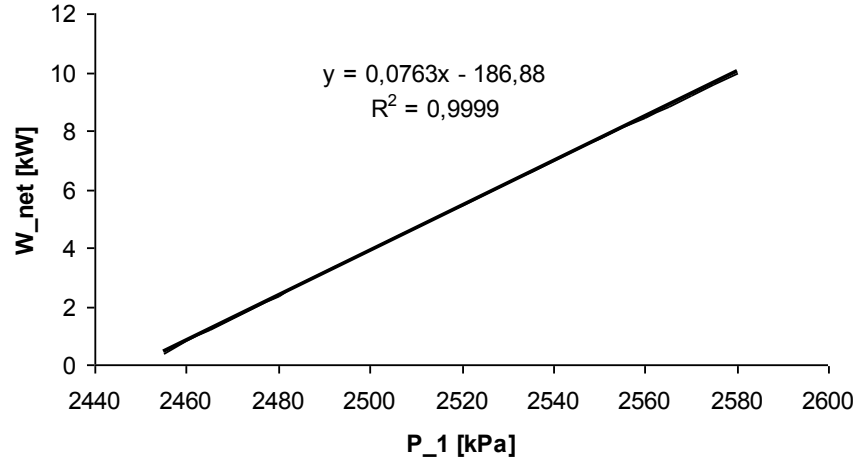
P<sub>2</sub> basıncı arttıkça I.ve II. Kanun verimlerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.39. R13 için P<sub>2</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

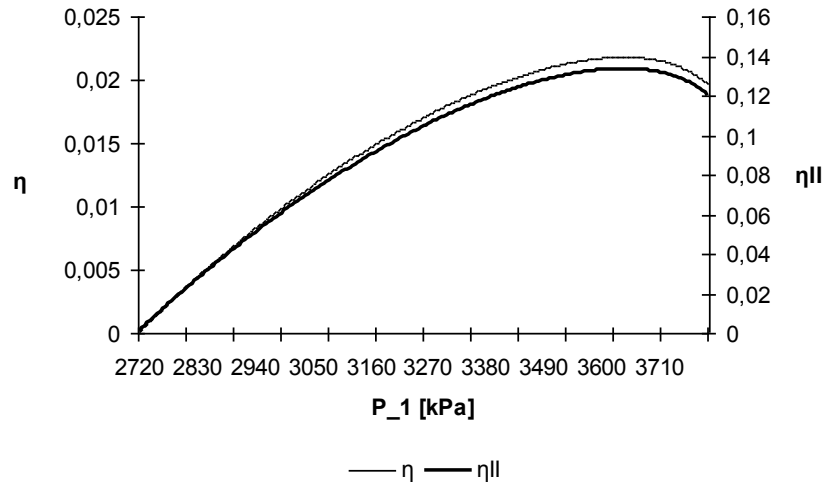
P<sub>2</sub> basıncı arttıkça sistemdeki organik akışkan debisi artmaktadır. P<sub>2</sub> değeri 2450 kPa olarak seçilerek seçilebilecek P<sub>1</sub> basınç değerleri araştırılmıştır. P<sub>1</sub> basıncının 295 kPa ile 880 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.





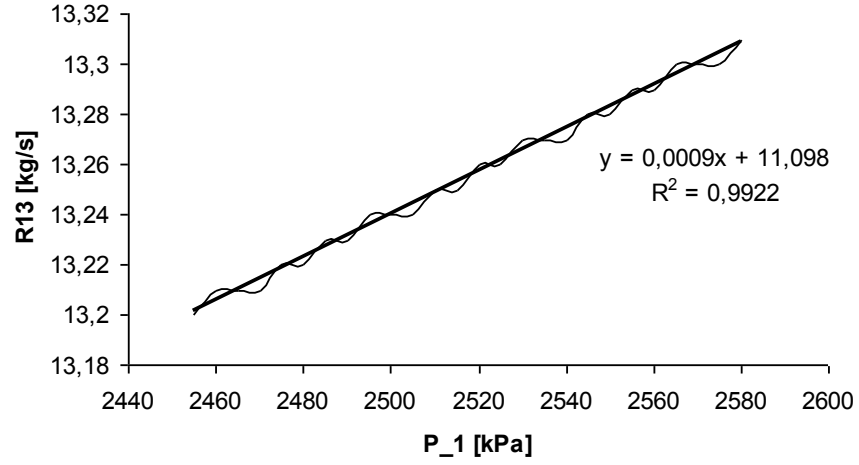
Şekil 4.40. R13 için  $P_1$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.41. R13 için  $P_1$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.



**Şekil 4.42** R13 için P<sub>1</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

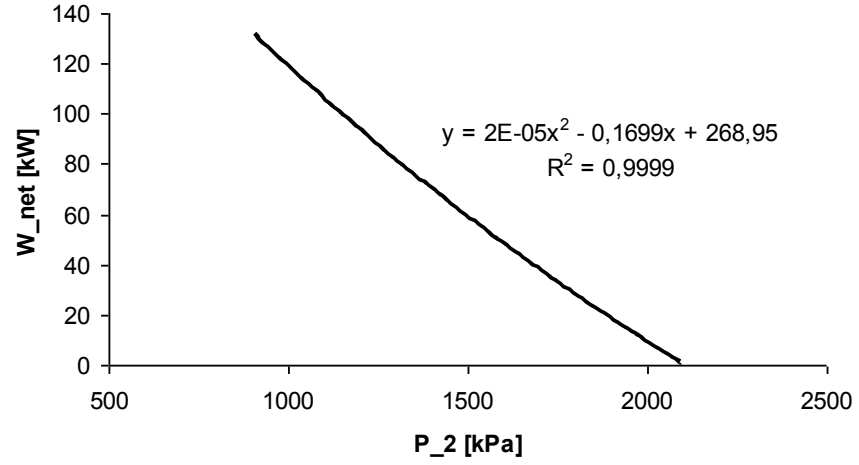
P<sub>1</sub> basıncının artışına bağlı olarak sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi de artmaktadır.

Organik iş akışkanı R13, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 13,31 kg/s, P<sub>1</sub> = 2580 kPa ve P<sub>2</sub>= 2450 kPa olmak üzere elde edilen net iş 9,94 kW'tır.

#### 4.1.8.Organik iş akışkanı: R22

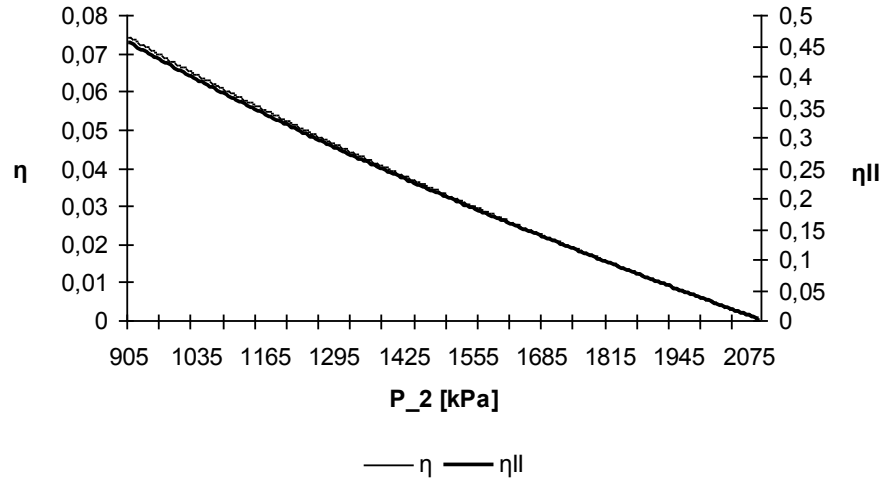
T<sub>1</sub>=72,6°C olmak üzere R22 iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç değeri 3161 kPa değerinin üzerine çıktığında verilen T<sub>1</sub>=72,6°C sıcaklık koşulunda R22 ıslak buhar bölgesine geçmektedir. Bu sebepten dolayı R22 için P<sub>1</sub> basıncının üst limiti T<sub>1</sub>=72,6°C sıcaklığında 2100 kPa olarak seçilmiştir.

P<sub>1</sub>=2100 kPa ve T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere seçilebilecek P<sub>2</sub> değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sonucunda P<sub>2</sub> basınç değerinin 905 kPa ile 2095 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



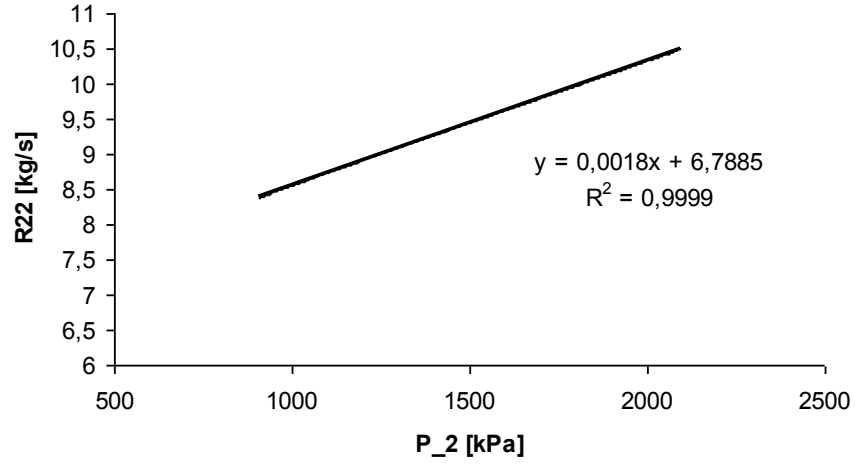
Şekil 4.43. R22 için  $P_2$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_2$  basıncı 905 kPa değerinin üzerine çıktıkça elde edilen net işin azaldığı görülmüştür.



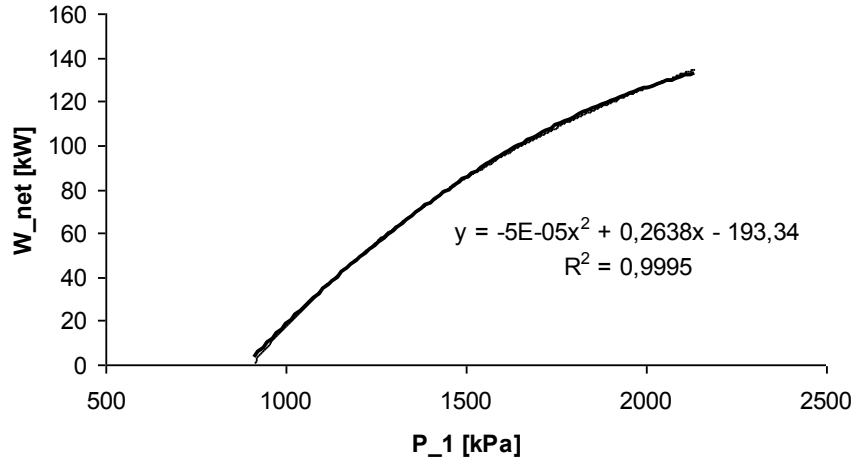
Şekil 4.44. R22 için  $P_2$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_2$  basıncı arttıkça I.ve II. Kanun verimlerinin azaldığı görülmüştür.



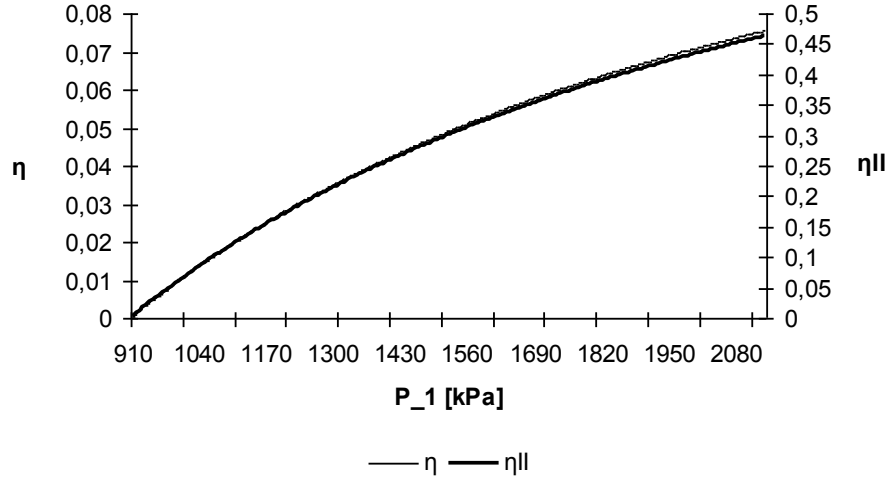
**Şekil 4.45.** R22 için P<sub>2</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça sistemdeki organik akışkan debisi artmaktadır. P<sub>2</sub> değeri 905 kPa olarak seçilerek seçilebilecek P<sub>1</sub> basınç değerleri araştırılmıştır. P<sub>1</sub> basıncının 910 kPa ile 2135 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



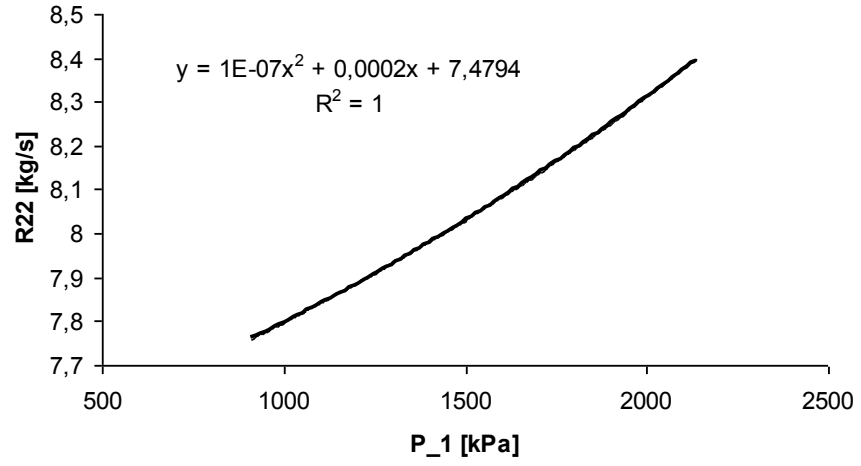
**Şekil 4.46.** R22 için P<sub>1</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>1</sub> basıncı arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.47. R22 için P<sub>1</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

P<sub>1</sub> basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.48. R22 için P<sub>1</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

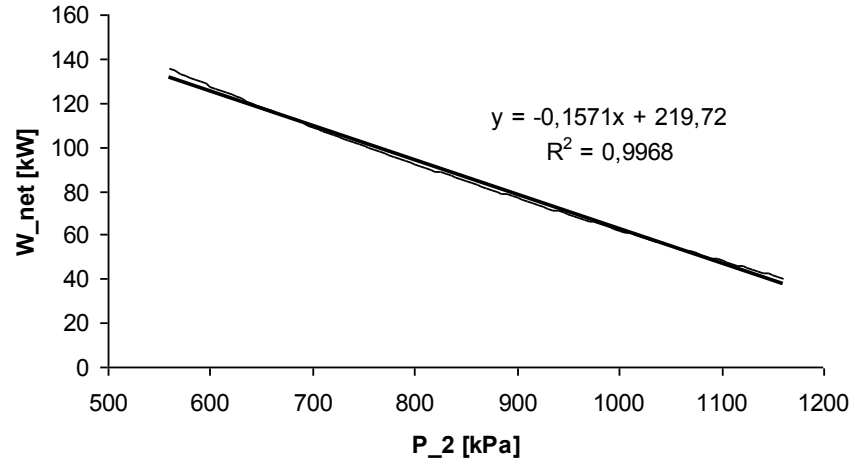
P<sub>1</sub> basıncının artışına bağlı olarak sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi de artmaktadır.

Organik iş akışkanı R22, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 8,399 kg/s, P<sub>1</sub> = 2135 kPa ve P<sub>2</sub>= 905 kPa olmak üzere elde edilen net iş 134,6 kW'tır.

#### 4.1.9. Organik iş akışkanı: R134a

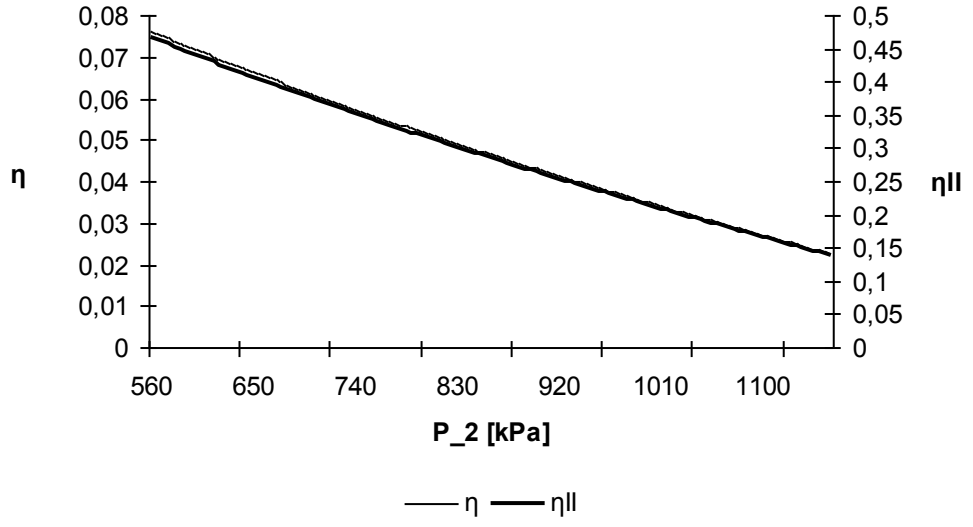
$T_1=72,6^\circ\text{C}$  olmak üzere R134a iş akışkanının basınç değerine bağlı olarak bulunduğu bölge tespit edilmeye çalışılmıştır. Basınç değeri 2244,35 kPa değerinin üzerine çıktığında verilen  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklık koşulunda R134a ıslak buhar bölgesine geçmektedir. Bu sebepten dolayı R134a için  $P_1$  basıncının üst limiti  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında 1490 kPa olarak seçilmiştir.

$P_1=765$  kPa ve  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere seçilebilecek  $P_2$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sonucunda  $P_2$  basınç değerinin 560 kPa ile 1160 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



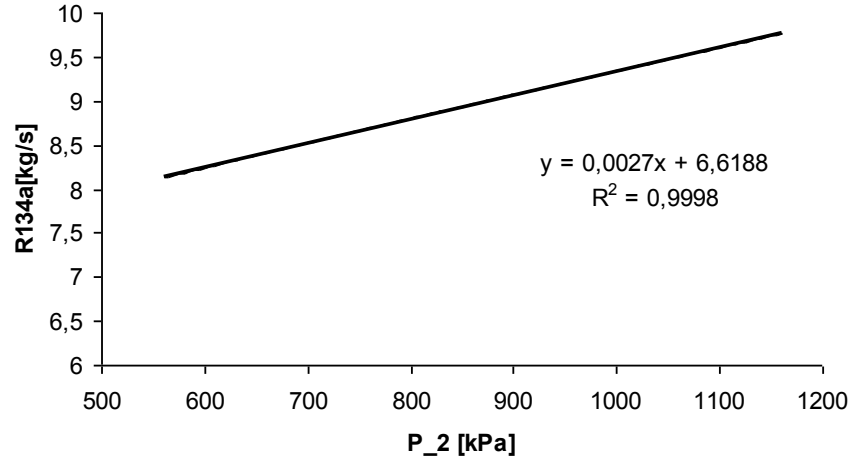
Şekil 4.49. R134a için  $P_2$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_2$  basıncı 560 kPa değerinin üzerine çıktıkça elde edilen net işin azaldığı görülmüştür.



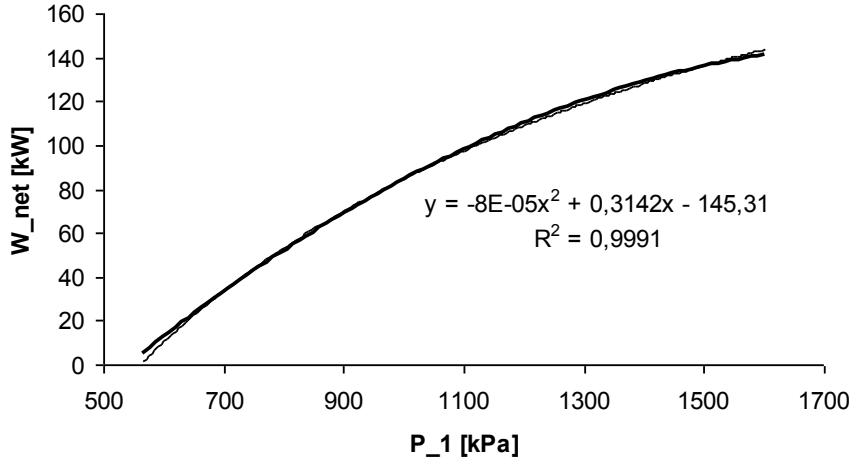
Şekil 4.50. R134a için P<sub>2</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça I.ve II. Kanun verimlerinin azaldığı görülmüştür.



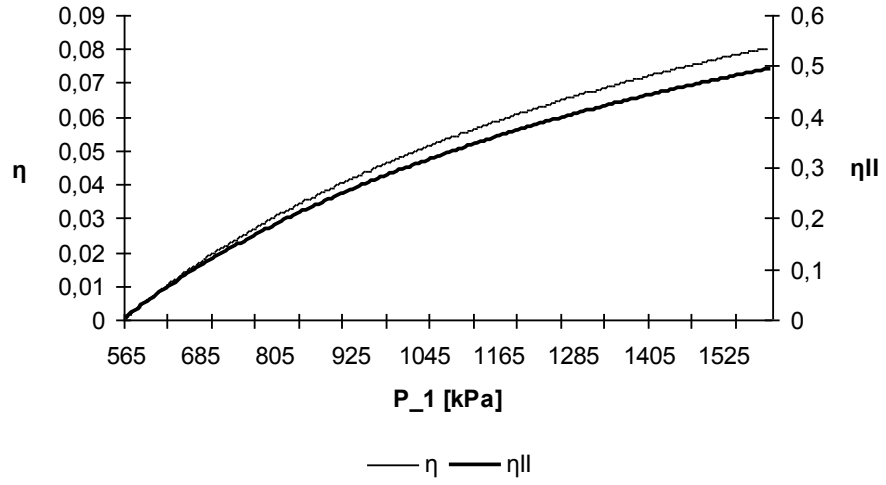
Şekil 4.51. R134a için P<sub>2</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>2</sub> basıncı arttıkça sistemdeki organik akışkan debisi artmaktadır. P<sub>2</sub> değeri 560 kPa olarak seçilerek seçilebilecek P<sub>1</sub> basınç değerleri araştırılmıştır. P<sub>1</sub> basıncının 565 kPa ile 1600 kPa değerleri arasında seçilebileceği görülmüştür.



Şekil 4.52. R134a için  $P_1$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

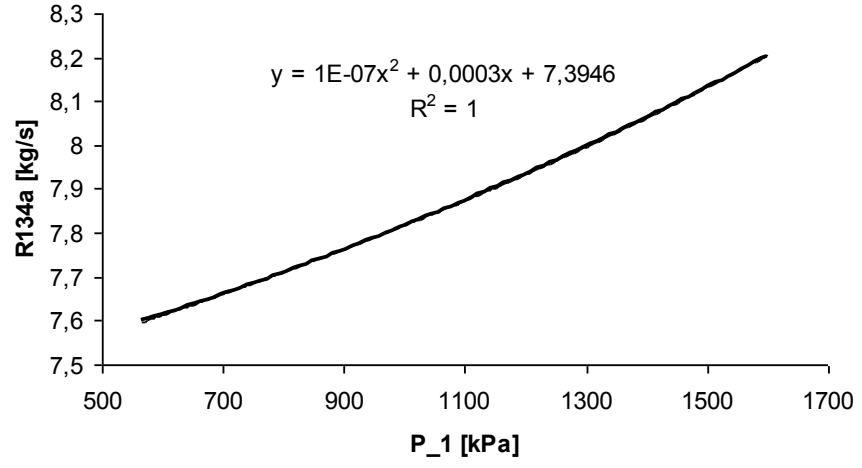
$P_1$  basıncı arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.53. R134a için  $P_1$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_1$  basıncı arttıkça I. ve II. kanun verimlerinin arttığı görülmektedir.





**Şekil 4.54.** R134a için P<sub>1</sub> basıncı ile organik akışkan debisi değişimi

P<sub>1</sub> basıncının artışına bağlı olarak sistem tarafından desteklenen organik akışkan debisi de artmaktadır.

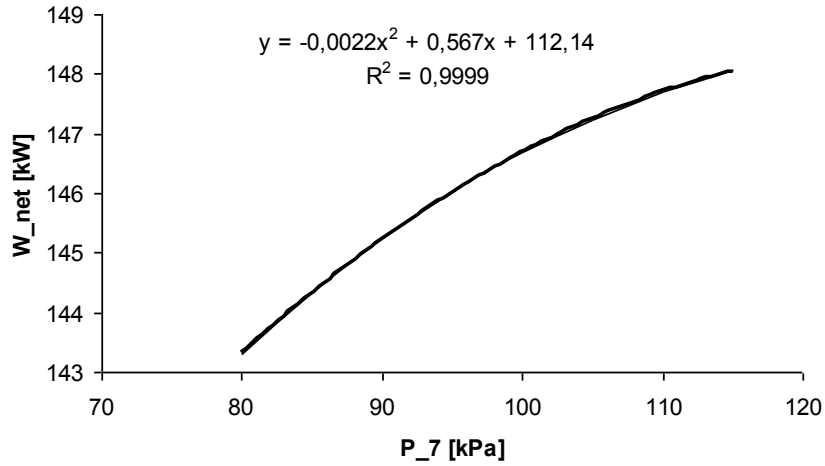
Organik iş akışkanı R134a, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 8,207 kg/s, P<sub>1</sub> = 1600 kPa ve P<sub>2</sub>= 560 kPa olmak üzere elde edilen net iş 143,7 kW'tır.

## 4.2. Rejeneratif (Geliştirilmiş) Organik Rankine Çevrimi

Rejeneratif (geliştirilmiş) rankine çevrimi için modellenen programda organik çalışma akışkanları olarak izopentan, izobütan, propan, R123, R600, R2245fa, R13, R22 ve R134a akışkanları incelenmiştir.

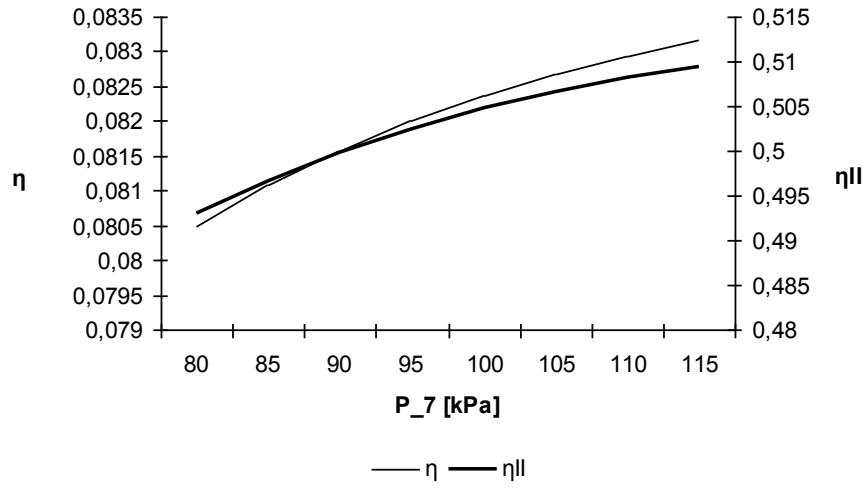
### 4.2.1. Organik iş akışkanı: İzopentan

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere  $P_2$  basınç değeri 75 kPa ve  $P_1$  basınç değeri 250 kPa kabul edilerek seçilebilecek  $P_7$  değerleri araştırılmıştır.  $P_7$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu 80 kPa ile 115 kPa arasında seçilebileceği görülmüştür.



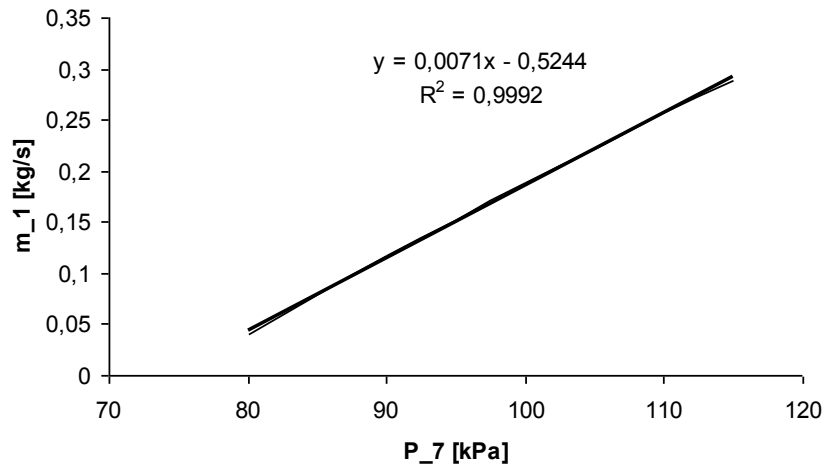
Şekil 4.55. İzopentan için  $P_7$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_7$  değeri arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.56. İzopentan için P<sub>7</sub> basıncı ile η ve η<sub>II</sub> değişimi

P<sub>7</sub> basıncı arttıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de artmaktadır.



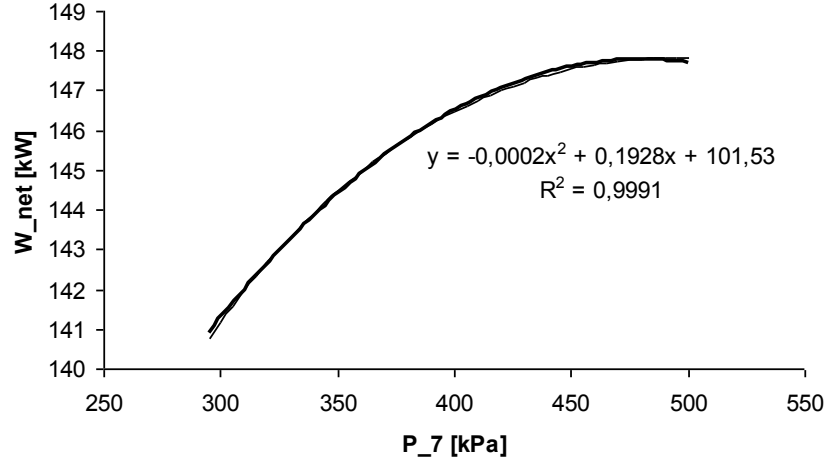
Şekil 4.57. İzopentan için P<sub>7</sub> basıncı ile m<sub>1</sub> debisi değişimi

P<sub>7</sub> basıncı arttıkça 7 hattından geçen m<sub>1</sub> debisi artmaktadır.

Organik iş akışkanı izopentan, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 4,287 kg/s, P<sub>1</sub> = 250 kPa, P<sub>2</sub>= 75 kPa ve P<sub>7</sub>=115 kPa olmak üzere elde edilen net iş 148,07 kW'tır.

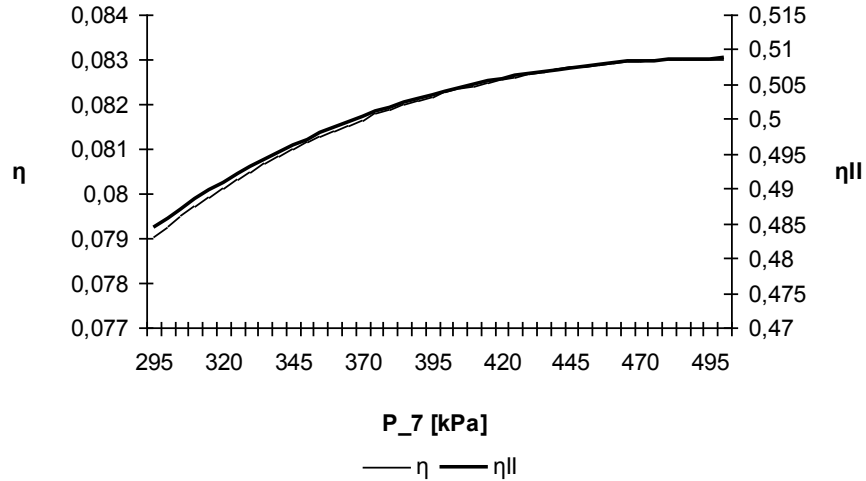
#### 4.2.2. Organik iş akışkanı: İzobütan

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere  $P_2$  basınç değeri 290 kPa ve  $P_1$  basınç değeri 790 kPa kabul edilerek seçilebilecek  $P_7$  değerleri araştırılmıştır.  $P_7$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu 295 kPa ile 500 kPa arasında seçilebileceği görülmüştür.



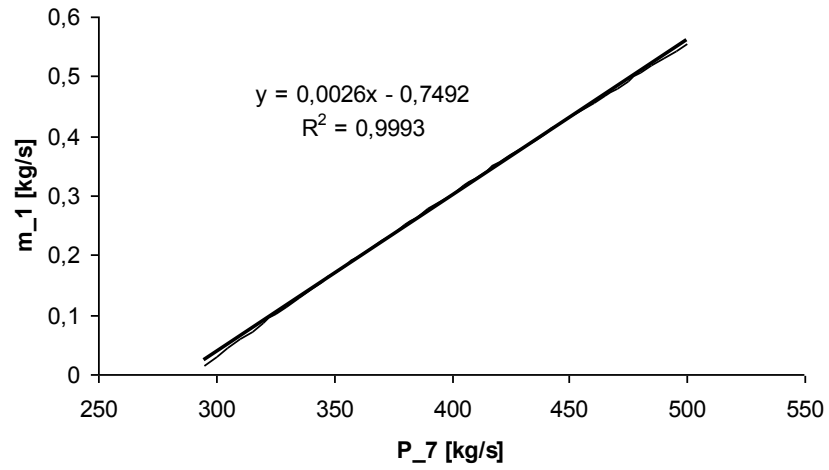
Şekil 4.58. İzobütan için  $P_7$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_7$  değeri arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.59. İzobütan için  $P_7$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de artmaktadır.



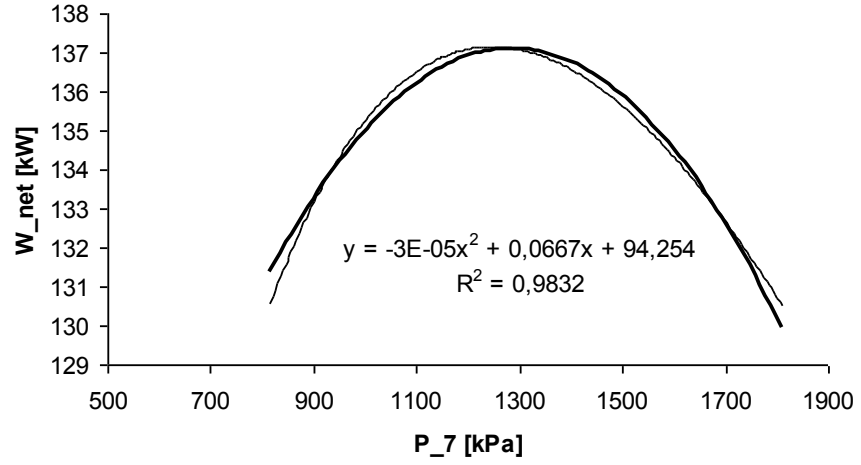
**Şekil 4.60.** İzobütan için  $P_7$  basıncı ile  $m_1$  debisi değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça 7 hattından geçen  $m_1$  debisi artmaktadır.

Organik iş akışkanı izobütan,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10 \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}= 4,786 \text{ kg/s}$ ,  $P_1 = 790 \text{ kPa}$ ,  $P_2= 290 \text{ kPa}$  ve  $P_7 =500 \text{ kPa}$  olmak üzere elde edilen net iş  $147,83 \text{ kW}$ 'tır.

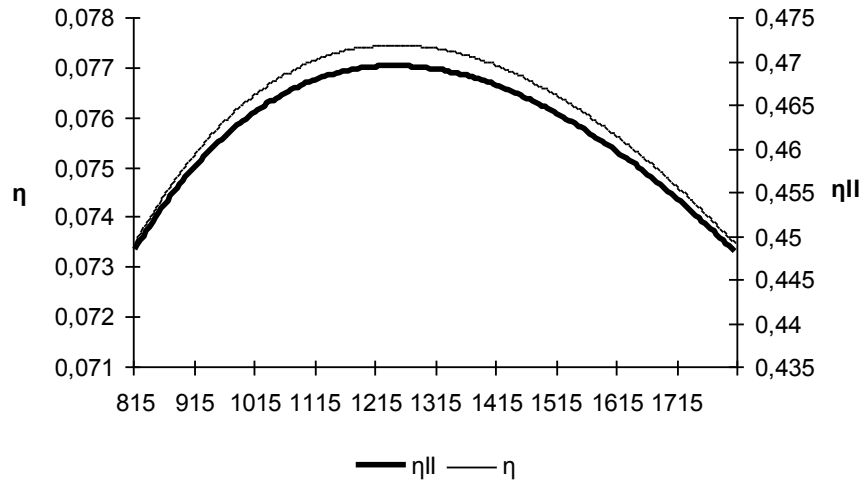
#### 4.2.3. Organik iş akışkanı: Propan

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere  $P_2$  basınç değeri  $810 \text{ kPa}$  ve  $P_1$  basınç değeri  $1815\text{kPa}$  kabul edilerek seçilebilecek  $P_7$  değerleri araştırılmıştır.  $P_7$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu  $815 \text{ kPa}$  ile  $1810 \text{ kPa}$  arasında seçilebileceği görülmüştür.



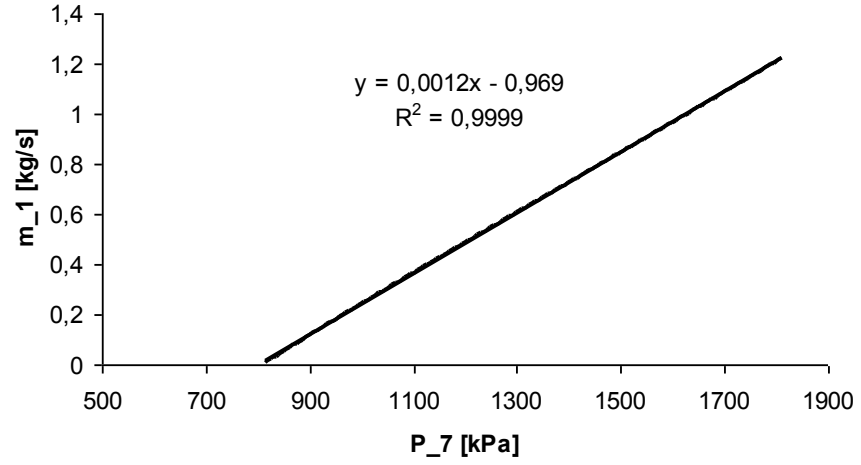
**Şekil 4.61.** Propan için  $P_7$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_7$  değeri 1245 kPa değerinde en yüksek net iş değerine ulaşmaktadır. Bu basınç değerinden sonra elde edilen net iş miktarı azalmaya başlamaktadır.



**Şekil 4.62.** Propan için  $P_7$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_7$  basıncı artıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de 1245 kPa değerine kadar artmakta bu değerden sonra azalmaktadır.



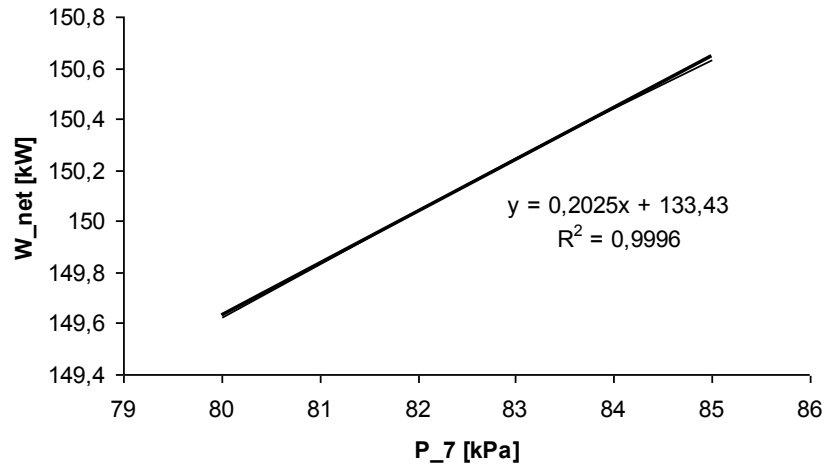
**Şekil 4.63.** Propan için  $P_7$  basıncı ile  $m_1$  debisi değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça 7 hattından geçen  $m_1$  debisi artmaktadır.

Organik iş akışkanı propan,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10 \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}= 4,752 \text{ kg/s}$ ,  $P_1 = 1815 \text{ kPa}$ ,  $P_2= 810 \text{ kPa}$  ve  $P_7 =1245 \text{ kPa}$  olmak üzere elde edilen net iş  $137,15 \text{ kW}$ 'tır.

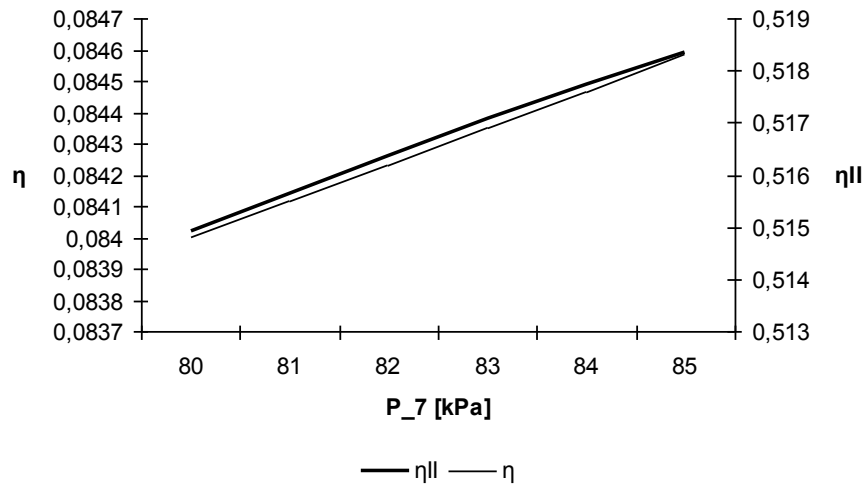
#### 4.2.4. Organik iş akışkanı: R123

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere  $P_2$  basınç değeri  $75 \text{ kPa}$  ve  $P_1$  basınç değeri  $270 \text{ kPa}$  kabul edilerek seçilebilecek  $P_7$  değerleri araştırılmıştır.  $P_7$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu  $80 \text{ kPa}$  ile  $85 \text{ kPa}$  arasında seçilebileceği görülmüştür.



Şekil 4.64. R123 için  $P_7$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

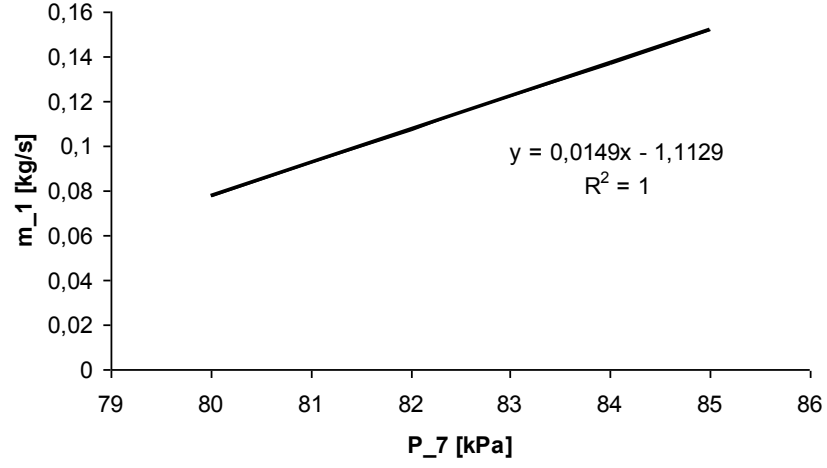
$P_7$  değeri arttıkça elde edilen net iş artmaktadır.



Şekil 4.65. R123 için  $P_7$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de artmaktadır.





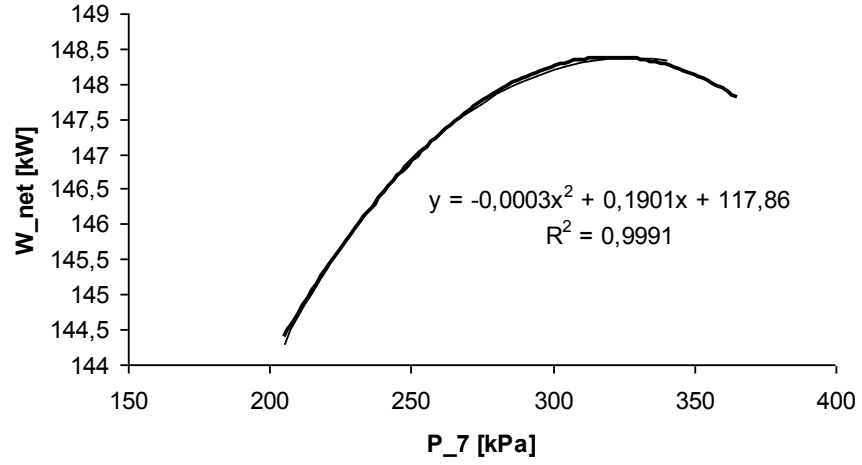
**Şekil 4.66.** R123 için P<sub>7</sub> basıncı ile m<sub>1</sub> debisi değişimi

P<sub>7</sub> basıncı arttıkça 7 hattından geçen m<sub>1</sub> debisi artmaktadır.

Organik iş akışkanı R123, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 8,675 kg/s, P<sub>1</sub> = 270 kPa, P<sub>2</sub>= 75 kPa ve P<sub>7</sub>=115 kPa olmak üzere elde edilen net iş 150,63 kW'tır.

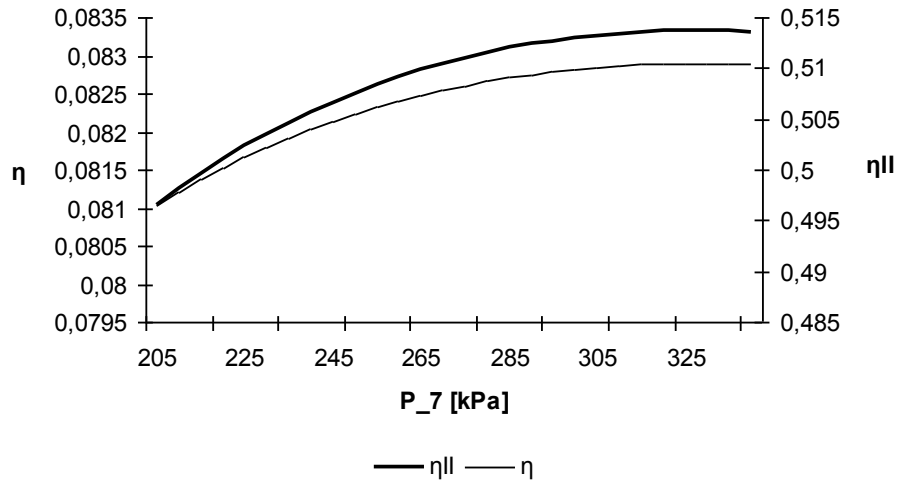
#### 4.2.5. Organik iş akışkanı: R600

T<sub>1</sub>=72,6°C ve m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere P<sub>2</sub> basınç değeri 200kPa ve P<sub>1</sub> basınç değeri 575kPa kabul edilerek seçilebilecek P<sub>7</sub> değerleri araştırılmıştır. P<sub>7</sub> değeri yapılan hesaplamalar sonucu 205 kPa ile 365 kPa arasında seçilebileceği görülmüştür.



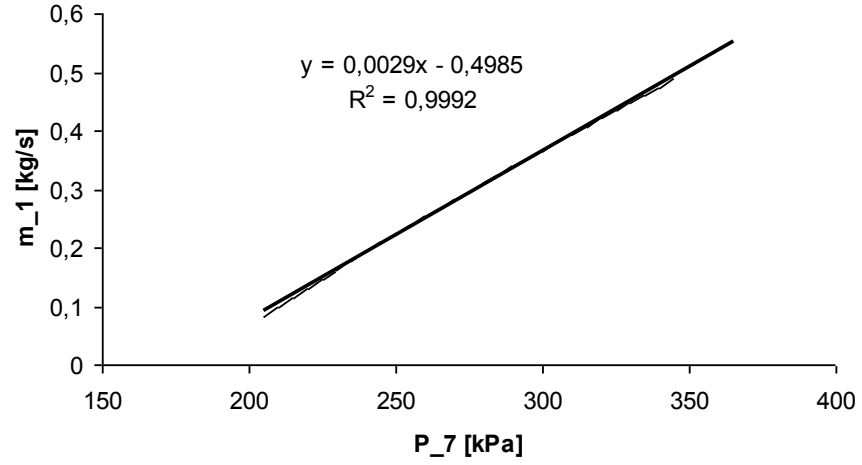
Şekil 4.67. R600 için P<sub>7</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>7</sub> değeri 355 kPa değerinde en yüksek net iş değerine ulaşmaktadır. Bu basınç değerinden sonra elde edilen net iş miktarı azalmaya başlamaktadır.



Şekil 4.68. R600 için P<sub>7</sub> basıncı ile η ve ηII değişimi

P<sub>7</sub> basıncı arttıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de 355 kPa değerine kadar artmakta bu değerden sonra azalmaktadır.



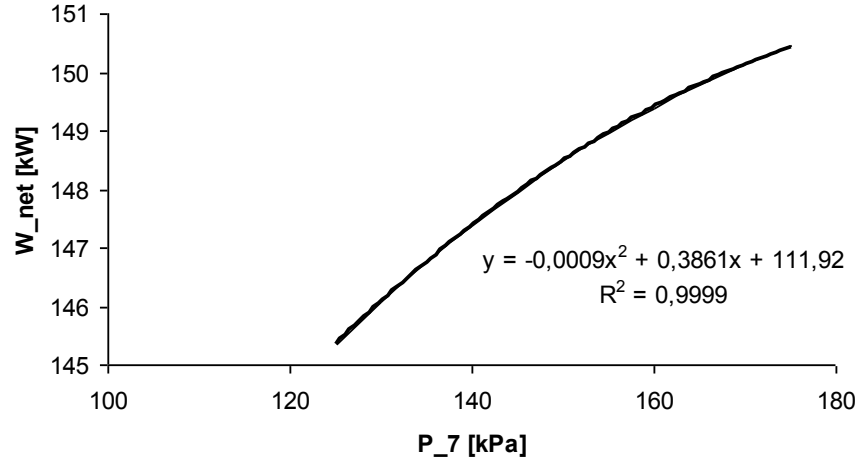
**Şekil 4.69.** R600 için P<sub>7</sub> basıncı ile m<sub>1</sub> debisi değişimi

P<sub>7</sub> basıncı arttıkça 7 hattından geçen m<sub>1</sub> debisi artmaktadır.

Organik iş akışkanı R600, T<sub>1</sub>=72,6°C, m<sub>atıkakışkan</sub>=10 kg/s,  $\dot{m}$ = 4,372 kg/s, P<sub>1</sub> = 575 kPa, P<sub>2</sub>= 200 kPa ve P<sub>7</sub> = 355 kPa olmak üzere elde edilen net iş 148,32 kW'tır.

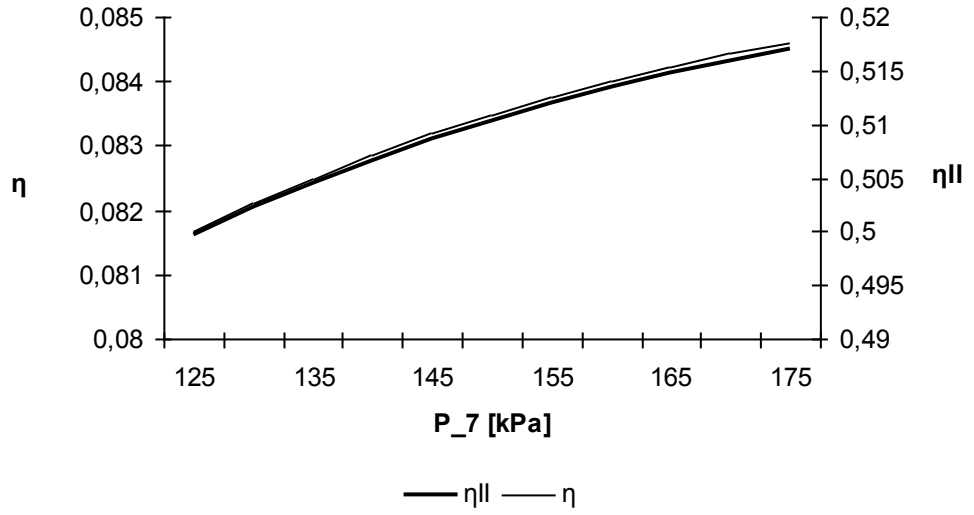
#### 4.2.6. Organik iş akışkanı: R245fa

T<sub>1</sub>=72,6°C ve m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere P<sub>2</sub> basınç değeri 120kPa ve P<sub>1</sub> basınç değeri 430kPa kabul edilerek seçilebilecek P<sub>7</sub> değerleri araştırılmıştır. P<sub>7</sub> değeri yapılan hesaplamalar sonucu 125 kPa ile 175 kPa arasında seçilebileceği görülmüştür.



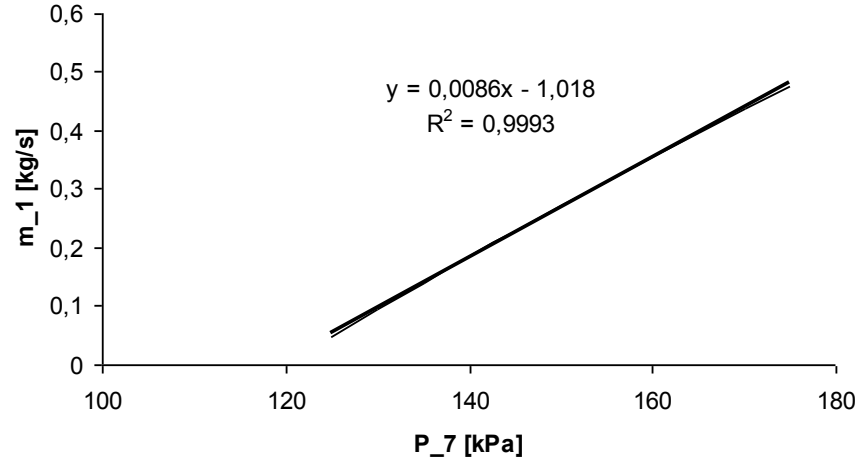
Şekil 4.70. R245fa için P<sub>7</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>7</sub> değeri arttıkça elde edilen net işte artmaktadır.



Şekil 4.71. R245fa için P<sub>7</sub> basıncı ile η ve ηII değişimi

P<sub>7</sub> basıncı arttıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de artmaktadır.



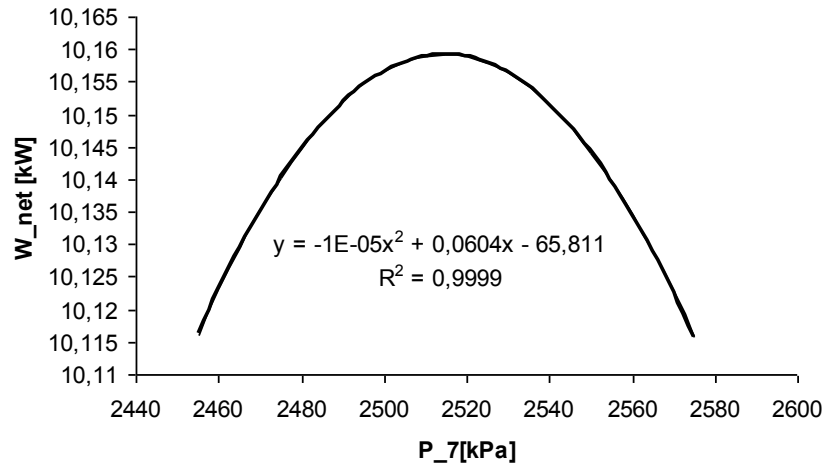
**Şekil 4.72.** R245fa için  $P_7$  basıncı ile  $m_1$  debisi değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça 7 hattından geçen  $m_1$  debisi artmaktadır.

Organik iş akışkanı R245fa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10 \text{ kg/s}$ ,  $\dot{m}=7,964 \text{ kg/s}$ ,  $P_1 = 430 \text{ kPa}$ ,  $P_2= 120 \text{ kPa}$  ve  $P_7 =175 \text{ kPa}$  olmak üzere elde edilen net iş  $150,45 \text{ kW}$ 'tır.

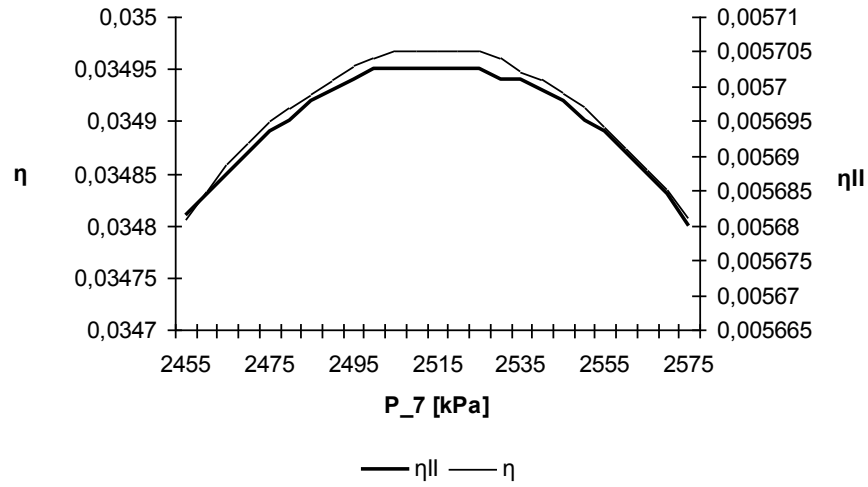
#### 4.2.7. Organik iş akışkanı: R13

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere  $P_2$  basınç değeri  $2450\text{kPa}$  ve  $P_1$  basınç değeri  $2580 \text{ kPa}$  kabul edilerek seçilebilecek  $P_7$  değerleri araştırılmıştır.  $P_7$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu  $2455 \text{ kPa}$  ile  $2575 \text{ kPa}$  arasında seçilebileceği görülmüştür.



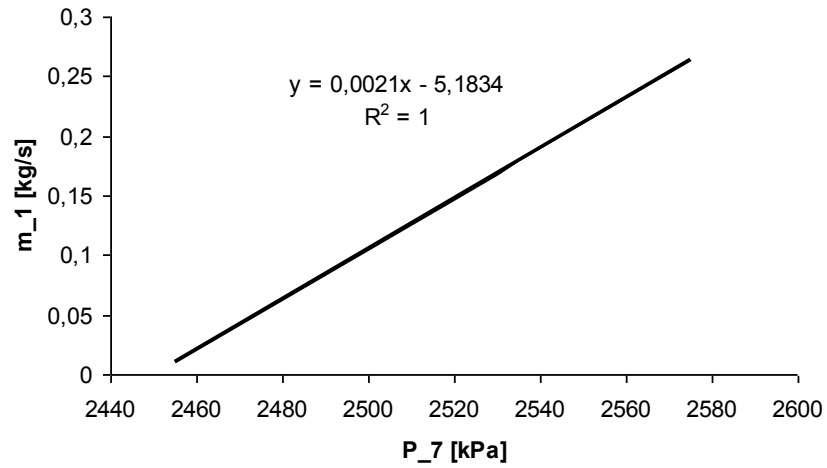
**Şekil 4.73.** R13 için  $P_7$  basıncı ile  $W_{net}$  değişimi

$P_7$  değeri 2515 kPa değerinde en yüksek net iş değerine ulaşmaktadır. Bu basınç değerinden sonra elde edilen net iş miktarı azalmaya başlamaktadır.



**Şekil 4.74.** R13 için  $P_7$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de 2515kPa değerine kadar artmakta bu değerden sonra azalmaktadır.



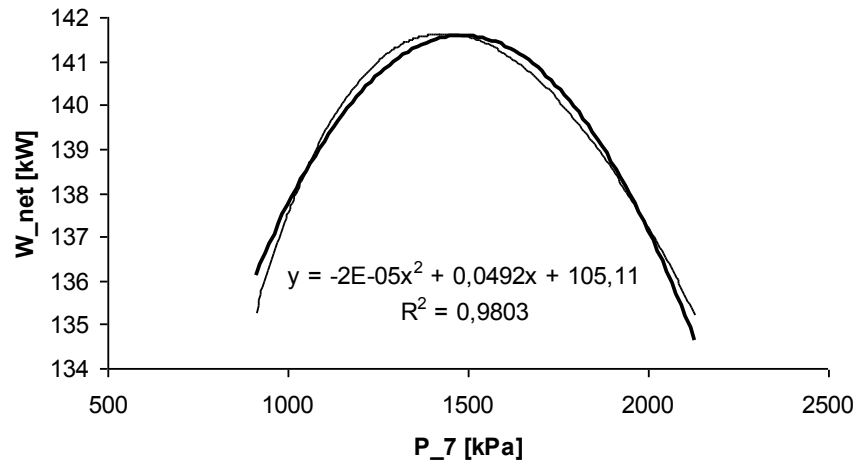
Şekil 4.75. R13 için  $P_7$  basıncı ile  $m_1$  debisi değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça 7 hattından geçen  $m_1$  debisi artmaktadır.

Organik iş akışkanı R13,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s,  $\dot{m}=4,287$  kg/s,  $P_1=2580$  kPa,  $P_2=2450$  kPa ve  $P_7=2515$  kPa olmak üzere elde edilen net iş 10,15 kW'tır.

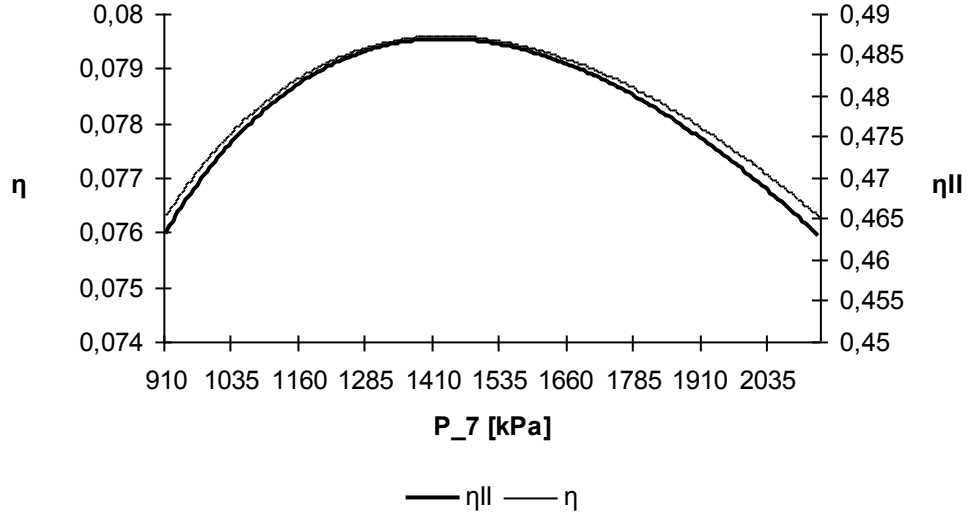
#### 4.2.8. Organik iş akışkanı: R22

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10$ kg/s olmak üzere  $P_2$  basınç değeri 905kPa ve  $P_1$  basınç değeri 2135kPa kabul edilerek seçilebilecek  $P_7$  değerleri araştırılmıştır.  $P_7$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu 910 kPa ile 2130 kPa arasında seçilebileceği görülmüştür.



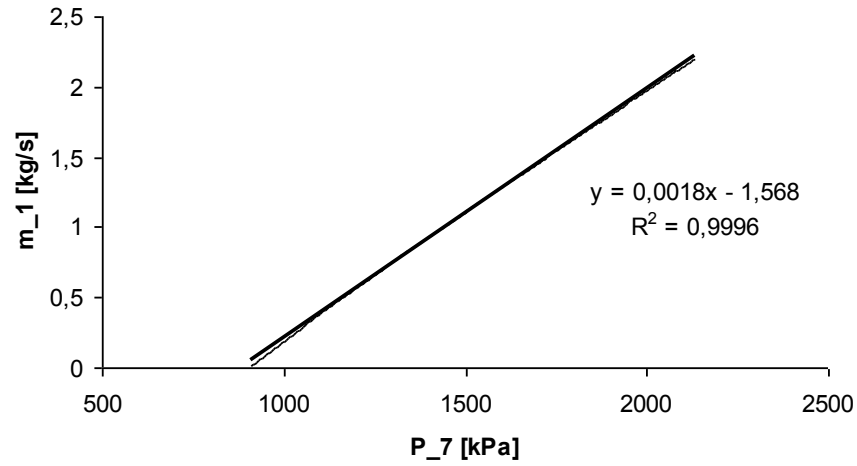
Şekil 4.76. R22 için  $P_7$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_7$  değeri 1430 kPa değerinde en yüksek net iş değerine ulaşmaktadır. Bu basınç değerinden sonra elde edilen net iş miktarı azalmaya başlamaktadır.



Şekil 4.77. R22 için  $P_7$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de 1430kPa değerine kadar artmakta bu değerden sonra azalmaktadır.



Şekil 4.78. R22 için  $P_7$  basıncı ile  $m_1$  debisi değişimi

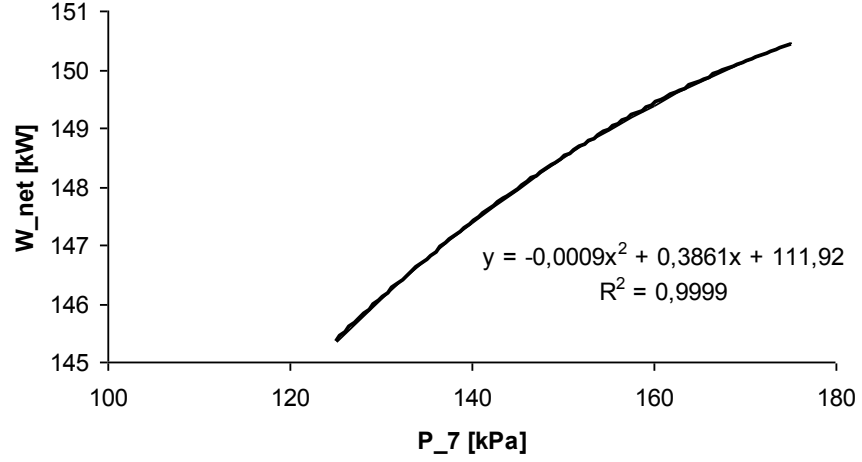
$P_7$  basıncı arttıkça 7 hattından geçen  $m_1$  debisi artmaktadır.

Organik iş akışkanı R22,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s,  $\dot{m}=9,351$  kg/s,  $P_1 = 2135$  kPa,  $P_2= 905$  kPa ve  $P_7=1430$  kPa olmak üzere elde edilen net iş 141,63 kW'tır.



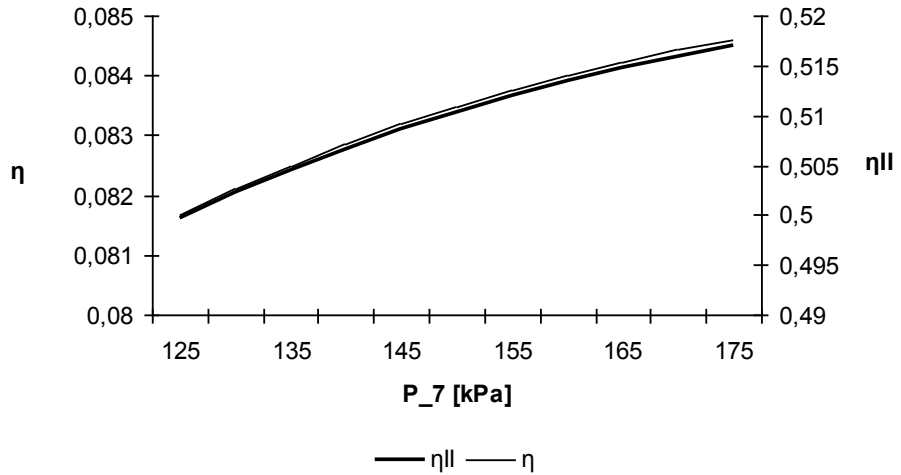
#### 4.2.9. Organik iş akışkanı: R134a

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere  $P_2$  basınç değeri 560kPa ve  $P_1$  basınç değeri 1600 kPa kabul edilerek seçilebilecek  $P_7$  değerleri araştırılmıştır.  $P_7$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu 565kPa ile 755kPa arasında seçilebileceği görülmüştür.



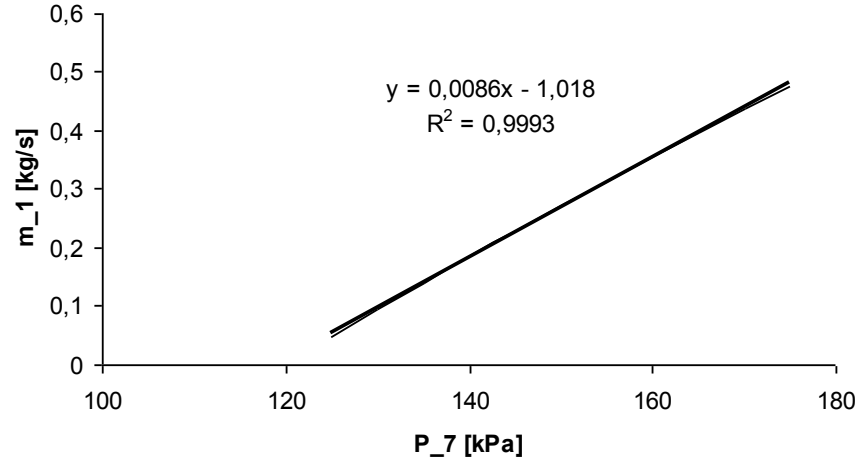
Şekil 4.79. R134a için  $P_7$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_7$  değeri arttıkça elde edilen net işte artmaktadır.



Şekil 4.80. R134a için  $P_7$  basıncı ile  $\eta$  ve  $\eta_{\text{II}}$  değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça I.Kanun ve II. Kanun verimleri de artmaktadır.



**Şekil 4.81.** R134a için  $P_7$  basıncı ile  $m_1$  debisi değişimi

$P_7$  basıncı arttıkça 7 hattından geçen  $m_1$  debisi artmaktadır.

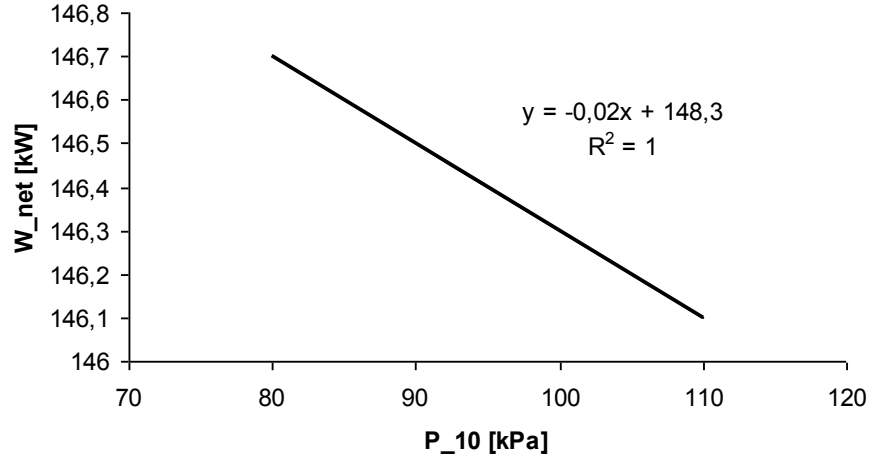
Organik iş akışkanı R134a,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$ ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s,  $\dot{m}=8,772$  kg/s,  $P_1 = 1600$  kPa,  $P_2=560$  kPa ve  $P_7=755$  kPa olmak üzere elde edilen net iş 150,89 kW'tır.

### 4.3. Organik Rankine Çevrimli Kojenerasyon Sistemi

Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi için modellenen programda organik çalışma akışkanları olarak izopentan, izobütan, propan, R123, R600, R2245fa, R13, R22 ve R134a akışkanları incelenmiştir.

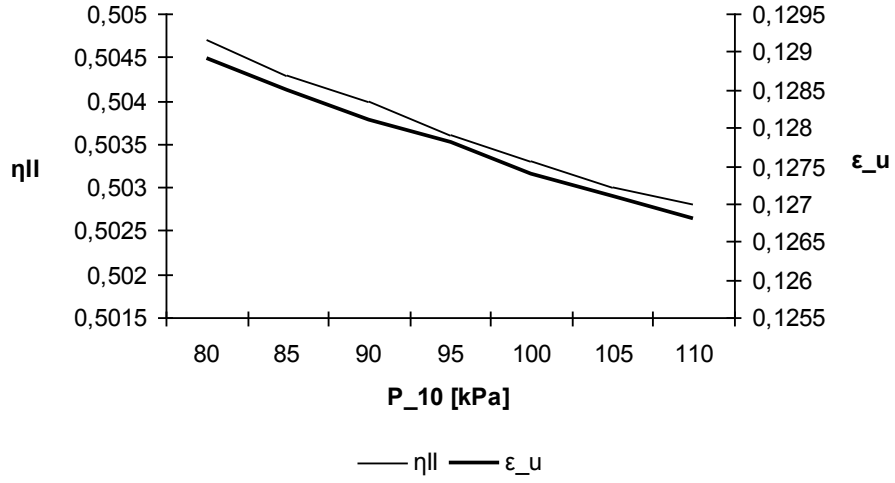
#### 4.3.1. Organik iş akışkanı: İzopentan

72,6°C,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$ ,  $P_2$  basınç değeri 75 kPa ve  $P_1$  basınç değeri 270 kPa kabul edilerek seçilebilecek  $P_{10}$  değerleri araştırılmıştır.  $P_{10}$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu 80 kPa ile 110 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



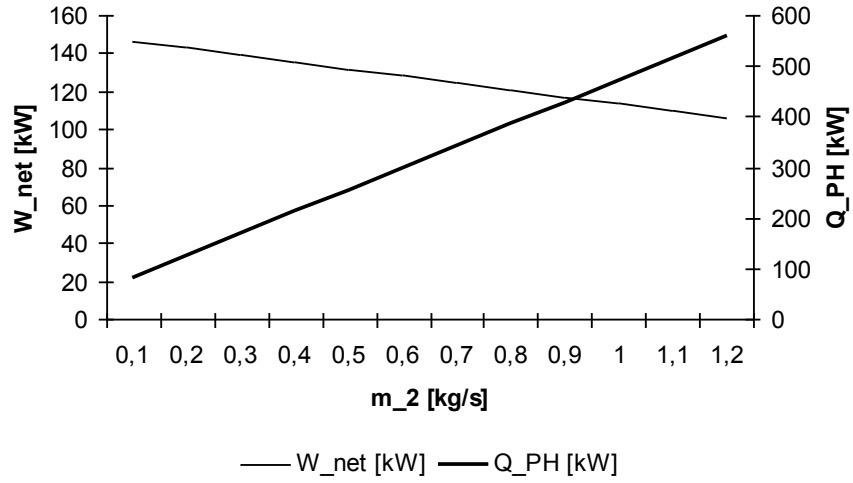
Şekil 4.82. İzopentan için  $P_{10}$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



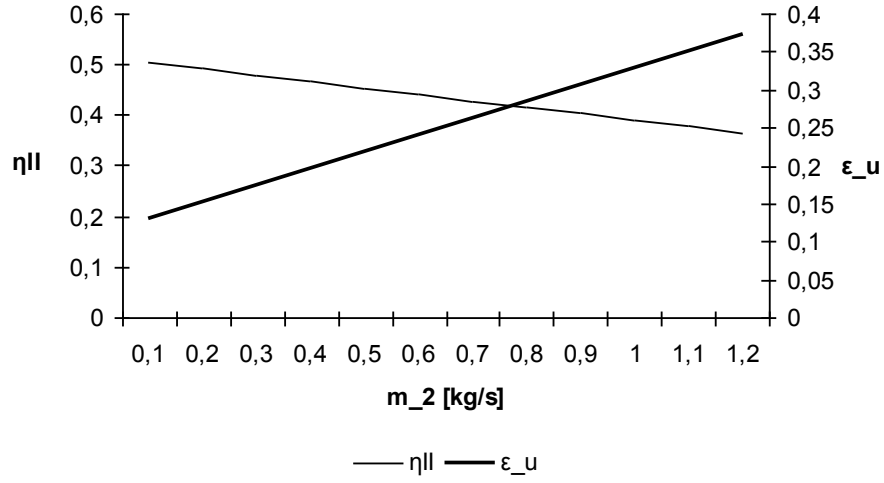
Şekil 4.83. İzopentan için  $P_{10}$  basıncı ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.



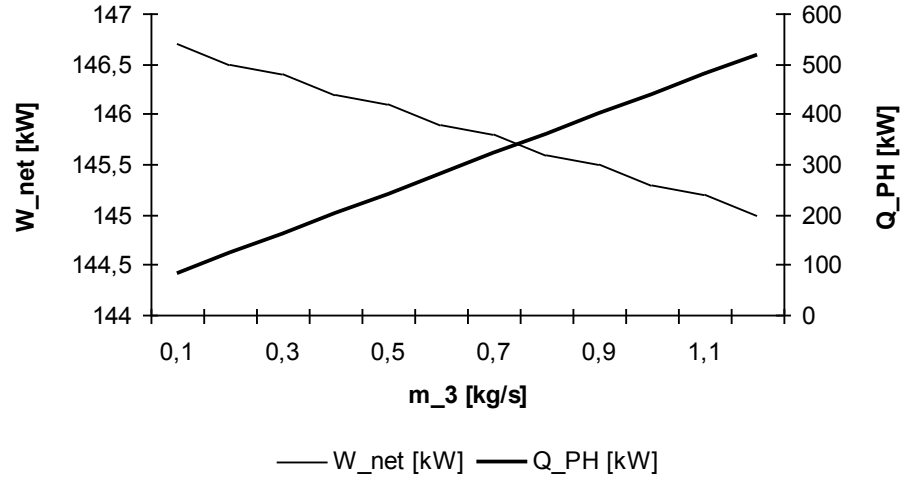
Şekil 4.84. İzopentan için  $m_2$  debisi ile net iş ve  $Q_{PH}$  değişimi

$m_2$  debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.



Şekil 4.85. İzopentan için m<sub>2</sub> debisi ile η<sub>II</sub> ve ε<sub>u</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça ikinci kanun verimi azalmakta yararlılık katsayısı artmaktadır.

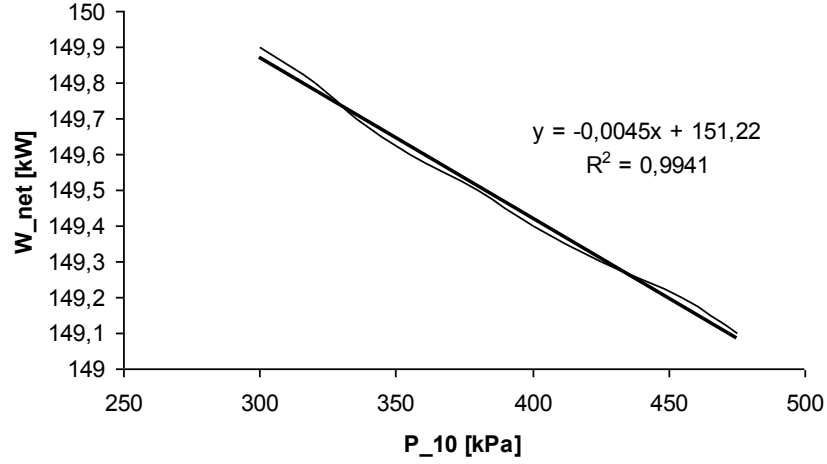


Şekil 4.86. İzopentan için m<sub>3</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>3</sub> debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca m<sub>3</sub> debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

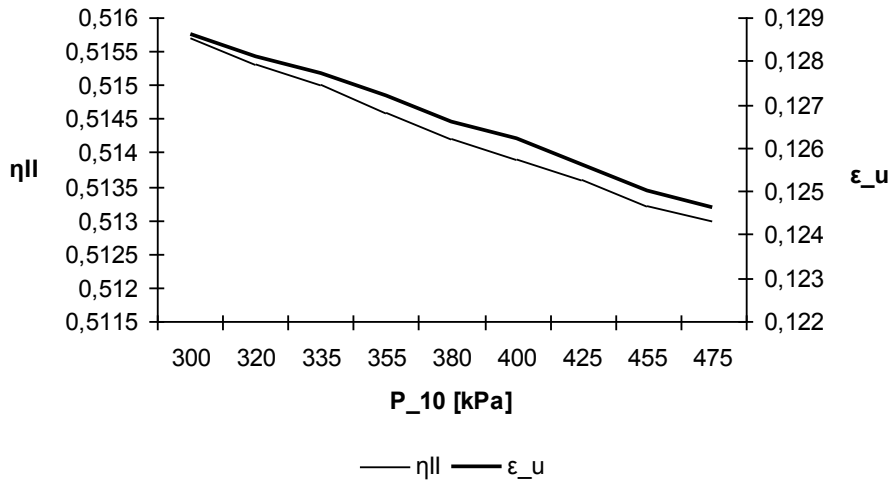
### 4.3.2. Organik iş akışkanı: İzobütan

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ,  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  ,  $P_2$  basınç değeri 290 kPa ve  $P_1$  basınç değeri 880 kPa kabul edilerek seçilebilecek  $P_{10}$  değerleri araştırılmıştır.  $P_{10}$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu 295 kPa ile 475 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



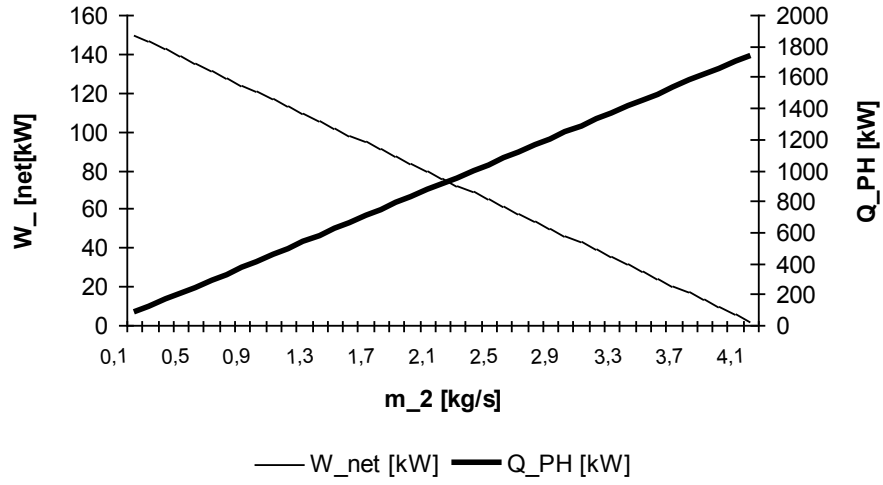
Şekil 4.87. İzobütan için  $P_{10}$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



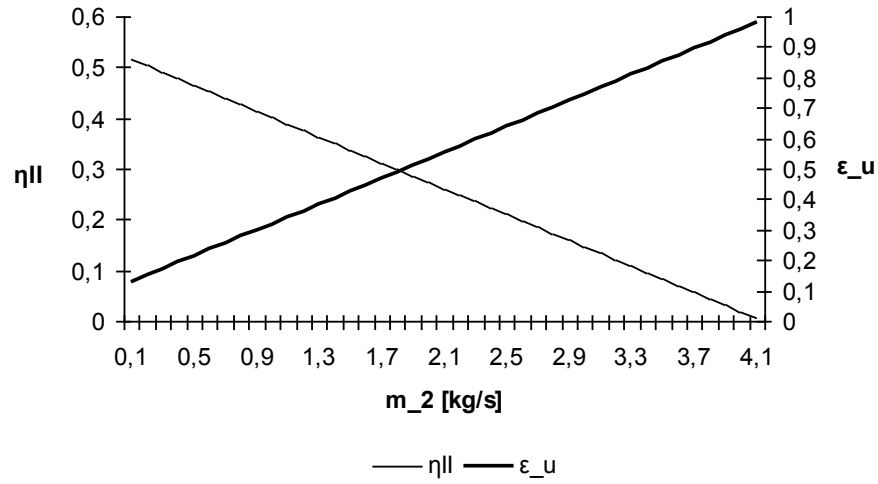
Şekil 4.88. İzobütan için  $P_{10}$  basıncı ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.



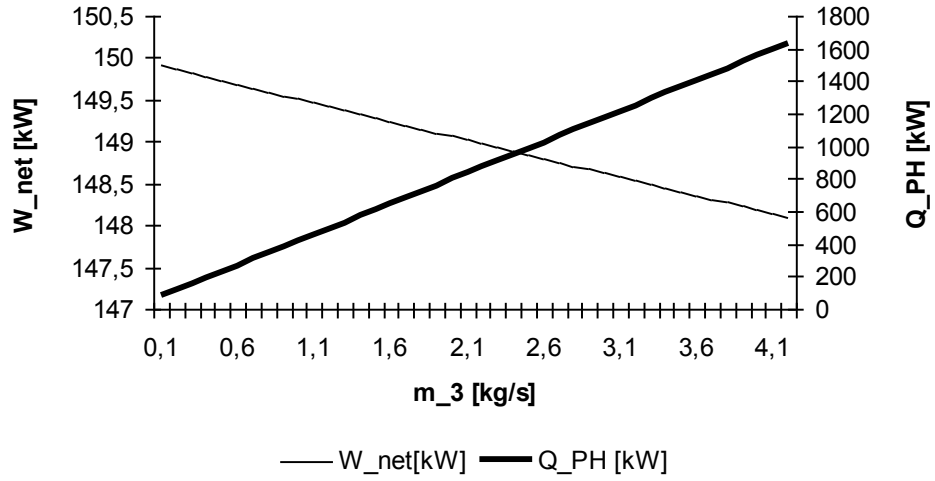
Şekil 4.89. İzobütan için  $m_2$  debisi ile net iş ve  $Q_{PH}$  değişimi

$m_2$  debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.



Şekil 4.90. İzobütan için  $m_2$  debisi ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$m_2$  debisi arttıkça birinci ve ikinci kanun verimleri azalmakta yararlılık katsayısı artmaktadır.

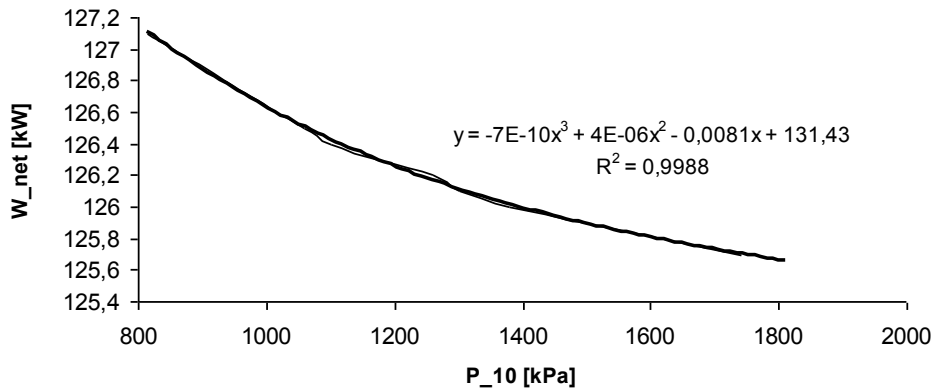


Şekil 4.91. İzobütan için m<sub>3</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>3</sub> debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca m<sub>3</sub> debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

#### 4.3.3. Organik iş akışkanı: Propan

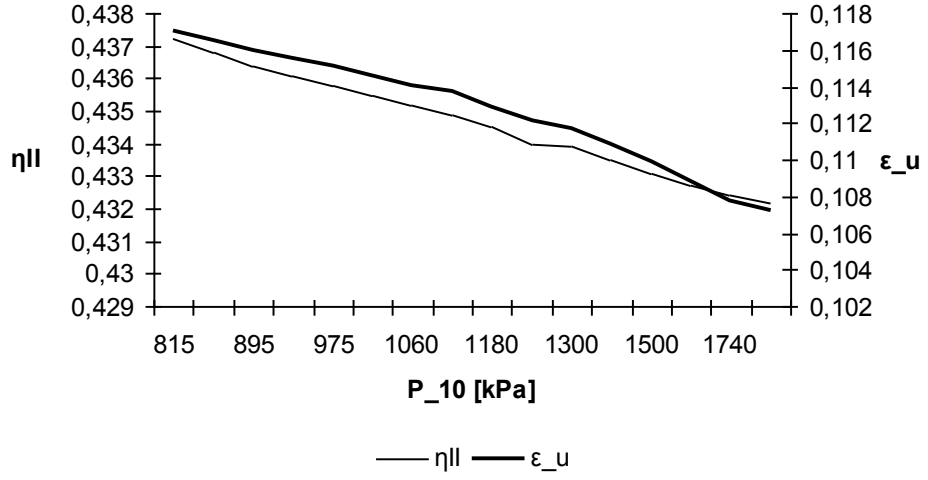
T<sub>1</sub>=72,6°C ve m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere P<sub>2</sub> basınç değeri 810 kPa ve P<sub>1</sub> basınç değeri 1815 kPa kabul edilerek seçilebilecek P<sub>10</sub> değerleri araştırılmıştır. P<sub>10</sub> değeri yapılan hesaplamalar sonucu 815 kPa ile 1810 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



Şekil 4.92. Propan için P<sub>10</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

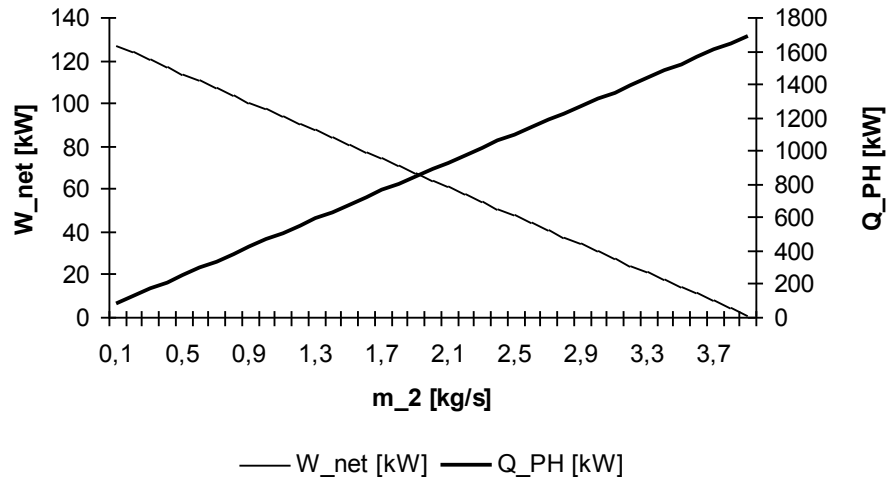


$P_{10}$  basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



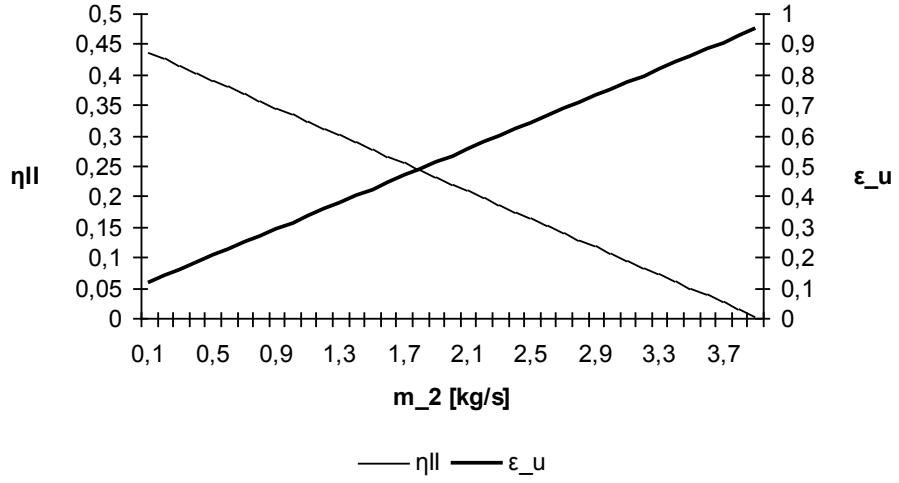
Şekil 4.93. Propan için  $P_{10}$  basıncı ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.



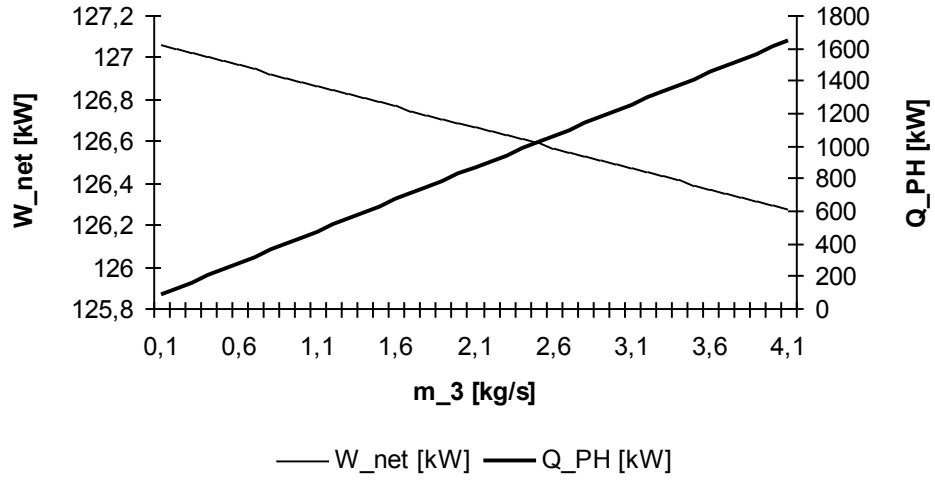
Şekil 4.94. Propan için  $m_2$  debisi ile net iş ve  $Q_{PH}$  değişimi

$m_2$  debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.



Şekil 4.95. Propan için  $m_2$  debisi ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$m_2$  debisi arttıkça ikinci kanun verimi azalmakta, yararlılık katsayısı artmaktadır.

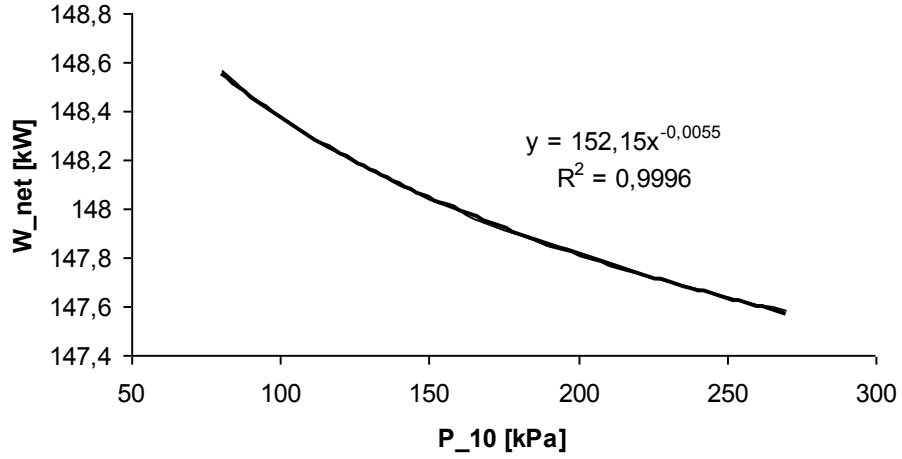


Şekil 4.96. Propan için  $m_3$  debisi ile net iş ve  $Q_{PH}$  değişimi

$m_3$  debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca  $m_3$  debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

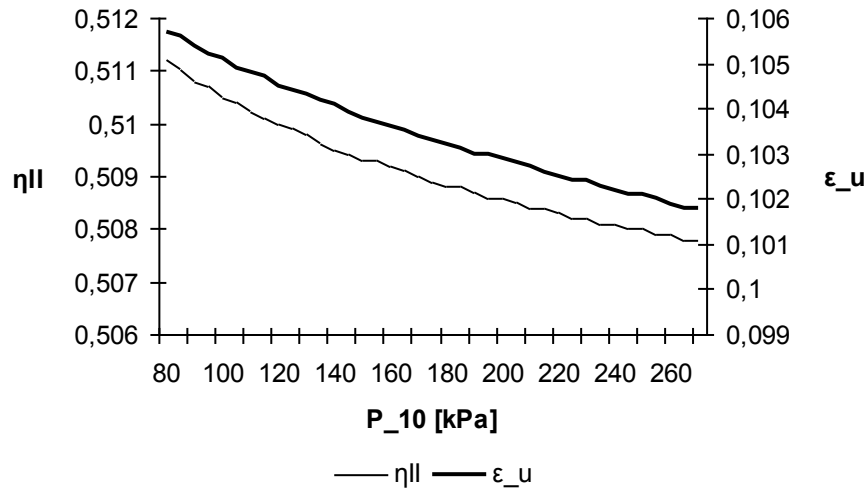
#### 4.3.4. Organik iş akışkanı: R123

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere  $P_2$  basınç değeri 75 kPa ve  $P_1$  basınç değeri 275 kPa kabul edilerek seçilebilecek  $P_{10}$  değerleri araştırılmıştır.  $P_{10}$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu 80 kPa ile 270 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



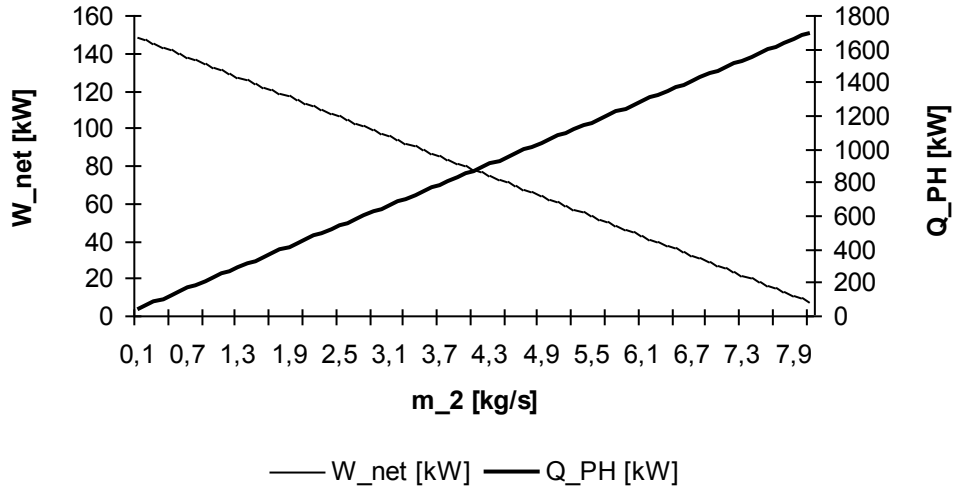
Şekil 4.97. R123 için  $P_{10}$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



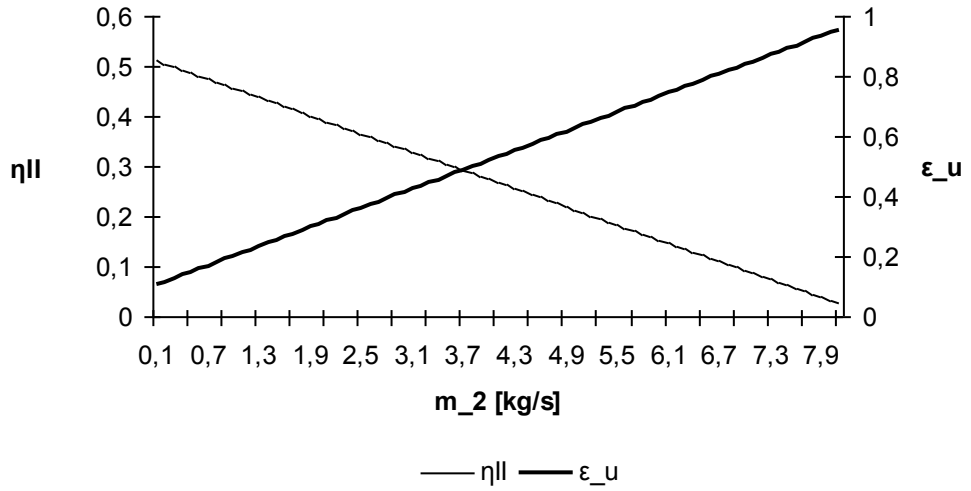
Şekil 4.98. R123 için  $P_{10}$  basıncı ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.



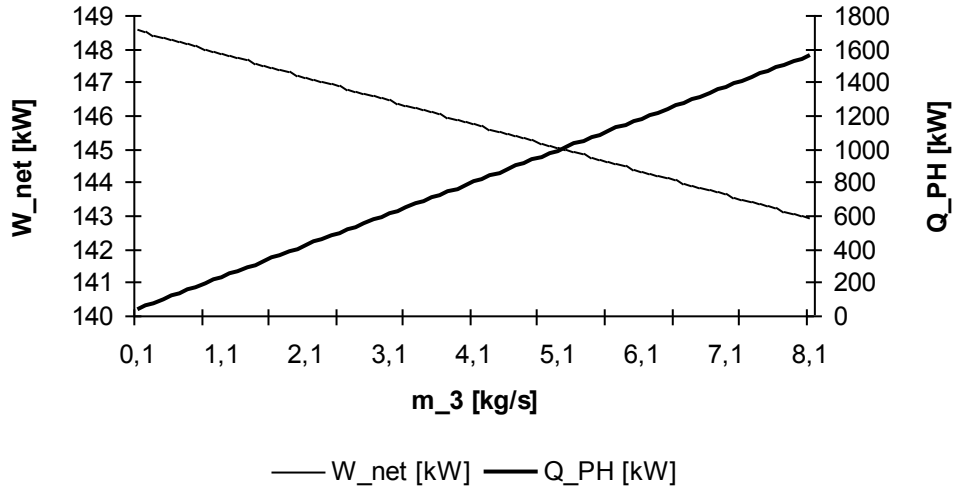
Şekil 4.99. R123 için m<sub>2</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.



Şekil 4.100. R123 için m<sub>2</sub> debisi ile η<sub>II</sub> ve ε<sub>u</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça ikinci kanun verimi azalmakta, yararlılık katsayısı artmaktadır.

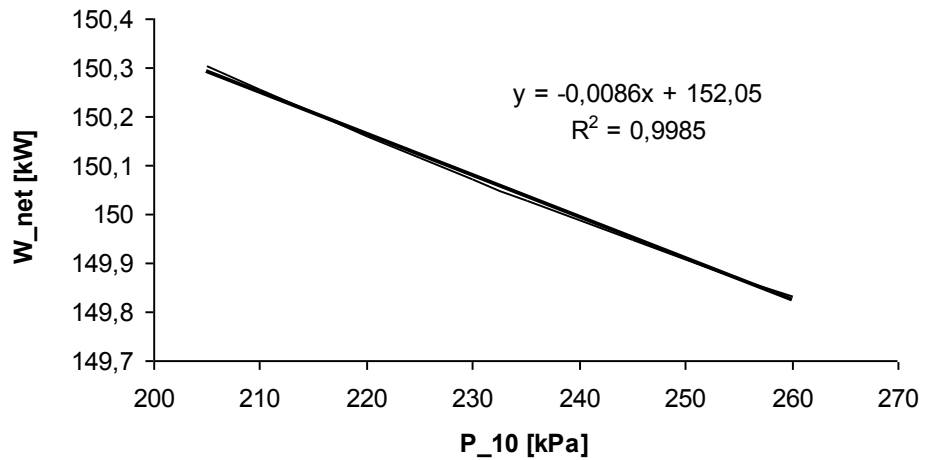


Şekil 4.101. R123 için m<sub>3</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>3</sub> debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca m<sub>3</sub> debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

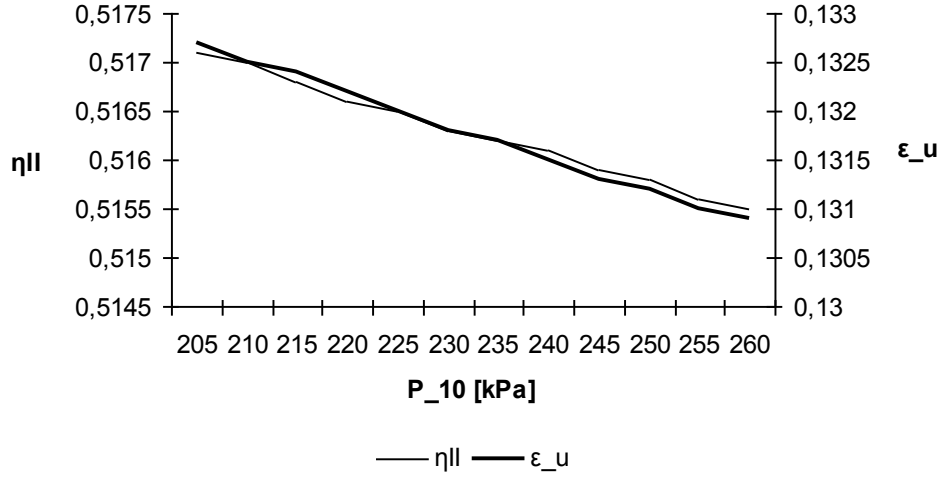
#### 4.3.5. Organik iş akışkanı: R600

T<sub>1</sub>=72,6°C ve m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere P<sub>2</sub> basınç değeri 200 kPa ve P<sub>1</sub> basınç değeri 640 kPa kabul edilerek seçilebilecek P<sub>10</sub> değerleri araştırılmıştır. P<sub>10</sub> değeri yapılan hesaplamalar sonucu 205 kPa ile 260 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



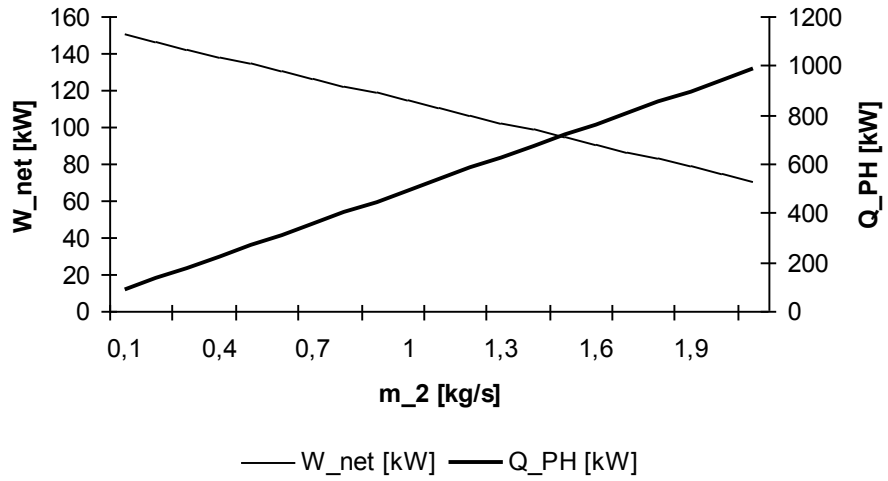
Şekil 4.102. R600 için P<sub>10</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



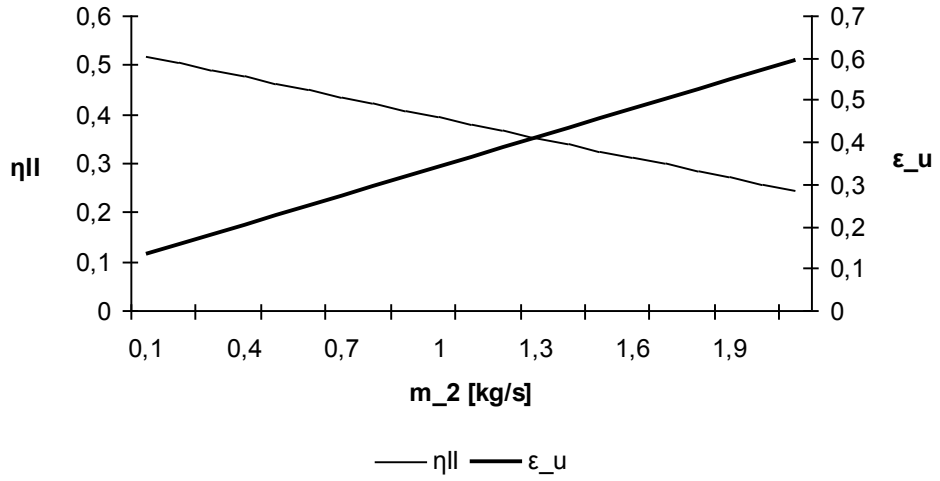
Şekil 4.103. R600 için  $P_{10}$  basıncı ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.



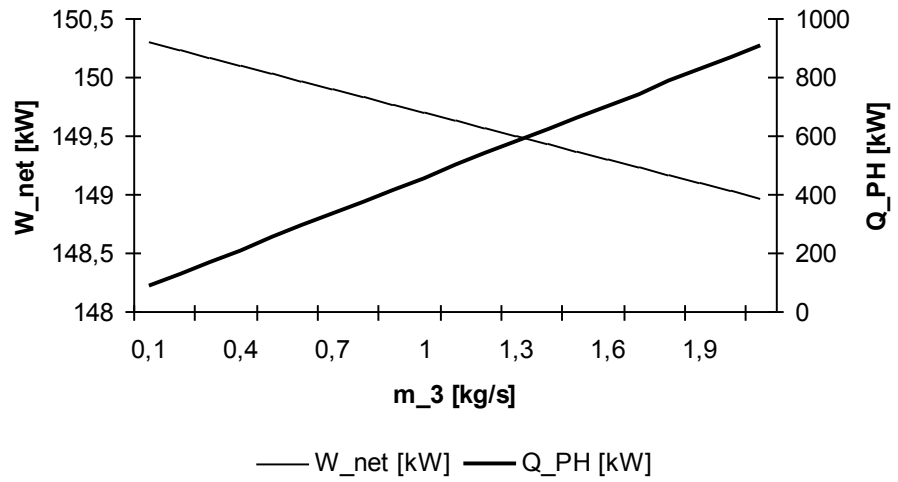
Şekil 4.104. R600 için  $m_2$  debisi ile net iş ve  $Q_{PH}$  değişimi

$m_2$  debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.



Şekil 4.105. R600 için m<sub>2</sub> debisi ile η<sub>II</sub> ve ε<sub>u</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça ikinci kanun verimi azalmakta, yararlılık katsayısı artmaktadır.

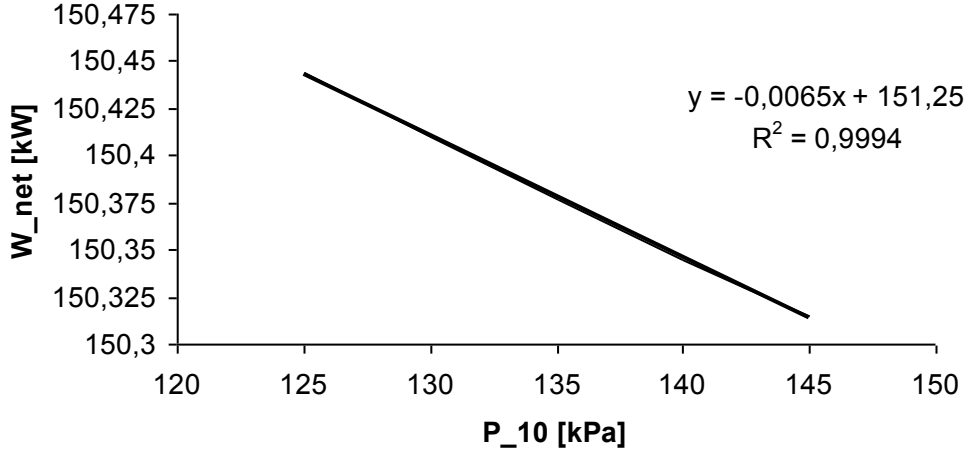


Şekil 4.106. R600 için m<sub>3</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>3</sub> debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca m<sub>3</sub> debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

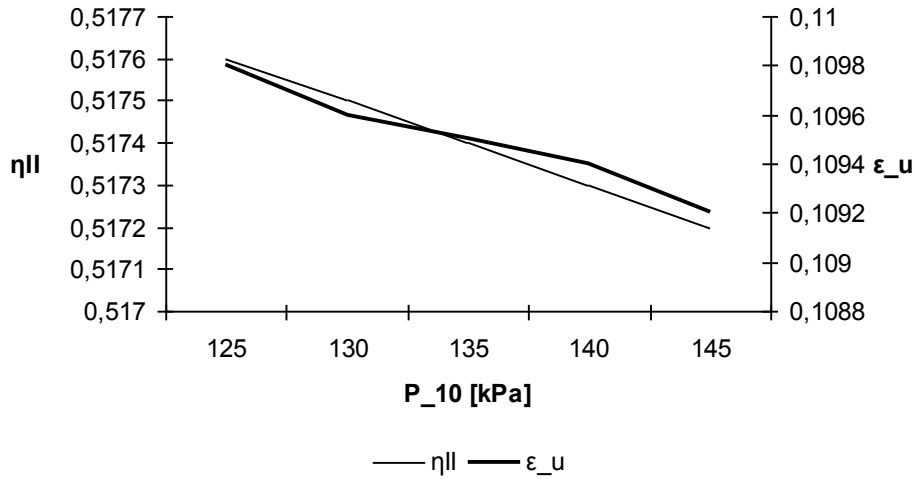
#### 4.3.6. Organik iş akışkanı: R245fa

$T_1=72,6^\circ\text{C}$  ve  $m_{\text{atıkakışkan}}=10\text{kg/s}$  olmak üzere  $P_2$  basınç değeri 120 kPa ve  $P_1$  basınç değeri 465 kPa kabul edilerek seçilebilecek  $P_{10}$  değerleri araştırılmıştır.  $P_{10}$  değeri yapılan hesaplamalar sonucu 125 kPa ile 145 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



Şekil 4.107. R245fa için  $P_{10}$  basıncı ile  $W_{\text{net}}$  değişimi

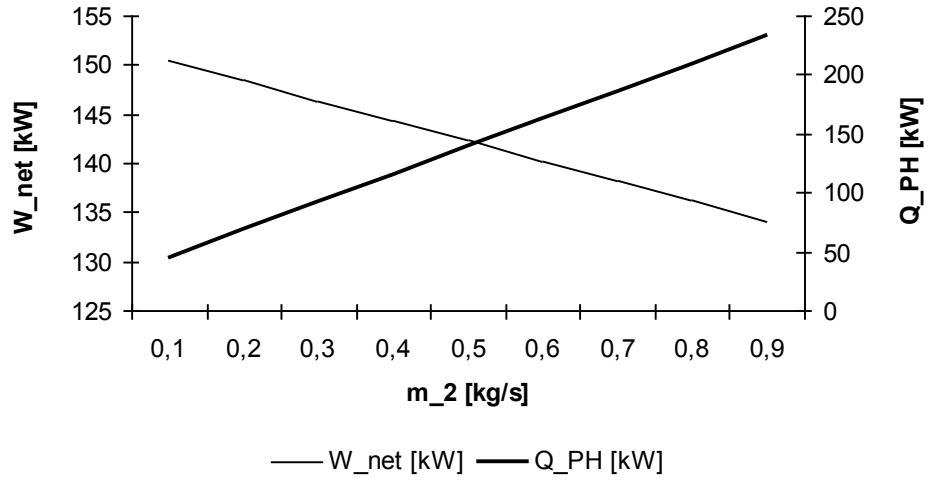
$P_{10}$  basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



Şekil 4.108. R245fa için  $P_{10}$  basıncı ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

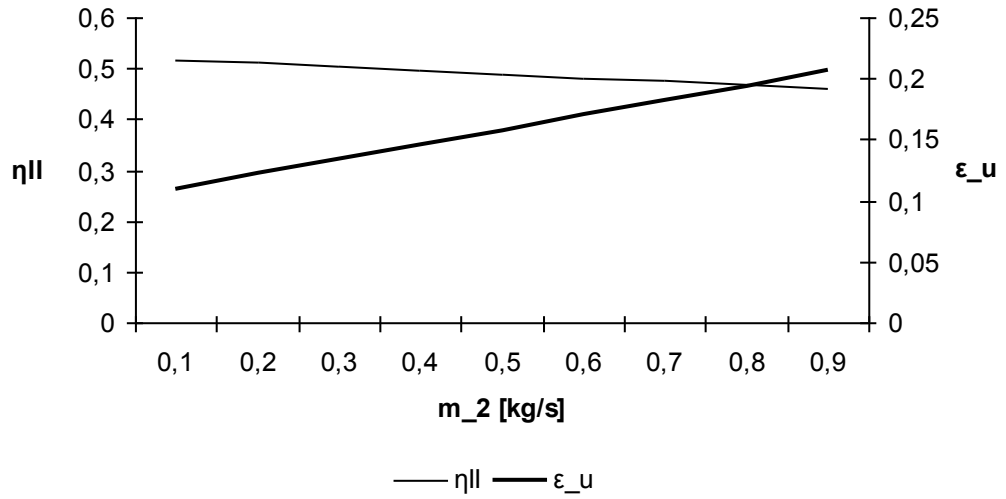
$P_{10}$  basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.





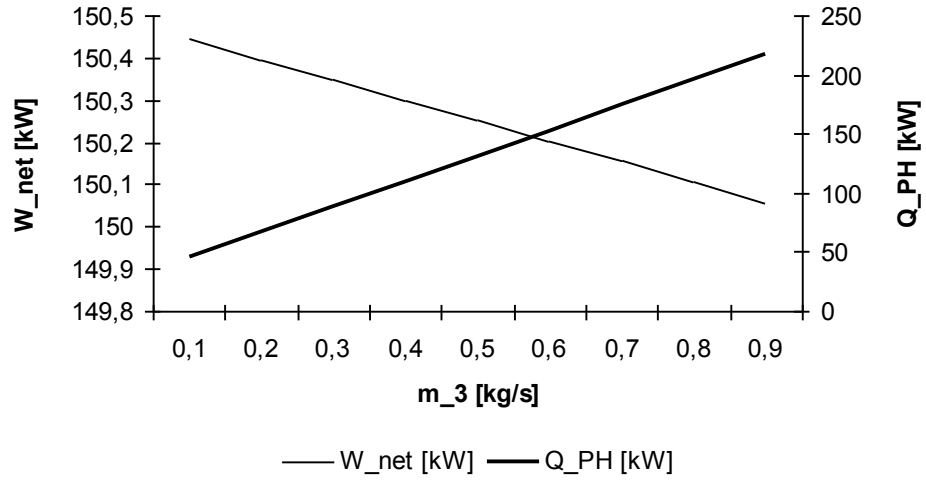
Şekil 4.109. R245fa için m<sub>2</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.



Şekil 4.110. R245fa için m<sub>2</sub> debisi ile η<sub>II</sub> ve ε<sub>u</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça ikinci kanun verimi azalmakta, yararlılık katsayısı artmaktadır.

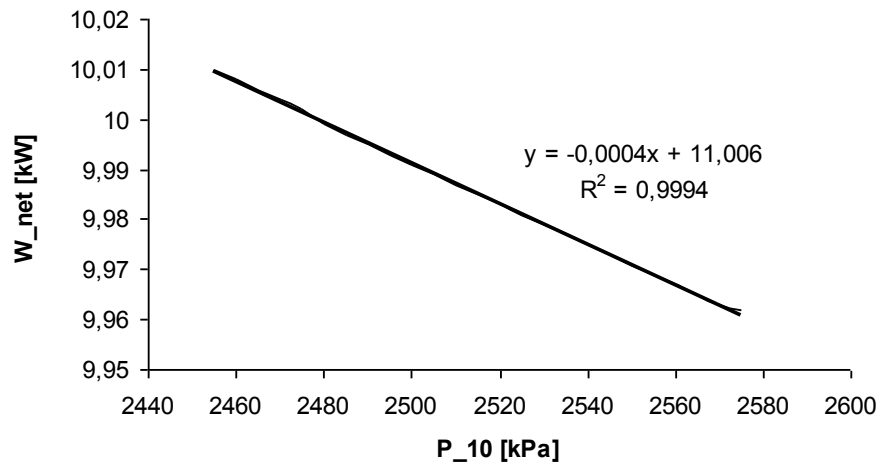


Şekil 4.111. R245fa için m<sub>3</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>3</sub> debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca m<sub>3</sub> debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

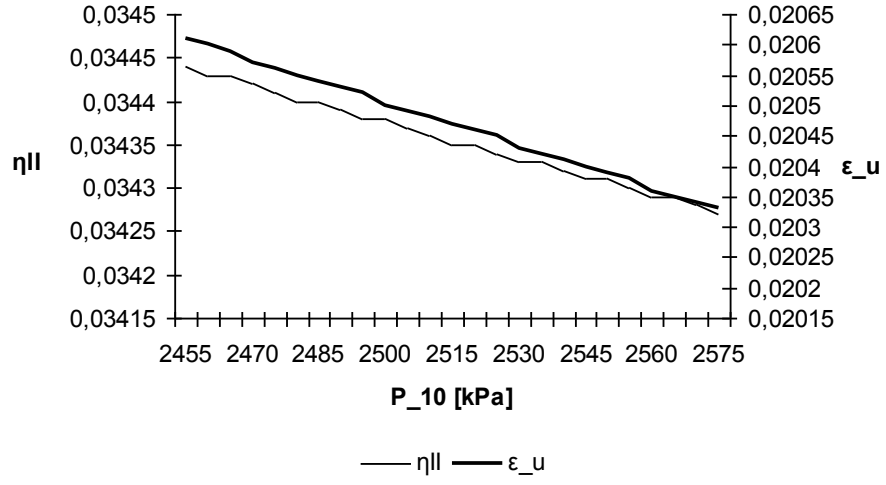
#### 4.3.7. Organik iş akışkanı: R13

T<sub>1</sub>=72,6°C ve m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere P<sub>2</sub> basınç değeri 2450 kPa ve P<sub>1</sub> basınç değeri 2580 kPa kabul edilerek seçilebilecek P<sub>10</sub> değerleri araştırılmıştır. P<sub>10</sub> değeri yapılan hesaplamalar sonucu 2455 kPa ile 2575 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



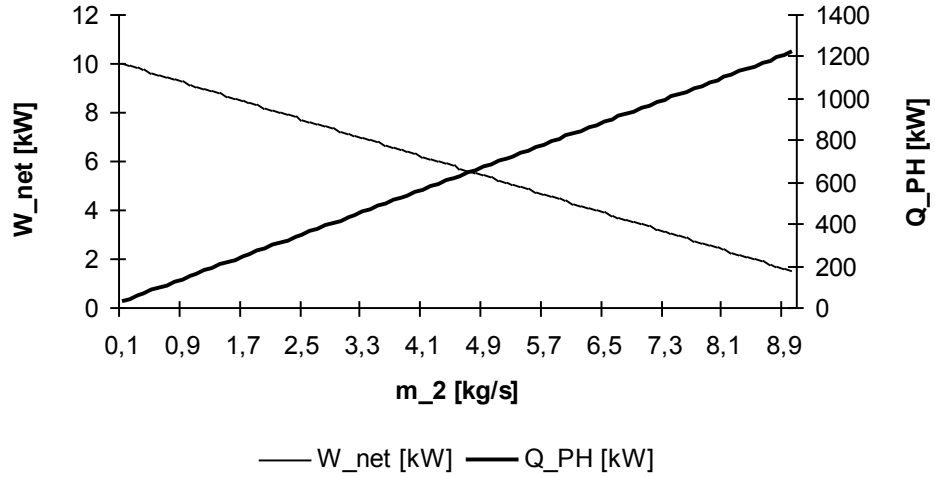
Şekil 4.112. R13 için P<sub>10</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



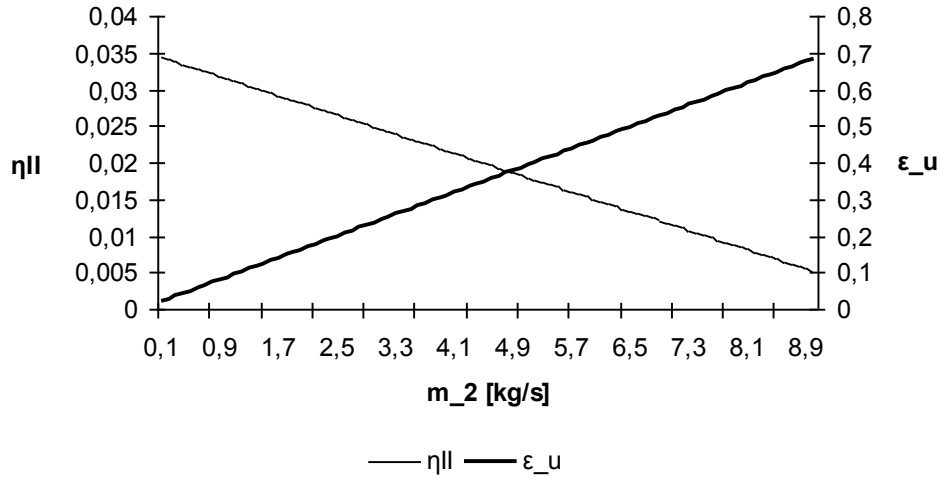
Şekil 4.113. R13 için  $P_{10}$  basıncı ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.



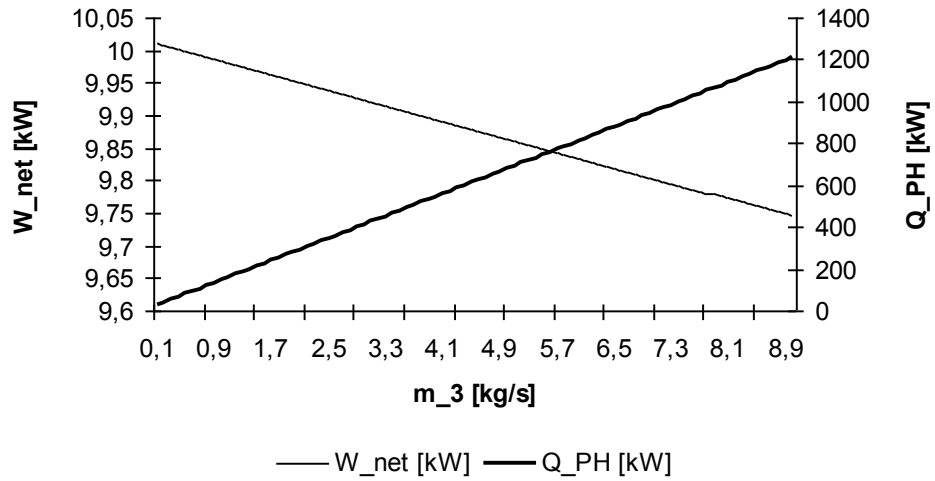
Şekil 4.114. R13 için  $m_2$  debisi ile net iş ve  $Q_{PH}$  değişimi

$m_2$  debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.



Şekil 4.115. R13 için m<sub>2</sub> debisi ile η<sub>II</sub> ve ε<sub>u</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça ikinci kanun verimi azalmakta, yararlılık katsayısı artmaktadır.



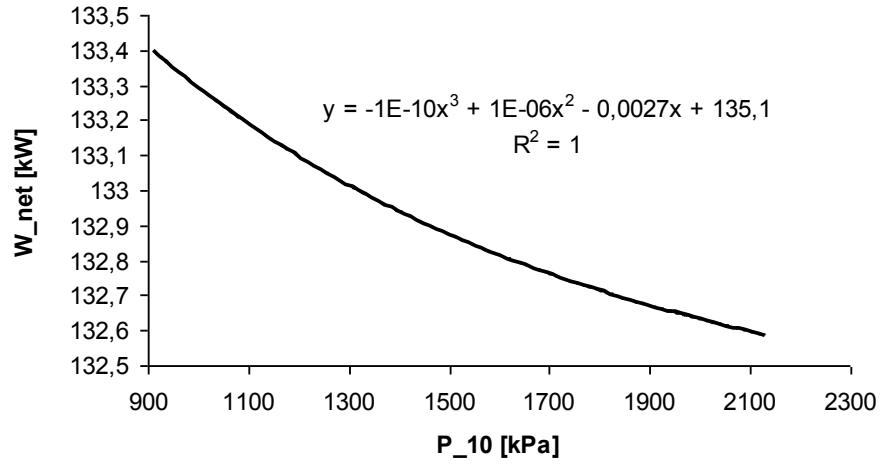
Şekil 4.116. R13 için m<sub>3</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>3</sub> debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca m<sub>3</sub> debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

#### 4.3.8. Organik iş akışkanı: R22

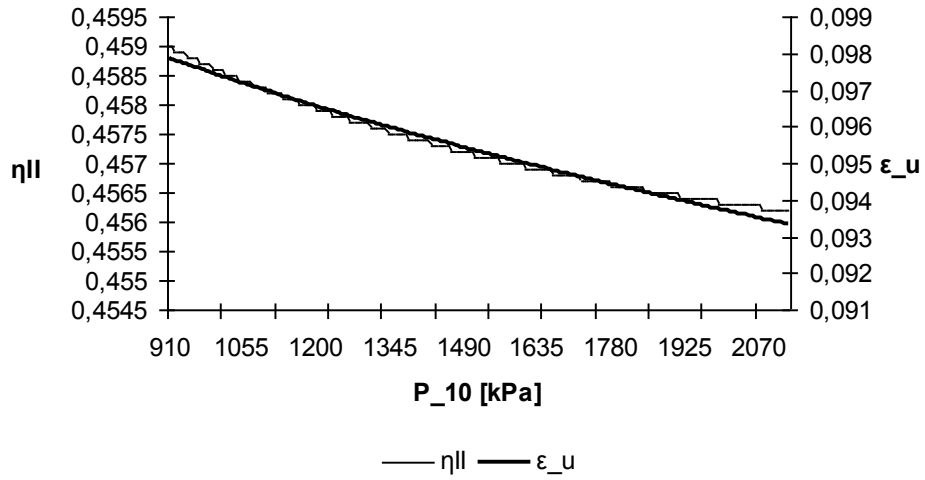
T<sub>1</sub>=72,6°C ve m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere P<sub>2</sub> basınç değeri 905 kPa ve P<sub>1</sub> basınç değeri 2135 kPa kabul edilerek seçilebilecek P<sub>10</sub> değerleri araştırılmıştır. P<sub>10</sub> değeri

yapılan hesaplamalar sonucu 910 kPa ile 2130 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



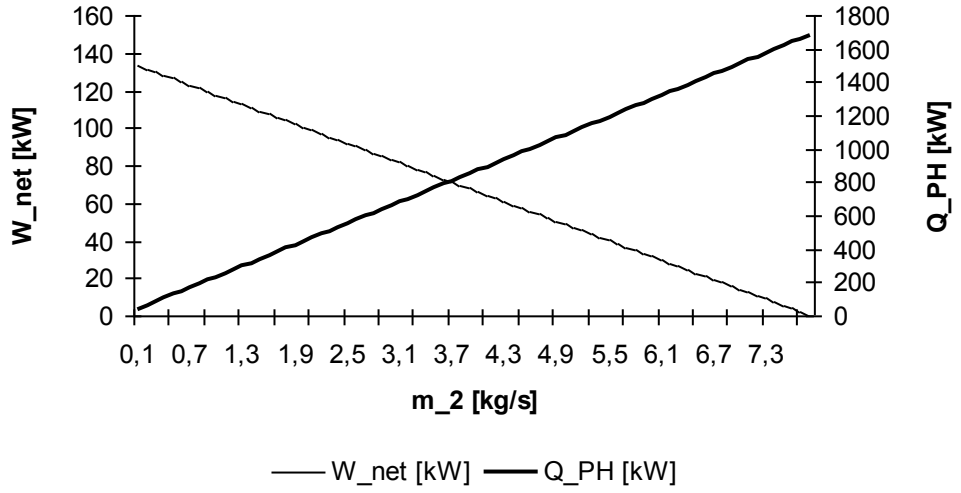
Şekil 4.117. R22 için P<sub>10</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

P<sub>10</sub> basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



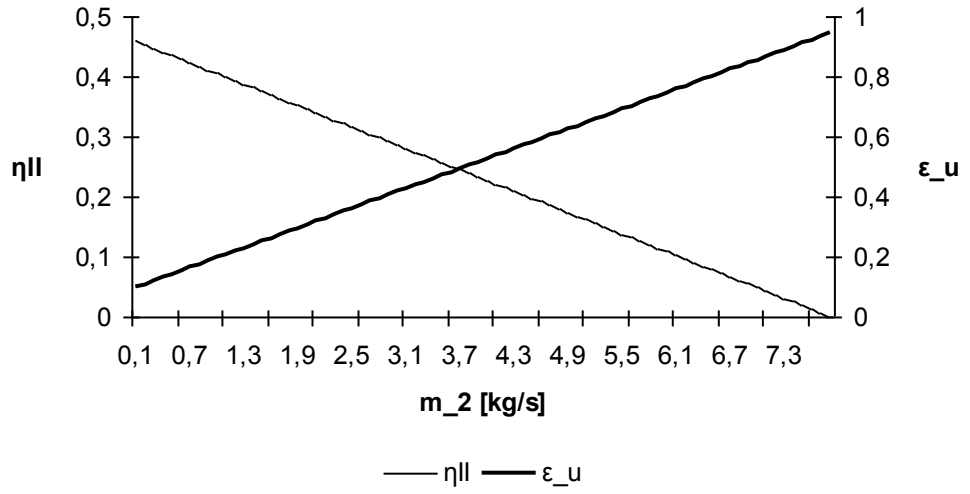
Şekil 4.118. R22 için P<sub>10</sub> basıncı ile η<sub>II</sub> ve ε<sub>u</sub> değişimi

P<sub>10</sub> basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.



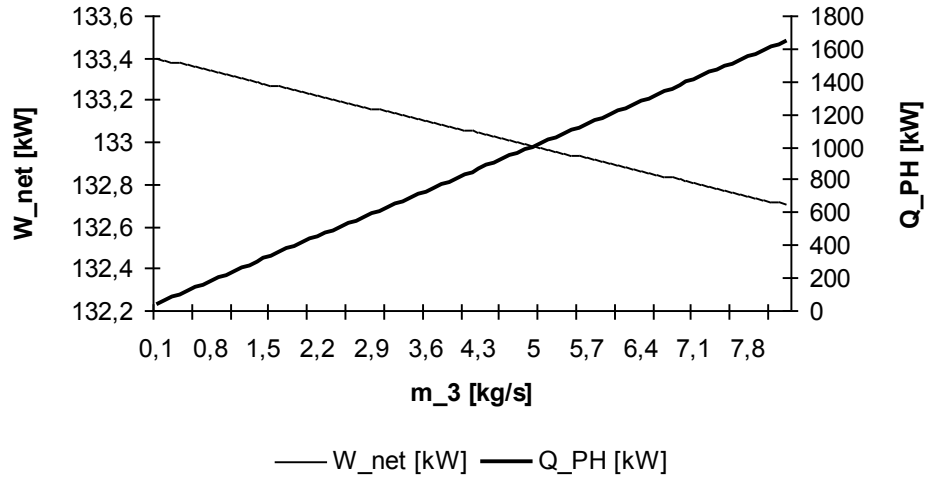
Şekil 4.119. R22 için m<sub>2</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.



Şekil 4.120. R22 için m<sub>2</sub> debisi ile η<sub>II</sub> ve ε<sub>u</sub> değişimi

m<sub>2</sub> debisi arttıkça ikinci kanun verimi azalmakta, yararlılık katsayısı artmaktadır

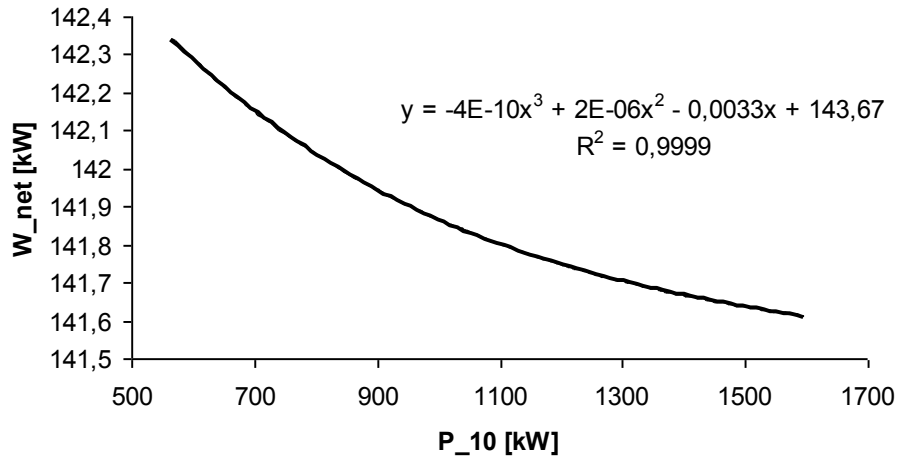


Şekil 4.121. R22 için m<sub>3</sub> debisi ile net iş ve Q<sub>PH</sub> değişimi

m<sub>3</sub> debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca m<sub>3</sub> debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

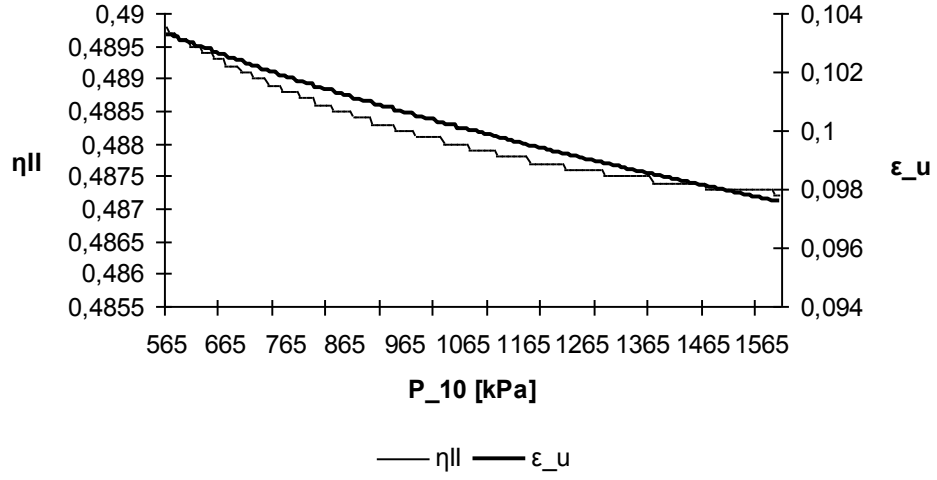
#### 4.3.9. Organik iş akışkanı: R134a

T<sub>1</sub>=72,6°C ve m<sub>atıkakışkan</sub>=10kg/s olmak üzere P<sub>2</sub> basınç değeri 560 kPa ve P<sub>1</sub> basınç değeri 1595 kPa kabul edilerek seçilebilecek P<sub>10</sub> değerleri araştırılmıştır. P<sub>10</sub> değeri yapılan hesaplamalar sonucu 565 kPa ile 1590 kPa basınçları arasında seçilebileceği görülmüştür.



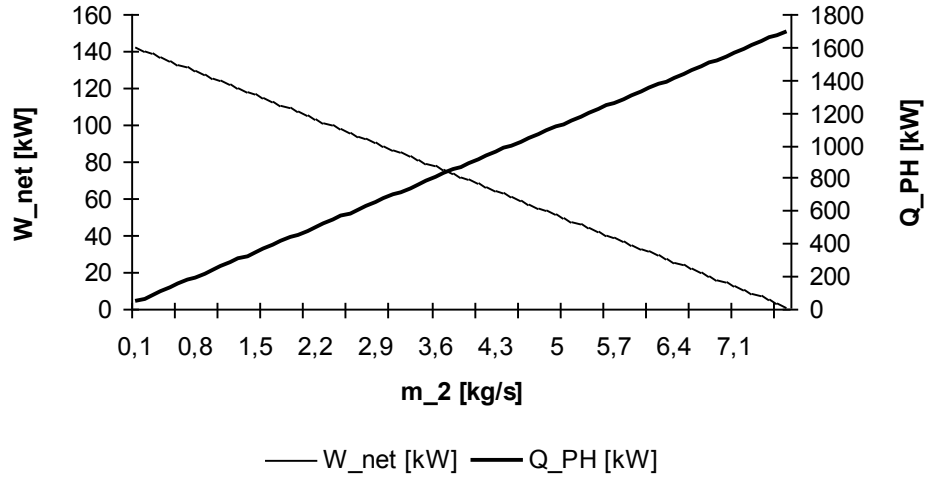
Şekil 4.122. R134a için P<sub>10</sub> basıncı ile W<sub>net</sub> değişimi

$P_{10}$  basıncı arttıkça elde edilen net iş azalmaktadır.



Şekil 4.123. R134a için  $P_{10}$  basıncı ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

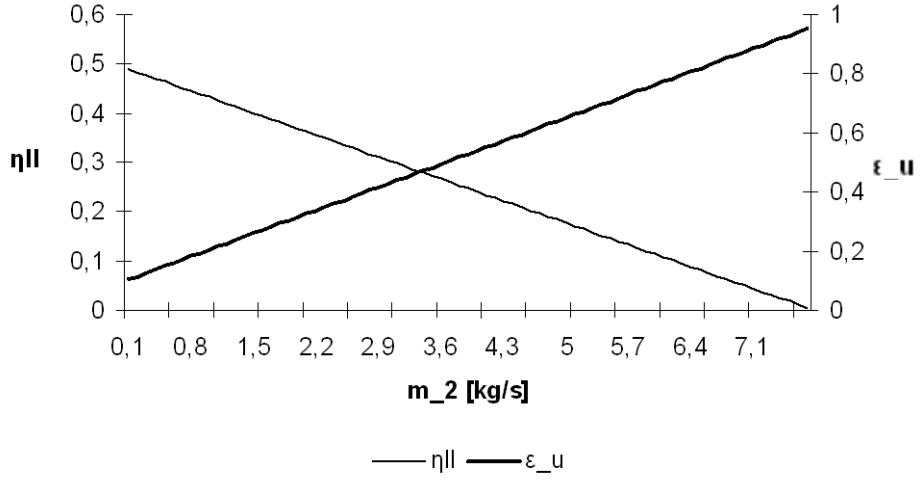
$P_{10}$  basıncı arttıkça yararlılık katsayısı ve II. Kanun verimi azalmaktadır. Bu azalma binde seviyesinde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.124. R134a için  $m_2$  debisi ile net iş ve  $Q_{PH}$  değişimi

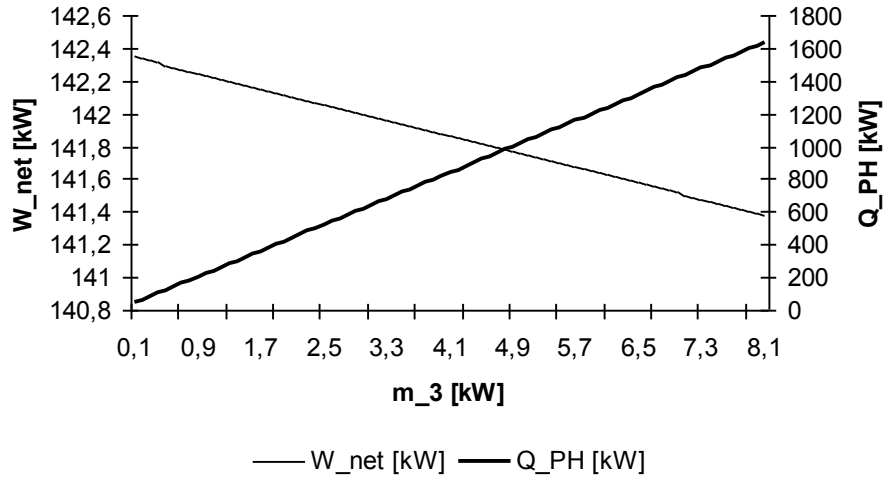
$m_2$  debisi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmakta proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarı artmaktadır.





Şekil 4.125. R134a için  $m_2$  debisi ile  $\eta_{II}$  ve  $\epsilon_u$  değişimi

$m_2$  debisi arttıkça ikinci kanun verimi azalmakta, yararlılık katsayısı artmaktadır.



Şekil 4.126. R134a için  $m_3$  debisi ile net iş ve  $Q_{PH}$  değişimi

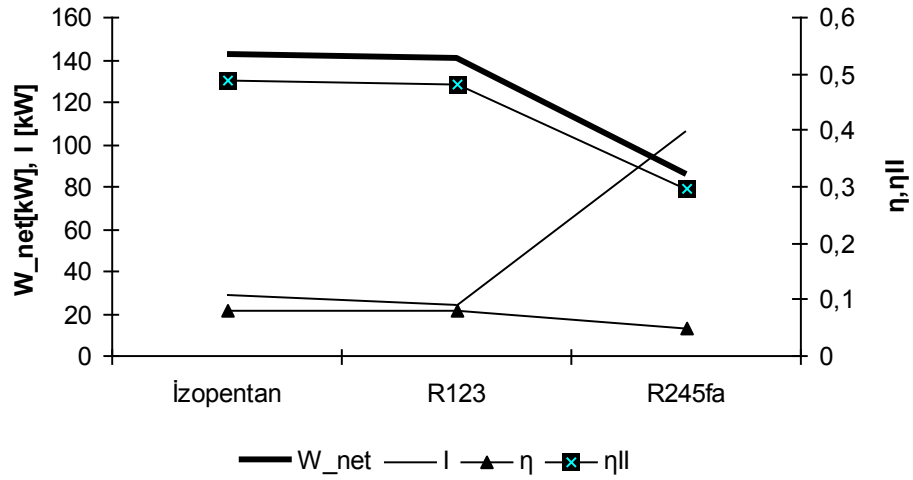
$m_3$  debisinin artışının proses ısıtıcı da üretilen ısı miktarını olumlu miktarda etkileyerek elde edilen ısıyı arttırmaktadır. Ayrıca  $m_3$  debisinin artışı elde edilen net iş üzerinde daha az etkili olup bu koldan geçen debi arttıkça elde edilen net iş değeri azalmaktadır.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde Bölüm 4'te elde edilen veriler çevrim çevrim ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalardaki temel kriter aynı çalışma basınç aralıklarında çalışan akışkanlardan tasarlanacak sistemler için en optimum sonuçları verecek optimum akışkanı belirlemek amacıyla yapılmıştır.

### 5.1. Basit Organik Rankine Çevrimi İçin İncelenen Akışkanların Karşılaştırması

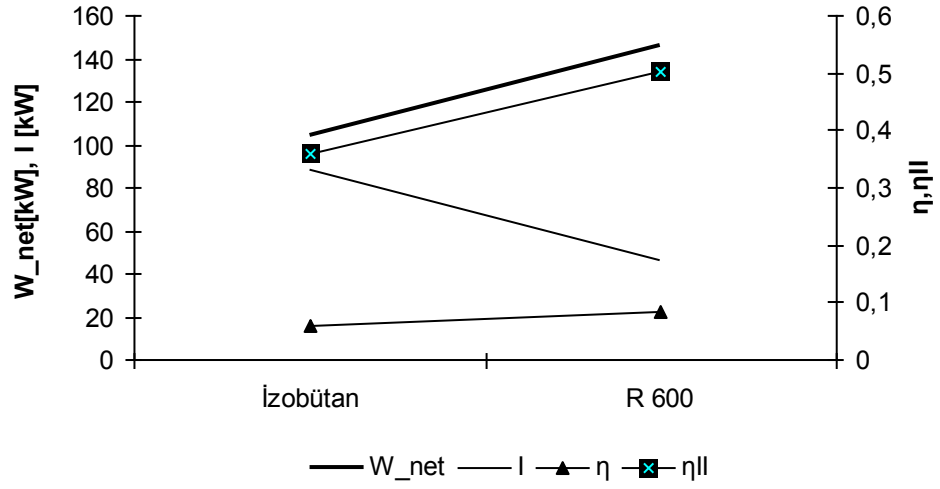
$P_1=250$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s olmak üzere izopentan, R123 ve R245fa organik iş akışkanları için  $W_{\text{net}}$  (kW),  $I$  (kW),  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.1)



Şekil 5.1. Basit organik rankine çevrimi için izopentan, R123 ve R245fa karşılaştırması

İzopentan akışkanının verilen değerlerde elde edilen net iş değerinin, I.Kanun ve II. Kanun verimlerinin diğer iki akışkandan yüksek olduğu görülmüştür. Verilen başlangıç şartlarında basit organik rankine çevrimi iş akışkanı olarak izopentan organik akışkanının seçilebilir.

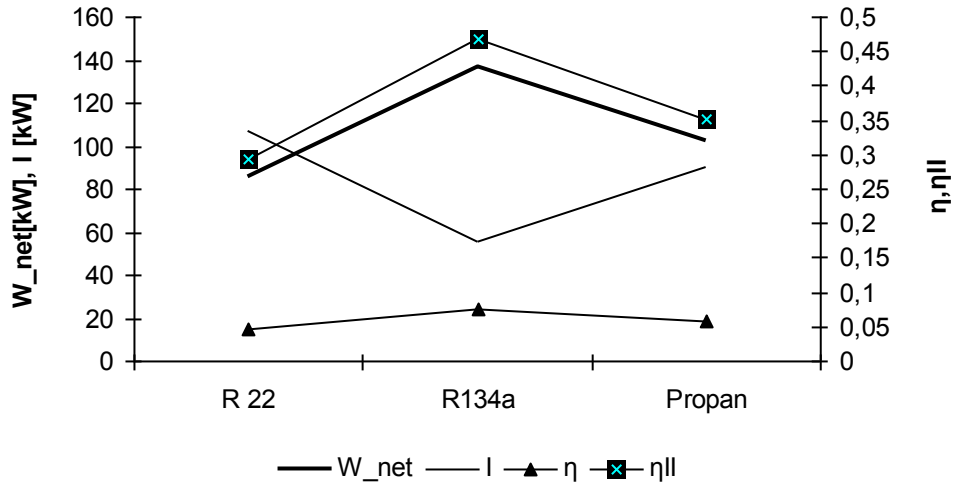
$P_1=600$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s olmak üzere izobütan ve R600 organik iş akışkanları için  $W_{\text{net}}$ (kW),  $I$  (kW),  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.2)



Şekil 5.2. Basit organik rankine çevrimi için izobütan ve R600 karşılaştırması

R600 akışkanının verilen değerlerde elde edilen net iş oranı, I.Kanun ve II. Kanun verimlerinin diğer akışkandan yüksek olduğu görülmüştür. Verilen başlangıç şartlarında basit organik rankine çevrimi iş akışkanı olarak R600 organik akışkanının seçilebilir.

$P_1=1500$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{atıkakışkan}=10$  kg/s olmak üzere R22, R134a ve propan organik iş akışkanları için  $W_{net}$ (kW),  $I$  (kW),  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.3)



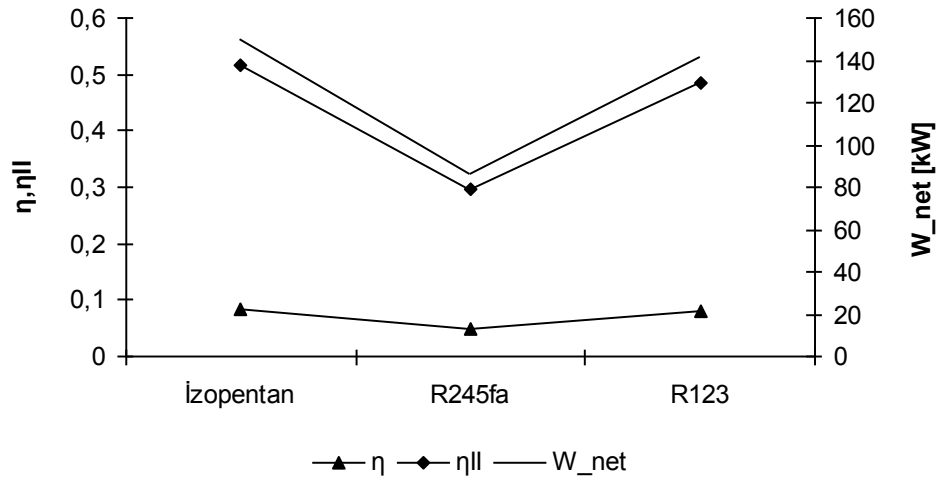
Şekil 5.3. Basit organik rankine çevrimi için R22, R134a ve propan karşılaştırması

R134a akışkanının verilen değerlerde elde edilen net iş oranı, I.Kanun ve II. Kanun verimlerinin diğer iki akışkandan yüksek olduğu görülmüştür. Verilen başlangıç şartlarında basit organik rankine çevrimi iş akışkanı olarak R134a organik akışkanının seçilebilir.

Yapılan incelemeler sonucu R13 iş akışkanının  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında ideal olmadığı görülmüştür.

## 5.2. Rejeneratif (Geliştirilmiş) Organik Rankine Çevrimi İçin İncelenen Akışkanların Karşılaştırması

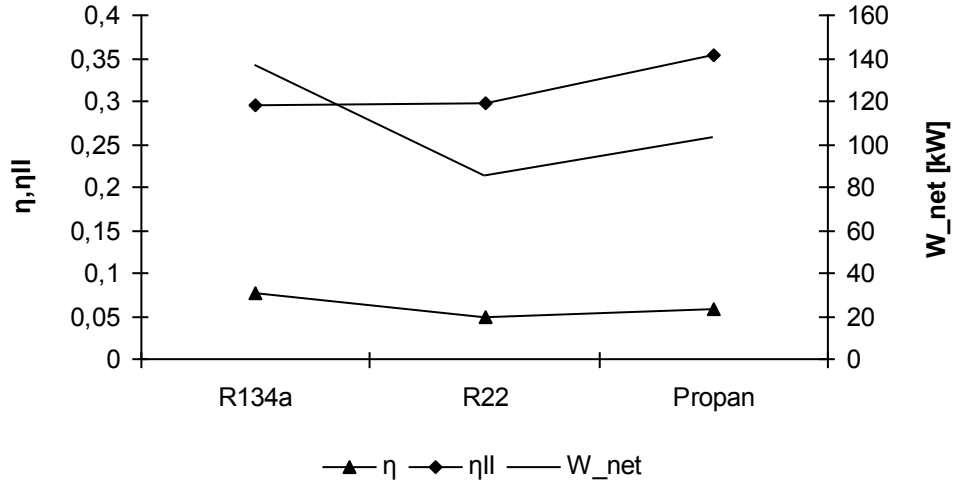
$P_1=250$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s olmak üzere izopentan, R123 ve R245fa organik iş akışkanları için  $W_{\text{net}}$ (kW)  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.4)



Şekil 5.4. Rejeneratif (geliştirilmiş) organik rankine çevrimi için izopentan, R123 ve R245fa karşılaştırması

İzopentan akışkanının verilen değerlerde elde edilen net iş değerinin, I.Kanun ve II. Kanun verimlerinin diğer iki akışkandan yüksek olduğu görülmüştür. Verilen başlangıç şartlarında basit organik rankine çevrimi iş akışkanı olarak izopentan organik akışkanını seçilebilir.

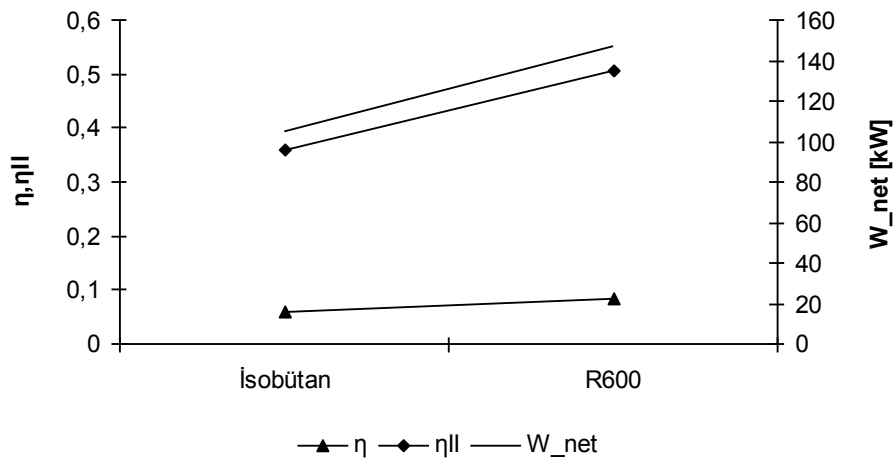
$P_1=1500$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s olmak üzere R134a, R22 ve propan organik iş akışkanları için  $W_{\text{net}}$ (kW),  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.5)



**Şekil 5.5.** Rejeneratif (geliştirilmiş) organik rankine çevrimi için R134a, R22 ve propan R245fa karşılaştırması

R134a akışkanının verilen değerlerde elde edilen net iş oranı, I.Kanun verimlerinin diğer iki akışkandan yüksek olduğu görülmüştür. Verilen başlangıç şartlarında organik rankine çevrimi iş akışkanı olarak R134a organik akışkanının seçilebilir.

$P_1=600$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s olmak üzere izobütan ve R600 organik iş akışkanları için  $W_{\text{net}}$  (kW),  $\eta$  ve  $\eta_{II}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.6)



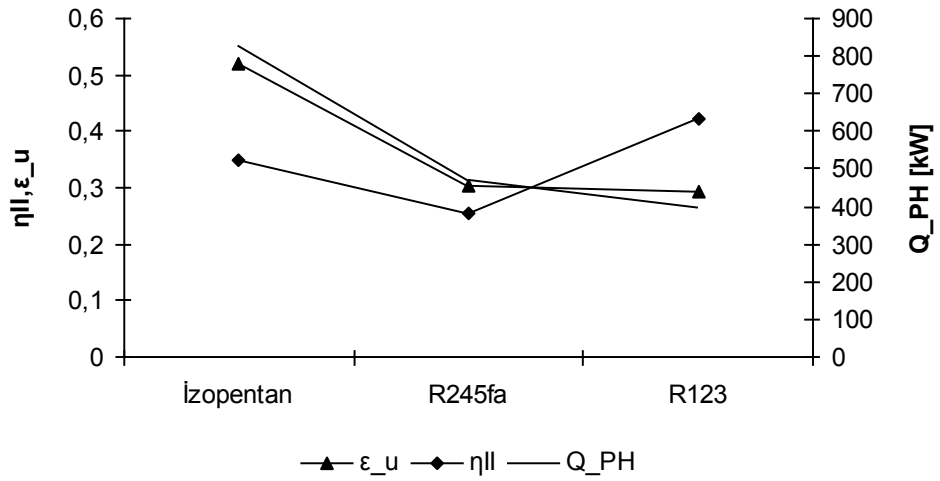
**Şekil 5.6.** Rejeneratif (geliştirilmiş) organik rankine çevrimi için R134a, R22 ve propan R245fa karşılaştırması

R600 akışkanının verilen değerlerde elde edilen net iş oranı, I.Kanun ve II. Kanun verimlerinin diğer akışkandan yüksek olduğu görülmüştür. Verilen başlangıç şartlarında rejeneratif organik rankine çevrimi iş akışkanı olarak R600 organik akışkanının seçilebilir.

Yapılan incelemeler sonucu R13 iş akışkanının  $T_1=72,6^\circ\text{C}$  sıcaklığında ideal olmadığı görülmüştür.

### 5.3. Organik Rankine Çevrimli Kojenerasyon Sistemi İçin İncelenen Akışkanların Karşılaştırması

$P_1=250$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s,  $m_2=1$ kg/s,  $m_3=1$ kg/s olmak üzere izopentan, R123 ve R245fa organik iş akışkanları için  $Q_{\text{PH}}$  (kW),  $\epsilon_u$  ve  $\eta_{\text{II}}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.7)

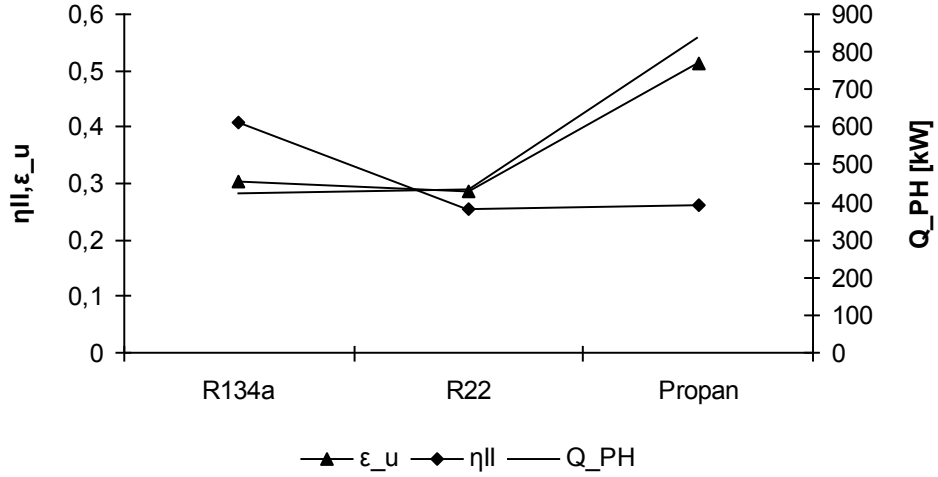


Şekil 5.7. Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi için izopentan, R123 ve R245fa karşılaştırması

İzopentan iş akışkanının yararlılık katsayısı ve proses ısıtıcıdan elde edilen değerlerin diğer iki akışkandan yüksek olduğu, R123 organik iş akışkanının ise II. Kanun veriminin izopentan ve R245fa akışkanlarından yüksek olduğu görülmüştür. Verilen

başlangıç şartlarında organik rankine çevrimli bir kojenerasyon sisteminde iş akışkanı olarak izopentan organik akışkanının seçilebilir.

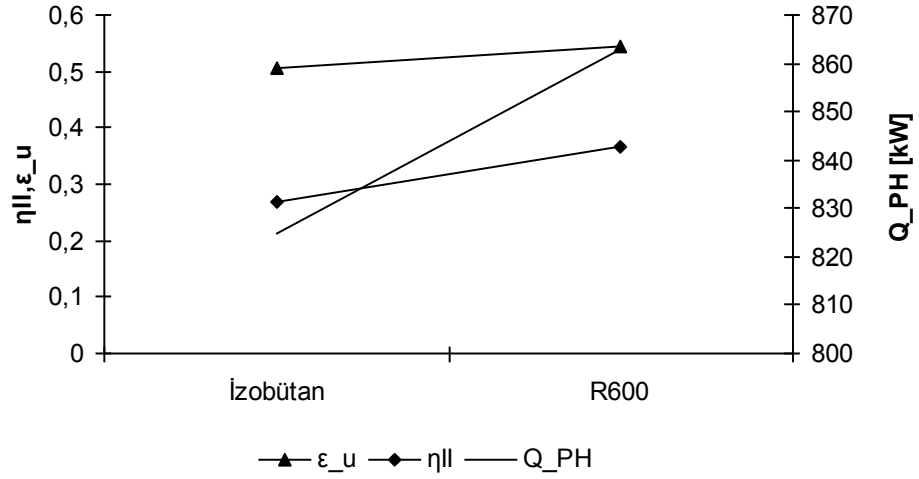
$P_1=1500$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s,  $m_2 =1\text{kg/s}$ ,  $m_3 =1\text{kg/s}$  olmak üzere R134a, R22 ve propan organik iş akışkanları için  $Q_{\text{PH}}$  (kW),  $\epsilon_u$  ve  $\eta_{\text{II}}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.8)



**Şekil 5.8.** Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi için izopentan, R123 ve R245fa karşılaştırması

Propan iş akışkanının yararlılık katsayısı ve proses ısıtıcıdan elde edilen değerlerin diğer iki akışkandan yüksek olduğu, R134a organik iş akışkanının ise II. Kanun veriminin propan ve R22 akışkanlarından yüksek olduğu görülmüştür. Verilen başlangıç şartlarında organik rankine çevrimli bir kojenerasyon sisteminde iş akışkanı olarak propan organik akışkanının seçilebilir.

$P_1=600$  kPa,  $T_1=72,6^\circ\text{C}$   $m_{\text{atıkakışkan}}=10$  kg/s,  $m_2 =1\text{kg/s}$ ,  $m_3 =1\text{kg/s}$  olmak üzere izobütan ve R600 organik iş akışkanları için  $Q_{\text{PH}}$  (kW),  $\epsilon_u$  ve  $\eta_{\text{II}}$  değerleri karşılaştırılmıştır. (bkz. Şekil 5.9)



**Şekil 5.9.** Organik rankine çevrimli kojenerasyon sistemi için izobütan ve R600 karşılaştırması

R600 organik iş akışkanının II. Kanun veriminin, yararlılık katsayısı ve proses ısıtıcıdan elde edilen değerlerin izobütan organik iş akışkanından yüksek olduğu görülmüştür. Verilen başlangıç şartlarında organik rankine çevrimli bir kojenerasyon sisteminde iş akışkanı olarak R600 organik akışkanının seçilebilir.

Sonuç itibariyle;

- 1- Organik rankine çevrimli sistemlerde türbin giriş sıcaklığı  $72,6^{\circ}\text{C}$  ve türbin giriş basıncı 250 kPa değerinde organik iş akışkanı için izopentan iş akışkanı seçilebilir.
- 2- Organik rankine çevrimli sistemlerde türbin giriş sıcaklığı  $72,6^{\circ}\text{C}$  ve türbin giriş basıncı 600 kPa değerinde organik iş akışkanı için R600 iş akışkanı seçilebilir.
- 3- Organik rankine çevrimli sistemlerde türbin giriş sıcaklığı  $72,6^{\circ}\text{C}$  ve türbin giriş basıncı 1500 kPa değerinde organik iş akışkanı için propan iş akışkanı seçilebilir.
- 4- R13 iş akışkanının  $T_1=72,6^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında ideal olmadığı görülmüştür.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Dai, Y., Wang, J., Gao, L. 2009.** Parametric optimization and comparative study of organic Rankine cycle (ORC) for low grade waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 50(3):576-582.
- Heberle, F., Brüggemann, D.2010.** Exergy based fluid selection for a geothermal Organic Rankine Cycle for combined heat and power generation. *Applied Thermal Engineering*, 30(11-12):1326-1332.
- Hettiarachchi, H.D. M., Golubovic, M., Worek, W. M. , Ikegami,Y.2007.** Optimum design criteria for an Organic Rankine cycle using low-temperature geothermal heat sources. *Energy*, 32(9): 1698-1706.
- Lee, K. M., Kuo, S. F. , Chien, M. L. , Shih, Y. S.1988.** Parameters analysis on organic rankine cycle energy recovery system. *Energy, Conversion and Management*, 28 (2):129-136.
- Liu, B.T., Chien, K.H., Wang ,C.C. 2004.** Effect of working fluids on organic Rankine cycle for waste heat recovery. *Energy*, 29(8): 1207-1217.
- Maizza, V., Maizza, A.2001.** Unconventional working fluids in organic Rankine-cycles for waste energy recovery systems. *Applied Thermal Engineering*, 21(3): 381-390.
- Najjar, Y. S.H., Radhwan, A.M.1988.** Cogeneration by combining gas turbine engine with organic rankine cycle. *Heat Recovery Systems and CHP*, 8 (3): 211-219.
- 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(12): 5049-5062.
- Schuster, A., Karellas, S., Kakaras, E., Spliethoff , H. 2009.** Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. *Applied Thermal Engineering*, 29(8-9): 1809-1817.
- Srinivasan, K.K., Mago, P. J., Krishnan, S.R. 2010.** Analysis of exhaust waste heat recovery from a dual fuel low temperature combustion engine using an Organic Rankine Cycle. *Energy*, 35(6): 2387-2399.
- Sun, J., Li ,W.2011.** Operation optimization of an organic rankine cycle (ORC) heat recovery power plant. *Applied Thermal Engineering*, 31(11-12): 2032-2041.
- Wei, D., Lu, X., Lu, Z., Gu, J.2007.** Performance analysis and optimization of organic Rankine cycle (ORC) for waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 48(4): 1113-1119.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Serdar ÖNAL

Doğum Yeri ve Tarihi : Pasinler 1983

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Atatürk Lisesi 2001

Lisans : Pamukkale Üni. Mak. Müh. 2007

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : 2011 Beyçelik-Gestamp  
2010-2011 Dekra End. Den. A.Ş.

İletişim (e-posta) : serdar\_wx@hotmail.com

Yayımları :