

T.C.

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PARABOLİK OLUK TİPİ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ
KOLLEKTÖRÜ ENTEGRELİ KALINA ÇEVİRİMİNİN
TERMODİNAMİK VE TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Merve ÖKTEN

Çorum 2021

**PARABOLİK OLUK TİPİ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ
ENTEĞRELİ KALINA ÇEVİRİMİNİN TERMODİNAMİK VE
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

Merve ÖKTEN

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN**

Çorum 2021

Merve ÖKTEN tarafından hazırlanan “Parabolik Oluk Tipi Fotovoltaik Güneş Kollektörü Entegreli Kalina Çeviriminin Termodinamik ve Termoekonomik Analizi” adlı tez çalışması 24/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN

Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN

Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun tarihli ve sayılı kararı ile Merve ÖKTEN’in Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans / Doktora derecesi alması onanmıştır.

Prof. Dr. Muhammed Asif YOLDAŞ
Müdür V.

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Merve Ökten

**PARABOLİK OLUK TİPİ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ
ENTEĞRELİ KALİNA ÇEVİRİMİNİN TERMODİNAMİK VE
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

Merve ÖKTEN

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Şubat 2021

ÖZET

Güneş panellerine entegre edilmiş güç çevrimlerinin kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Bu çalışmada parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü entegreli Kalina çevriminin termodinamik ve termoeconomik analizi incelenmiştir. Fotovoltaik güneş panelinin hesaplanması için bir boyutlu ısı direnç ağları ve Kalina çevriminin hesaplanması için ise termodinamik bağıntılar kullanılmıştır. Sistem çıktıları olarak türbinden elde edilen güç, panelden elde edilen güç, ısı verim ve ekserji verimleri, panel sıcaklığı, üretilen net güç, seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE) ve geri ödeme süresi belirlenmiştir. Bu parametreler değişken radyasyon miktarları, konsantrasyon oranı, fotovoltaik panel yüzey alanı, türbin izentropik verimi ve türbin giriş basıncı parametrelerinin değişimine bağlı olarak incelenmiştir. Isıl verimi en fazla etkileyen parametre güneş radyasyonu miktarı ve konsantrasyon oranıdır. Isıl verimin güneş radyasyonu miktarı parametresi için maksimum %17,8 olduğu, konsantrasyon oranı parametresi için ise maksimum %17,5 olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ekserji veriminin güneş radyasyonu miktarı parametresi için maksimum %19 olduğu ve konsantrasyon oranı parametresi için ise maksimum %19,5 olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde üretilen toplam elektriksel gücü en fazla etkileyen parametrenin %44 artış ile konsantrasyon oranı olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde mevcut sistemden optimum şartlar altında yaklaşık 28,5 kW toplam güç üretildiği ve üretilen bu gücün yaklaşık 21 kW'lık kısmının güneş

panelinden elde edildiği gözlemlenmiştir. 20 yıl tesis yaşam ömrüne sahip olan bu sistemin yaklaşık 3 yıl kadar geri ödeme süresi olduğu saptanan bir diğer sonuçtur. Bu da 20 yıllık bir süreçte önemli bir kazanç sağlanacağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik güneş paneli, Kalina çevrimi, Enerji, Ekserji, Ekserjiekonomi.

**THERMODYNAMIC AND THERMOECONOMIC ANALYSIS OF THE
CONCENTRATING PHOTOVOLTAIC THERMAL (CPV/T) SOLAR
COLLECTOR INTEGRATED WITH KALINA CYCLE**

Merve ÖKTEN

HİTİT UNIVERSITY
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE

February 2021

ABSTRACT

The usage of power cycles integrated with solar panels has been increased in recent years. In this study, the thermodynamic and thermoeconomic analysis of the Kalina cycle with concentrating photovoltaic thermal collector was investigated. Thermal resistance networks and thermodynamic equations were used to calculate the photovoltaic solar panel and Kalina cycle. Energy and exergy efficiencies, panel temperature, net power produced, leveled electricity cost, and payback time was determined as system outputs. These parameters were investigated depending on the turbine inlet pressure, concentration ratio, photovoltaic panel area, turbine efficiency, and variable radiation amount parameters. Thermal efficiency was most affected by solar radiation and concentration ratio. Thermal efficiency was obtained as a maximum of 17.5% depending on radiation and a maximum of 17.8% depending on the concentration ratio. Also, it was observed that the 2nd law efficiency was 19% maximum for the radiation and 19.5% for the concentration ratio. It was determined that the most dominant parameter affecting the total electrical power produced in the system was the concentration ratio with a 44% increase. Another finding, 28.5 kW of total power was produced from the system under optimum conditions and approximately 21 kW of this power was obtained from the solar panel. Finally, the system which has a facility life of 20 years, has a payback period of approximately 3 years. This has shown that a significant gain will be achieved in 20 years.

Keywords : Photovoltaic solar panel, Kalina cycle, Energy, Exergy, Exergy economy.

TEŞEKKÜR

Çalıőmam boyunca engin tecrübe ve bilgi birimiyle beni yönlendiren ve destek olan değerli danıőman hocam Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN' a tüm yardımlarından ötürü teőekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli aileme, bu süreçte desteğini ve yardımlarını esirgemeyen sevgili eőime sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
3. SİSTEMİN TANIMLANMASI.....	7
4. SİSTEMİN MODELLENMESİ.....	9
4.1. Parabolik Oluk Tipi Konsantre Fotovoltaik Güneş Kollektörünün Modellenmesi.....	9
4.1.1. PV hücreleri seçimi ve modellenmesi.....	21
4.2. Kalina Çevriminin Modellenmesi.....	23
4.3. Sistemin Termodinamik Analizi.....	24
4.3.1. Enerji Analizi.....	24
4.3.2. Ekserji Analizi.....	29
4.3.3. Ekserjiekonomi Analizi.....	34
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
6. SONUÇLAR.....	94
KAYNAKLAR.....	96

ÖZGEÇMİŞ 101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Parabolik oluk tipi güneş kollektörü için ısı transfer eşitlikleri(Rahbar ve ark., 2019)	13
Çizelge 4.2. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörünün hesaplamalarının yapılabilmesi için kullanılan veriler (Rahbar ve ark., 2019)	15
Çizelge 4.3. Çeşitli çap oranları için Nusselt sayıları (Rahbar ve ark., 2019)	17
Çizelge 4.4. Çeşitli Reynolds sayıları için sabit değerler (Rahbar ve ark., 2019)	20
Çizelge 4.5. Sistem çözümlemesinde kullanılan enerji eşitlikleri	26
Çizelge 4.6. Çevrimin çözümlenmesi için kullanılan giriş parametreleri	28
Çizelge 4.7. Sistem çözümlemesinde kullanılan ekserji eşitlikleri	32
Çizelge 4.8. Isı değiştirici ekipmanlar için ısı transfer katsayıları (Ghaebi ve ark., 2018)	37
Çizelge 4.9. Ekipmanların yatırım maliyeti eşitlikleri çizelgesi	38
Çizelge 4.10. Sistemin genel maliyet dengesi eşitlikleri çizelgesi	39
Çizelge 4.11. Yenilenebilir enerji kaynaklı tesis tiplerine göre uygulanacak alım fiyatları (Anonim, 2020)	42
Çizelge 5.1. Güneş enerjisi modeli için referans çalışma (Rahbar ve ark., 2019) ile mevcut çalışma arasındaki doğrulama değerleri	43
Çizelge 5.2. Kalina çevrimi modeli için referans çalışma (Ghaebi ve ark., 2018) ile mevcut çalışma arasındaki doğrulama değerleri	44
Çizelge 5.3. Tasarlanan sistemin çözümlenmesinde kullanılan veriler	45
Çizelge 5.4. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü entegreli Kalina çevriminin termodinamik özellikleri	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü entegreli Kalina çevriminin şematik gösterimi.....	7
Şekil 4.1. Kullanılan güneş paneli bileşenlerinin şematik gösterimi	9
Şekil 4.2. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü emici tüp geometrisinin enine kesit görünümü.....	10
Şekil 4.3. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü emici tüpünün termal direnç ağı	11
Şekil 4.4. InGaP/InGaAs/Ge çok katmanlı PV hücre modelinin şematik gösterimi..	22
Şekil 5.1. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak panel sıcaklığı ve panelden üretilen elektriksel gücün şematik gösterimi.....	47
Şekil 5.2. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi	48
Şekil 5.3. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi	49
Şekil 5.4. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi	50
Şekil 5.5. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak ısı verim değişiminin şematik gösterimi	51
Şekil 5.6. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi	52
Şekil 5.7. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak panel sıcaklığı ve panelden üretilen elektriksel gücün şematik gösterimi	53
Şekil 5.8. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi	54
Şekil 5.9. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi	55

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi	56
Şekil 5.11. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi	57
Şekil 5.12. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi	58
Şekil 5.13. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak panelden üretilen gücün değişiminin şematik gösterimi	59
Şekil 5.14. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi	60
Şekil 5.15. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi	61
Şekil 5.16. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi	62
Şekil 5.17. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi	63
Şekil 5.18. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi	64
Şekil 5.19. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi	65
Şekil 5.20. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi	66
Şekil 5.21. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi	67
Şekil 5.22. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi	68
Şekil 5.23. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi	69
Şekil 5.24. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi	70

Şekil	Sayfa
Şekil 5.25. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi	71
Şekil 5.26. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi	72
Şekil 5.27. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi	73
Şekil 5.28. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserji şematik gösterimi	74
Şekil 5.29. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	75
Şekil 5.30. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	76
Şekil 5.31. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserji şematik gösterimi	77
Şekil 5.32. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	78
Şekil 5.33. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	79
Şekil 5.34. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserji şematik gösterimi	80
Şekil 5.35. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	81
Şekil 5.36. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	82
Şekil 5.37. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	83
Şekil 5.38. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	84
Şekil 5.39. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	85

Şekil	Sayfa
Şekil 5.40. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi	86
Şekil 5.41. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak LCOE ve Pb değerleri şematik gösterimi	87
Şekil 5.42. Konsantrasyon oranına bağlı olarak LCOE ve Pb değerlerinin şematik gösterimi	88
Şekil 5.43. Fotovoltaik panel alanına bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri şematik gösterimi	89
Şekil 5.44. Türbin izentropik verimi değişimine bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri şematik gösterimi	90
Şekil 5.45. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri şematik gösterimi	91
Şekil 5.46. Parabolik oluk tipi fotovoltaik güneş kolektörü entegreli Kalina çevriminin yok olan ekserji grafiği	92
Şekil 5.47. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kolektörü entegreli Kalina çevrimine ait ekserji verimi grafiği	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Alan [m^2]
C_p	Sabit basınçta özgül ısı [kJ/kgK]
C_v	Sabit hacimde özgül ısı [kJ/kgK]
c	Birim başına düşen ekserji maliyeti [$\$/kWh$]
c_e	Elektrik satış fiyatı [$\$/kWh$]
\dot{C}	Ekserji maliyet oranı [$\$/h$]
D	Çap [m]
Ex	Ekserji [kW]
ex	Özgül ekserji [kJ/kg]
f	Sürtünme faktörü [-]
g	Yer çekimi ivmesi [m/s^2]
h	Özgül entalpi [kJ/kg], taşınım ile ısı transfer katsayısı [$W/m^2\ ^\circ C$]
I_G	Güneş ışını radyasyon şiddeti [W/m^2]
i_r	Yıllık faiz oranı [-]
k	Isıl iletkenlik katsayısı [$W/m\ ^\circ C$]
L	Uzunluk [m]

Simgeler

\dot{m}	Kütlesel debi [kg/s]
N	Sistemin yıllık çalışma saati [h]
n	Tesisin yaşam ömrü [yıl]
Nu	Nusselt Sayısı [-]
P	Basınç [kPa]
Pr	Prandtl sayısı [-]
Re	Reynolds Sayısı [-]
s	Özgül entropi [$kJ/kg K$]
T	Sıcaklık [$^{\circ}C$ veya K]
t	Zaman [s]
U	İç Enerji [$kW/m^2 K$]
\dot{Q}	Birim zamanda verilen ısı [kW]
V	Hız [m/s]
W_{ap}	Kollektör açıklığı [m]
\dot{W}	Güç [kW]
Z	Yatırım maliyeti [\$]
\dot{Z}	Maliyet Oranı [\$/h]
α	Emicilik katsayısı [-]
ε	Yayıcılık katsayısı [-]

Simgeler

η	Enerji verimi [-]
θ	Geliş açısı [$^{\circ}$]
λ	Dalga Boyu [nm]
μ	Vizkozite [kg/ms]
π	Pi Sayısı [-]
ρ	Yoğunluk [kg/m^3]
σ	Stefan-Boltzmann sabiti [$W/m^2^{\circ}C^4$]
τ	Geçirgenlik katsayısı [-]
ψ	Ekserji verimi [-]
$\eta_{is,Tür}$	Türbin izentropik verimi [-]

Kısaltmalar

amb	Ortam sıcaklığı
B&O	Bakım-onarım
Cr	Konsantrasyon miktarı
CRF	Sermaye geri kazanım faktörü
Ev	Evaporatör
em	Emici tüp
fz	Fiziksel
GK	Güneş kolektörü
HTF	Isı transfer sıvısı

Kısaltmalar

ke	Kinetik enerji
km	Kimyasal
K	Kondenser
KC	Kalina çevrimi
KO	Karışım Odası
LCOE	Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti
ORC	Organik Rankine çevrimi
Pb	Geri ödeme süresi
pe	Potansiyel enerji
Rej	Rejeneratör
Sep	Seperatör
S&Y	Sermaye ve yatırım
Tür	Türbin
ΔT_{PP}	Pinch noktası
ΔT_{LM}	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı

1. GİRİŞ

Toplumların refah düzeylerinin yükselmesi ve ekonomik gelişimleri için en önemli parametrelerden biri enerjidir. Dünyada sanayileşme, teknolojik gelişmelerin hız kazanması, nüfus artışı vb. nedenlerle enerji ihtiyacı ve rekabeti günden güne artmaktadır. Bu enerji ihtiyacının karşılanması için en çok fosil yakıtlardan yararlanılmaktadır. Fosil yakıtların tükenbilir olduğu, dışa bağımlılığı artırdığı, çevre ve hava kirliliğini beraberinde getirdiği ve sera gazı emisyonunu artırarak iklim değişikliklerine neden olduğu bilinmektedir. Yerkürenin, sanayi öncesi dönemlere göre 1,5 °C daha sıcak olması durumunda dünya birçok olumsuz olay ile karşı karşıya kalacaktır. Paris anlaşması kapsamında, anlaşmaya dahil olan ülkelerin verdiği taahhütler bu 1,5 °C sınırlandırmasına yetmemiştir ve Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) hazırladığı, '1,5 °C Küresel Isınma Özel Raporu'na göre dünyanın sanayi öncesi dönemine kıyasla 1,0 °C ısındığı tespit edilmiştir. Bu 1,0 °C ısınma, birçok bölgede kuraklık ve sel gibi doğa olaylarına, deniz seviyelerinde yükselmeye, buzullarda erimeye neden olmuştur. Küresel emisyonların 2030 yılına kadar %45 azaltılması ve 2050 yılına kadar sıfır emisyona ulaşılması gerekmektedir. Bunların mümkün olmaması durumunda ise aşırı sıcaklar, tatlı su kaynaklarının yok olmasına bağlı oluşacak su kıtlıkları, ekolojik hasarların meydana gelmesi, toprakların elverişsizleşmesi, güvenilir gıdaya ulaşılama vb. birçok felaket senaryosu bizleri beklemektedir (Anonim, 2020). Tüm bunların yaşanma ihtimali ülkeleri alternatif enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir.

Yenilenebilir enerji, kaynağı doğa olan ve sürekli doğal süreçler tarafından sürdürülebilir bir döngüye yani yenilenebilme özelliğine sahip olan enerji kaynağıdır ve güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, dalga enerjisi, hidroelektrik enerji ve rüzgâr enerjisi gibi çeşitleri bulunmaktadır. Türkiye, fosil yakıtlar açısından her ne kadar dışa bağımlı bir ülke olsa da ülkenin jeopolitik konumu gereği enerji hatlarında bir koridor görevi üstlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşılabilirliğinin yüksek olması çok önemli bir avantajıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en yüksek potansiyele sahip enerji kaynağı ise güneştir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon tepkimeleri sonucundan açığa çıkan ışınım enerjisidir. Üstelik dünya, bu enerjinin henüz çok küçük bir kısmını kullanabilmektedir. Güneş santrallerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, hava durumuna bağlı olarak güneş ışınım şiddetinin değişkenlik göstermesi ve bu nedenle enerjinin depolanma gereksinimi olması, bunun da ek bir maliyet ortaya çıkarması, paneller için gölge düşmeyen geniş alanlara ihtiyaç duyulması bu kaynağın bazı önemli dezavantajlarıdır. Ancak güneşin her zaman ulaşabilen sonsuz bir enerji kaynağı olması, ısı ve elektrik üretimi sayesinde birçok kullanım alanını desteklemesi, tesislerin düzenli temizliğinin yapılması durumunda bakım-onarım maliyetlerinin düşük olması, geri ödeme sürelerinin kısa olması ve en önemlisi enerji üretimi sırasında atmosfere zararı olmayan çevre dostu bir enerji kaynağı olması özellikleri dezavantajlarının çok önüne geçmektedir. Teknolojinin de verdiği imkanlar ile birlikte bahsedilen dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla yapılan çalışmalar her geçen gün umut verici olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisine nasıl dönüştürüleceği de bir başka önemli husustur. Rankine çevrimi prensibi ile çalışan ancak çalışma akışkanı olarak düşük kaynama noktasına sahip organik akışkanlar kullanılan Organik Rankine çevrimi ve Kalina çevrimi düşük sıcaklıktaki kaynaklardan ısı geri kazanımı amacıyla kullanılabilir çevrimlerdir.

Kalina çevrimi 1980'li yıllarda Alexander I. Kalina tarafından çalışma sıvısı olarak $NH_3 - H_2O$ karışımı kullanılan ve düşük sıcaklıkta atık ısı bulunan sistemlerden maksimum verim elde etmek amacıyla tasarlanmış bir çevrimdir (Kalina, 1982). Temel olarak geliştirilmiş bir Rankine döngüsüdür. Türbinden güç çıkışını en üst seviyeye çıkarmak ve pompalara güç girişini azaltmak amacıyla çalışma sıvısı olarak zeotropik bir $NH_3 - H_2O$ karışımı kullanılmaktadır.

Kalina çevriminde $NH_3 - H_2O$ karışımının kullanımının avantajları aşağıda belirtilmiştir (Mirolli, 2006, 2007; Ogriseck, 2009; Zhang ve ark., 2012);

- Saf su ve saf amonyak sabit kaynama ve yoğuşma sıcaklığına sahipken, $NH_3 - H_2O$ karışımı değişken kaynama ve yoğuşma sıcaklıklarına sahiptir. Bu da enerji santralinde ısı transfer süreçlerindeki kayıpların azaltılarak üretilen toplam gücün ve çevrimin veriminin artmasına katkıda bulunur.
- Su ve amonyağın termofiziksel özellikleri sabitken, karışım halinde kullanıldığında amonyak derişiminin değiştirilmesi, karışımın termofiziksel özellikleri üzerinde değişiklikler yapılmasına imkân sağlar.
- En önemli özelliklerinden biri donma sıcaklığıdır. Saf Su $0^\circ C$ sıcaklığında ve saf amonyak $-78^\circ C$ sıcaklığında donarken, karışım çok daha düşük donma sıcaklığına sahiptir.
- Çalışma sıvısı olarak amonyak kullanılması daha düşük sıcaklıklarda kaynamanın başlamasına neden olarak yüksek basınçta atık ısının daha verimli kullanılmasını sağlar. Çalışma sıvısı olarak karışımın kullanılması ise bileşimin damıtma yoluyla çeşitlendirilmesine izin verir, böylece kazan için zengin bileşimli karışım ve düşük basınçlı kondenser için zayıf bileşimli bir karışım elde edilir.
- Amonyak ve suyun moleköl ağırlıkları (sırasıyla 17,03 ve 18,015) birbirine yakın değerdedir, bu nedenle $NH_3 - H_2O$ karışımı buhar ile benzer şekilde davranarak karışımın standart buhar türbini elemanlarında da kullanılmasına izin verir.
- Standart karbon çeliği ve standart yüksek sıcaklık alaşımli malzemelerin amonyak ile kullanımının mümkün olması bir diğer önemli avantajdır. Yalnızca bakır ve bakır alaşımli ile birlikte kullanımı önerilmemektedir.
- Amonyak kolayca temin edilebilir ve organik akışkanlarla karşılaştırıldığında oldukça ucuz bir malzemedir.
- Çevreye zararlı değildir.
- Endüstriyel tesis uygulamalarında amonyak kullanımı için gerekli güvenlik işlemleri mevcuttur.

Bir sonraki bölümde bu konu ile ilgili literatür çalışmalarına yer verilecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

PV panellerin kullanıldığı birçok sistem yıllar içerisinde oldukça gelişime uğramıştır. Bu çalışmaya konu olan PVT-KFVT (fotovoltaik ve konsantre fotovoltaik termal sistemler) panellerin güç çevrimleri ile birlikte kullanılması ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar bu bölümde incelenecektir.

PVT ve KFVT panelden elde edilen atık ısı literatürde gerek güç çevrimlerinde gerek ısıtma ve soğutma çevrimlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Chen ve ark. (2011), KFVT' den elde edilen atık ısıyı, ısı pompasının evaporatörü olarak kullanmış, panel soğutma sıvısı olarak R134a tercih etmiş ve değişen parametreler olarak güneş radyasyonu, kondenser besleme suyu sıcaklığı ve suyun kütleli debisini kullanmışlardır. Güneş radyasyonunun artmasına bağlı olarak sistem performans katsayısının (COP) arttığı, kondenser besleme suyu sıcaklığı ve kütleli debinin artmasına bağlı olarak performans katsayısının (COP) azaldığını saptamışlardır (Chen ve ark., 2011). Han ve ark. (2015), KFVT sistemden elde ettikleri atık ısıyı Organik Rankine Çevrimi ile birleştirerek hibrit bir sistem oluşturmuşlardır. Yapmış oldukları parametrik çalışmaya göre elektriksel verim, 500 güneş ışını için %15,6 kadar artmıştır. Ancak 500-2000 güneş ışını aralığında toplam verim %7,2 kadar azalmıştır (Han ve ark., 2015). Tourkov ve Schaefer (2015), farklı organik Rankine çevrimleri ve iş akışkanları için PVT-ORC çevrimini incelemişlerdir. Sonuçlar en verimli hal için, toplam verimin %45' lere ulaştığını göstermiştir (Tourkov ve Schaefer, 2015). Kosmadakis ve ark. (2011), KFVT-ORC çevrimini farklı konsantrasyon oranları, farklı güneş radyasyonu değerleri ve farklı fotovoltaik modül sıcaklıkları için kıyaslamışlardır. İş akışkanı olarak R245fa kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar optimize edildiğinde, ortalama verimin %9,8 ile %11,8 arttığını tespit etmişlerdir (Kosmadakis ve ark., 2011). Qu ve ark. (2018), KFVT-Kalina çevrimi entegre edilmiş soğutucu chiller sistemini incelemişlerdir. Çalışmada KFVT' den elde edilen atık ısı LiBr-Su karışımı kullanılan Chiller'in evaporatöründe buharlaştırma amaçlı ve sonrasında Kalina çevriminde türbinden çıkan akışkanı soğutma amaçlı kullanılmıştır. Toplam sistem verimi %2-3 aralığında artarken KFVT panelin elektriksel verimi %4-24 aralığında artmıştır (Qu ve ark., 2018). Qu ve ark. (2017)

nın bir diğerk çalışmasında KFVT-Kalina çevrimini incelemişlerdir. Çalışma farklı PV hücresi sıcaklığı, güneş radyasyon miktarı ve konsantrasyon oranı için gerçekteşirilmiiştir. Maksimum PV modül verimi, 60 konsantrasyon oranı ve 60 derece fotovoltaiik hücre sıcaklığı için %19,5 olarak elde edilmiştir. Ayrıca güneş radyasyonunun artışına bağlı olarak PV modül veriminin arttığı görülmüştür (Qu ve ark., 2017). Kurşun (2020), yaptığı bir diğerk çalışmada PV panelini, ters akışlı reküparatör tip bir ısı değiştiricisi olarak kullanmış ve çoklu üretim tesisi tasarımı yapmıştır. Burada jeotermal kaynaklı ışıyı Rankine çevriminin evaporatörü olarak kullanmış, biraz önce bahsedilen PV paneli de bir ön ısıtıcı olarak kullanmış ve verim artışını hedeflemiştir. Değişken parametreler olarak güneş radyasyon miktarı, PV panel tipi, konsantrasyon oranı, kütleel debi, panel uzunluğu kullanmıştır. Sonuçlar, parametrelerin değişimine bağlı olarak net elektrik üretiminin %1,3-44,2 oranında arttığını göstermiştir (Kurşun, 2020). Bamisile ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada KFVT paneli sıcak su, hidrojen üretimi, sıcak hava üretimi, elektrik üretimi ve soğutma amaçlı çoklu üretim sistemlerinde kullanmışlardır. Burada bu sistemi iki farklı sistem için denemişlerdir. Bunların birinde Kalina çevrimi varken diğerinde yoktur. Elde edilen sonuçlar çoklu üretim sistemine Kalina çevriminin entegre edilmesiyle ısı veriminin yaklaşık %70 oranında arttığını gözlemlemişlerdir (Bamisile ve ark., 2020).

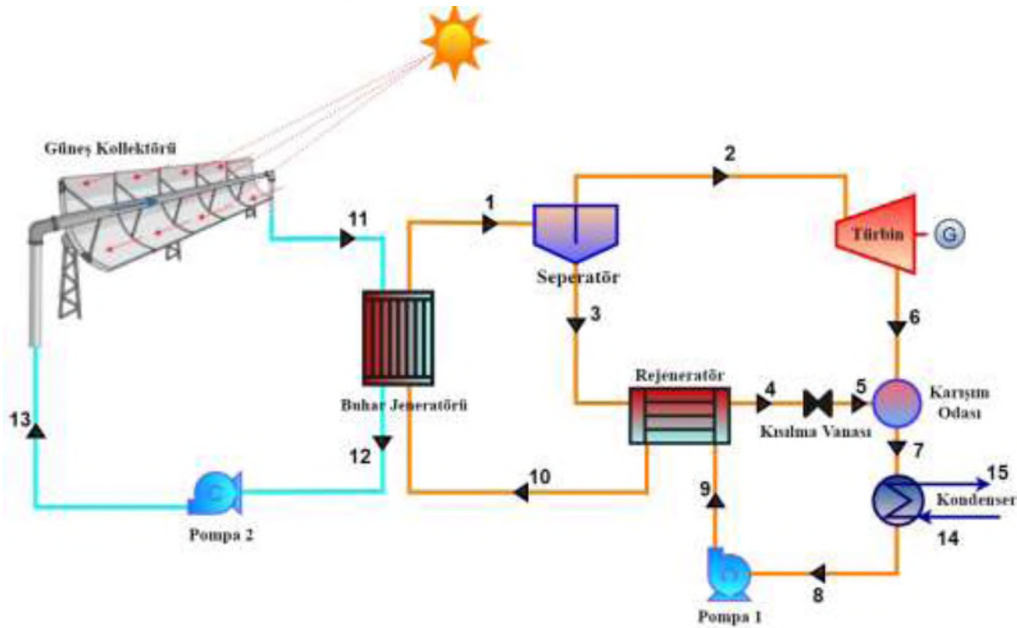
Yukarıda, KFVT entegre edilmiş güç çevrimi ile ilgili güncel çalışmalara yer verilmiştir. şimdi ise bu çalışmayı konu alan ve literatürde az sayıda bulunan parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaiik güneş kollektörü hakkında yapılan çalışmalardan bahsedilecektir. Ben Youssef ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada parabolik oluk tipi kollektörün tekstil endüstrisi uygulamasında kullanımını sayısal olarak incelemişlerdir. Sistem çıktısı olarak elektriksel güç ve sıcak su elde edilmiştir. Sistem parametreleri olarak ise kütleel debi, akışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı ve ısı kayıp katsayısı kullanılmıştır. Sonuçlar radyasyon miktarının artışına bağlı olarak elektriksel ve termal verimin yükseldiğini göstermiştir. Ayrıca düşük kütleel debilerde ısı transferinin artışına bağlı olarak yine elektriksel ve termal verimin yükseldiğini gözlemlemişlerdir (Ben Youssef ve ark., 2018). Rahbar ve ark. (2019), PV-ORC çevrimi için nanoakışkan olarak Su-Ag akışkanını ve Terminol VP-

1' i PV panel soğutucu akışkanı olarak kullanmışlardır. Ayrıca Rankine çevrimi iş akışkanı olarak R133zd kullanmışlardır. Sonuçlar nanoakışkan bazlı çevrimin toplam verimi %2,71 artırdığını göstermiştir (Rahbar ve ark., 2019). Srivastava ve Reddy (2017), yaptıkları çalışmada emici tüpün iç tarafında bulunan ve içerisinden iş akışkanı geçen borunun dış yüzeyini belirli aralıklarla plaka şeklindeki PV hücreleri ile kaplamışlardır. İş akışkanı olarak Al_2O_3 -Su nanoakışkanı ve Syltherm-800 kullanmışlardır. Çalışma farklı tasarım parametreleri için gerçekleştirilmiş ve maksimum verimler iki PV hücreli Syltherm-800 için yaklaşık %78,2 termal verim, üç PV hücreli Al_2O_3 -Su için %20,88 elektriksel verim şeklinde elde etmişlerdir (Srivastava ve Reddy, 2017).

Kalina çevriminin bahsedilen avantajlarından dolayı sonsuz bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden maksimum derecede yararlanabilmek için, bu çalışma kapsamında parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü entegreli Kalina çevrimi tasarlanmıştır. Tasarım parametreleri olarak konsantrasyon oranı, güneş ışınım şiddeti, türbin giriş basıncı, türbin izentropik verimi değişimi ve panel alanına bağlı olarak elde edilen net elektriksel güç, ısı verim ve ekserji verimleri, geri dönüş süresi (Pb) ve seviyelendirilmiş elektrik maliyeti belirlenmiştir. Bu çalışmada literatürden farklı olarak, fotovoltaik hücrelerin silindirik yerleştirilmesinden dolayı tüm yüzeyinden güneş ışınını emebilen parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü kullanılmış ve panelden elde edilen atık ısı, düşük ve orta sıcaklıklarda verimli olduğu bilinen Kalina çevrimine kaynak olarak kullanılmıştır.

3. SİSTEMİN TANIMLANMASI

Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi, modellenen sistem temel olarak iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi parabolik oluk tipi fotovoltaik güneş kollektörü, ikincisi ise Kalina çevrimidir. Birinci sistemdeki parabolik oluk tipi fotovoltaik güneş kollektörü hücreleri, kollektör veriminin artırılması için bir ısı transfer sıvısı ile soğutulur. Güneş kollektöründen ısı çeken ısı transfer sıvısı, Kalina çevriminde kullanılmak üzere çevrimin buhar jeneratörüne bağlanır. Isı transfer sıvısından ısı çeken $NH_3 - H_2O$ karışımı Kalina çevrimi içerisinde buharlaşır. Buharlaşan $NH_3 - H_2O$ karışımı seperatöre girerek zengin ve fakir karışım olarak ikiye ayrılır. Elde edilen zengin $NH_3 - H_2O$ karışımı türbine girerek güç üretiminin gerçekleştirilmesini sağlar. Fakir $NH_3 - H_2O$ karışımı ise seperatörden çıkarak rejeneratöre girer ve sonrasında kısılma vanasında türbin basıncına genişleyerek karışım odasında türbinden çıkan zengin $NH_3 - H_2O$ karışımı ile birleşir. Sonrasında $NH_3 - H_2O$ karışımı kondensere girerek doyma sıcaklığına kadar soğutulur ve bir pompa yardımıyla basıncı artırılır. Son olarak rejeneratörde ön ısıtmaya maruz kalan karışım tekrar buhar jeneratörüne gider ve çevrim tamamlanmış olur.



Şekil 3.1. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü entegreli Kalina çevriminin şematik gösterimi

Bu çalışmada, önerilen sistem ile birlikte güneş panellerinin veriminin düşmesinde önemli bir etken olan panel sıcaklığı, ısı transfer sıvısı olarak Terminol VP-1 kullanılarak düşürülmüştür. Aynı zamanda güneş panelinden çektiği ısı ile sıcaklığı artan ısı transfer sıvısı, Kalina çevriminin ısı kaynağı olarak kullanılmış ve böylece hibrit bir sistem oluşturulmuştur.

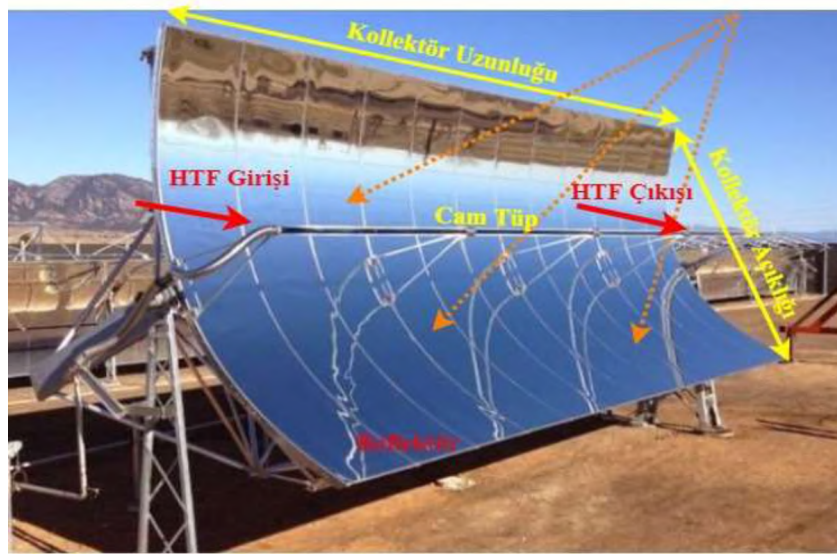
Bundan sonraki bölümlerde ise modelin çözümlenmesi için kullanılan teorik hesaplamalar anlatılacaktır. Bu teorik hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için kullanılan kabuller aşağıdaki gibidir.

- Sistemde görülen her bir bileşen zamandan bağımsız olarak modellenmiştir.
- KFVT dışında analiz edilen her bir kontrol hacmi adyabatik kabul edilmiştir.
- Modelde kullanılan boru hattı ve ısı değiştiriciler içerisindeki basınç düşümleri ihmal edilmiştir.
- Kalina çevrimi sisteminde sürekli akışlı sürekli açık sistem (SASA) kabulü yapılmıştır.
- Çevrimi oluşturan elemanlardaki kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.
- Kısılma vanası boyunca akış izentalpik kabul edilmiştir.
- Kollektör modeli, sıcaklık değişiminin açısız ve uzunlamasına alıcı yönlerinden bağımsız olduğu ve yalnızca radyal yönün işlevi olduğu 1 boyutlu modelleme varsayımına dayanmaktadır.
- Gerçekte bölgesel konsantrasyon oranının emici tüp etrafında eşit dağılımlı olmadığı, üst kısmın alt kısımdan daha düşük konsantrasyona sahip olduğu ve bu nedenle ışınların PV hücrelerine eşit dağılımlı gelmediği bilinmektedir. Ancak hesaplamalar yapılırken alıcı tüp çevresinde konsantrasyon oranının eşit dağılımlı olduğu ve güneş ışınlarının PV hücrelerine eşit dağılımlı geldiği varsayımı yapılmıştır (Rahbar ve ark., 2019).

4. SİSTEMİN MODELLENMESİ

4.1. Parabolik Oluk Tipi Konsantre Fotovoltaik Güneş Kollektörünün Modellenmesi

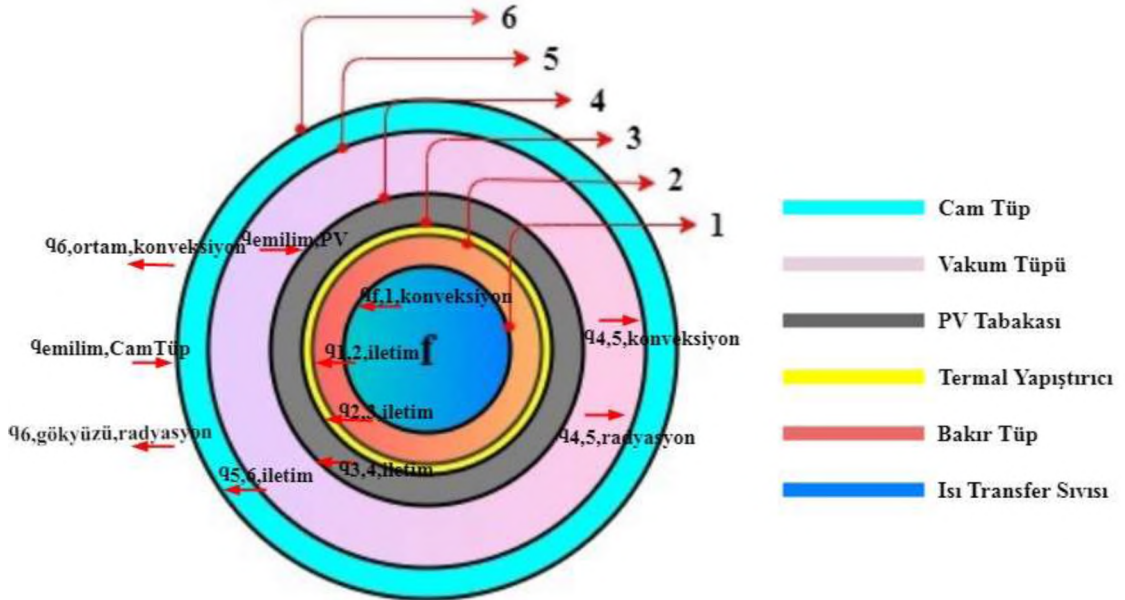
Daha önce de belirtildiği gibi güneş paneli olarak parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü kullanılmıştır. Bu kollektörün seçilmesindeki temel amaç, bir konsantrator vasıtasıyla güneş ışınlarının panelin tüm yüzeyine yansıtılabilmesi özelliğidir. Bu çalışmada Sandia Ulusal Laboratuvarlarında (SNL) farklı koşullar altında özellikleri incelenmiş güneş panelinin verilerinden faydalanılmıştır (Dudley ve ark., 1994). Kullanılan güneş panelinin bileşenleri şekil 4.1’ de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan güneş paneli bileşenlerinin şematik gösterimi

Şekilde görülen cam tüp içerisinde ısı transfer sıvısı (HTF) geçmekte ve paneli soğutmaktadır. Bu çalışmada ısı transfer sıvısı olarak Terminol VP-1 kullanılmıştır. Terminol VP-1’ in termofiziksel özellikleri ise EES (Engineering Equation Solver) bilgisayar yazılımı vasıtasıyla elde edilmiştir (Klein, 2017).

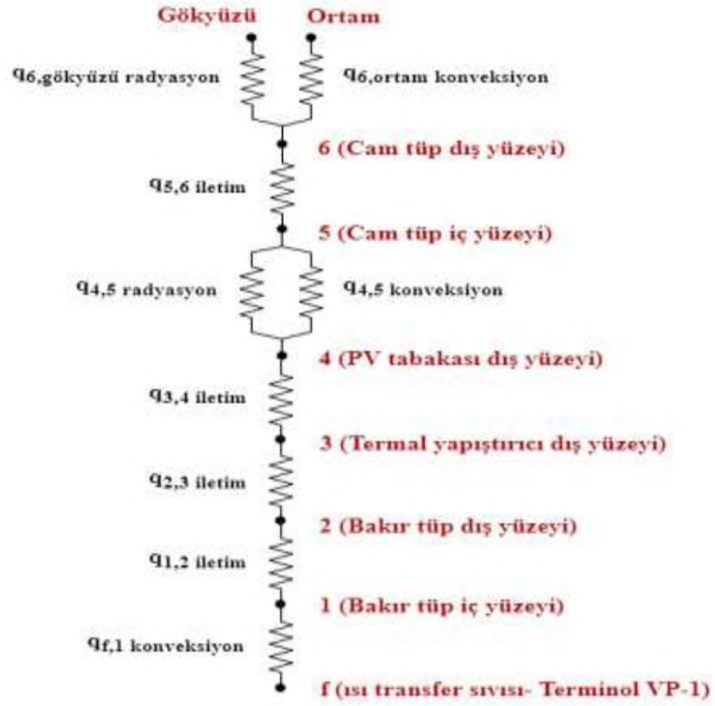
Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörüne ait emici tüp geometrisinin enine kesit görünümü Şekil 4.2’ de belirtilmiştir. Emici tüpün dış kısmı cam bir kaplama ile kaplanmış, hemen altına PV hücreleri yerleştirilmiştir. Bu iki katman arasında ise vakum bölgesi bulunmaktadır. Güneş hücreleri bakır boruya termal yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve bakır boru içerisinden ısı transfer sıvısı geçirilerek panel soğutulmuştur. Burada gelen güneş ışınları vasıtasıyla oluşan ısının bir kısmı güneş hücreleri tarafından emilerek elektrik enerjisine dönüştürülürken bir diğer kısmı ise radyasyon ve konveksiyon etkisi ile çevre ortama kaybedilmektedir. Panele gelen enerjinin tamamı elektrik enerjisine dönüştürülemediğinden, bir kısmı bakır boru üzerinden iletim ile ısı transfer sıvısına aktarılmaktadır.



Şekil 4.2. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü emici tüp geometrisinin enine kesit görünümü

Emici tüpün tamamı göz önüne alındığında her bir katman arasındaki ısı transferi, enerjinin korunum ilkesine dayanarak bir boyutlu (1-B) termal direnç ağları yöntemiyle hesaplanmıştır. 1-B termal direnç ağları yöntemi 2-B ve 3-B yöntemlere yaklaşım olarak geliştirilmiş hızlı ve kolay sonuç veren bir yöntemdir. Literatür incelendiğinde 1-B direnç ağları yöntemi, konsantrasyon oranının 1500 seviyelerine kadar kabul edilebilir oranda hata payı ile tahminler yapılabildiğini göstermiştir (Baig ve ark., 2012; Ben or ve Appelbaum, 2013). Parabolik oluk tipi konsantre

fotovoltaik güneş kollektörü emici tüpünün termal direnç ağı aşağıda Şekil 4.3' te belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörü emici tüpünün termal direnç ağı

Şekil 4.2' de görülen katmanlar arasındaki ısı transfer mekanizmaları enerji korunum ilkesine dayandırılarak Eş. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7' de verilmiştir (Rahbar ve ark., 2019).

$$q_{HTF} = q_{f,1,konveksiyon} \quad (4.1)$$

$$q_{f,1,konveksiyon} = q_{1,2,iletim} \quad (4.2)$$

$$q_{1,2,iletim} + q_{dk} = q_{2,3,iletim} \quad (4.3)$$

$$q_{2,3,iletim} = q_{3,4,iletim} \quad (4.4)$$

$$q_{emilim,PV} = q_{3,4,iletim} + q_{4,5,radyasyon} + q_{4,5,konveksiyon} \quad (4.5)$$

$$q_{5,6,iletim} = q_{4,5,radyasyon} + q_{4,5,konveksiyon} \quad (4.6)$$

$$q_{5,6,iletim} + q_{emilim,camtup} = q_{6,ortam,konveksiyon} + q_{6,gokyuzu,radyasyon} \quad (4.7)$$

Emici tüp desteklerindeki kayıplar ise;

$$q_{dk} = \left(\sqrt{h_{dk} P_{dk} k_{dk} A_{dk} \frac{T_{dk} - T_{ortam}}{4}} \right) \quad (4.8)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir (Forristall, 2003).

Eşitlikte yer alan P_{dk} , destek kollarının çevre uzunluğu ölçüsüdür ve 0,2032 m' dir. A_{dk} , destek kolu alan ölçüsüdür ve $1,613 * 10^{-4} m^2$ ' dir. Ayrıca destek kolları karbon çeliğinden üretilmiştir ve ısıl iletkenlik değeri k_{dk} , $48 W/m^{\circ}C$ ' dir (Dudley ve ark., 1994) ve destek kolları sıcaklığı, emici tüp sıcaklığından $10^{\circ}C$ daha az olduğu varsayılmıştır (Bellos ve Tzivanidis, 2017).

Bu çalışmada, parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektöründe emici tüp içindeki sıcaklığın, ısı transfer sıvısının giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması olduğu varsayılmış ve meteorolojik verilerin sabit olduğu kabul edilmiştir. Isı transfer eşitlikleri ve ısı transfer sıvısı sıcaklığı (giriş, çıkış ve ortalama) hesaplamaları Çizelge 4.1' de gösterildiği gibi belirlenmektedir.

Parabolik oluk tipi güneş kollektörü için ısı transfer eşitlikleri(Rahbar ve ark., 2019)

Çizelge 4.1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü için ısı transfer eşitlikleri(Rahbar ve ark., 2019)

Eşitlikler	Açıklamalar	No
$T_f = \frac{T_{HTF,\xi} + T_{HTF,g}}{2}$	HTF ortalama sıcaklık değeri	(4.9)
$q_{HTF} = m_{HTF} c_{p,HTF} (T_{HTF,\xi} - T_{HTF,g})$	HTF tarafından kaybedilen ısı miktarı	(4.10)
$q_{f,1,konveksiyon} = h_{f1} \pi D_1 (T_1 - T_f) L_{em}$	HTF ile bakır tüp arasında konveksiyon ile ısı transferi	(4.11)
$q_{1,2,iletim} = \frac{k_{em} 2\pi (T_2 - T_1)}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)} L_{em}$	Bakır tüpün iç ve dış düzeyi arasında iletim ile ısı transferi	(4.12)
$q_{2,3,iletim} = \frac{k_{ty} 2\pi (T_3 - T_2)}{\ln\left(\frac{D_3}{D_2}\right)} L_{em}$	Bakır tüpün dış yüzeyi ile termal yapıştırıcı arasındaki iletim ile ısı transferi	(4.13)
$q_{3,4,iletim} = \frac{k_{PV} 2\pi (T_4 - T_3)}{\ln\left(\frac{D_4}{D_3}\right)} L_{em}$	Termal yapıştırıcı ile PV tabakası arasındaki iletim ile ısı transferi	(4.14)
$q_{4,5,konveksiyon} = h_{4,5} \pi D_4 (T_4 - T_5) L_{em}$	Vakum koşullarında PV tabakasının dış yüzeyi ile cam tüpün iç yüzeyi arasındaki konveksiyon ile ısı transferi ($P_{vakum} \leq 0,1333 \text{ kpa}$ olduğu durum için)	(4.15)

Çizelge 4.1. (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kolektörü için ısı transfer eşitlikleri (Rahbar ve ark., 2019)

$q_{4,5,konveksiyon} = \left[\frac{2,425k_{4,5}(T_4 - T_5) \left(\frac{Pr_{4,5} Ra_{D_4}}{0,861 + Pr_{4,5}} \right)^{0,25}}{\left(1 + \left(\frac{D_4}{D_5} \right)^{3/5} \right)^{5/4}} \right] L_{em}$	<p>Vakum koşullarında PV tabakasının dış yüzeyi ile cam tüpün iç yüzeyi arasındaki konveksiyon ile ısı transferi ($P_{vakum} > 0,1333 \text{ kPa}$ olduğu durum için)</p>	(4.16)
$q_{4,5,radyasyon} = \pi D_4 \sigma \frac{(T_4)^4 - (T_5)^4}{\left(\frac{1}{\epsilon_{PV}} \right) + \left(\frac{D_4}{D_5} \right) \left(\frac{1}{\epsilon_{camtüp}} - 1 \right)} L_{em}$	<p>PV tabakasının dış yüzeyi ile cam tüpün iç yüzeyi arasındaki radyasyon ile ısı transferi</p>	(4.17)
$q_{5,6,iletim} = \frac{k_{camtüp} 2\pi (T_5 - T_6)}{\ln \left(\frac{D_6}{D_5} \right)} L_{em}$	<p>Cam tüpün iç ve dış yüzeyi arasındaki iletim ile ısı transferi</p>	(4.18)
$q_{6,ortam,konveksiyon} = h_{amb} \pi D_6 (T_6 - T_{amb}) L_{em}$	<p>Cam tüpün dış yüzeyi ile ortam arasındaki konveksiyon ile ısı transferi</p>	(4.19)
$q_{6,gökyüzü,radyasyon} = \sigma \epsilon_{camtüp} \pi D_6 (T_6^4 - T_{gökyüzü}^4) L_{em}$	<p>Cam tüpün dış yüzeyi ile ortam arasındaki radyasyon ile ısı transferi</p>	(4.20)
$q_{emilim,PV} = I_G K_{GAD} \pi D_6 C r \eta_{optik} \tau_{camtüp} \alpha_{PV} (1 - \eta_{PV}) L_{em}$	<p>PV tabakası tarafından emilen güneş radyasyonu</p>	(4.21)
$q_{emilim,camtüp} = I_G K_{GAD} \pi D_6 C r \eta_{optik} \alpha_{camtüp} L_{em}$	<p>Cam tüp tarafından emilen güneş radyasyonu</p>	(4.22)

Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kolektörünün Çizelge 4.1' de yer alan hesaplamalarının yapılabilmesi için gerekli veriler ise Çizelge 4.2' de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kolektörünün hesaplamalarının yapılabilmesi için kullanılan veriler (Rahbar ve ark., 2019)

Parametreler	Değer Aralığı	Seçilen Değerler
Kollektör açıklığı (W_{ap})- [m]	1,5-5	5
Emici tüp uzunluğu (L_{em})- [m]	10-100	50
Bakır tüp iç çap ölçüsü (D_1)- [m]	0,03-0,1	0,03
Bakır tüp dış çap ölçüsü (D_2)- [m]	$D_1 +0,01$	0,04
Termal yapıştırıcı dış çap ölçüsü (D_3)- [m]	$D_2 +0,02$	0,06
PV tabakası dış çap ölçüsü (D_4)- [m]	$D_3 +0,01$	0,07
Cam tüpün iç çap ölçüsü (D_5)- [m]	$D_4 +0,057$	0,127
Cam tüpün dış çap ölçüsü (D_6)- [m]	$D_5 +0,012$	0,139
Cam tüpün yayıcılık katsayısı ($\varepsilon_{camtüp}$)- [-]	0,86	0,86
Cam tüpün emicilik katsayısı ($a_{camtüp}$)- [-]	0,035	0,035
Cam tüpün geçirgenlik katsayısı ($\tau_{camtüp}$)- [-]	0,965	0,965
PV tabakası yayıcılık katsayısı (ε_{PV})- [-]	0,3	0,3
PV tabakası emicilik katsayısı (a_{PV})- [-]	0,9	0,9
Isı transfer sıvısı (HTF)- [-]	Terminol VP-1	Terminol VP-1
Isı transfer sıvısı kütleli debisi (\dot{m}_{HTF})- [kg/s]	-	1
Isı transfer sıvısı ortalama sıcaklık değeri (T_f)- [°C]	-	83,98
Vakum tüpü basıncı (P_{vakum})-[kPa]	0,1333	0,1333
Emici tüp ısı iletkenliği (k_{em})- [W/m°C]	400	400

Çizelge 4.2. (Devam) Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörünün hesaplamalarının yapılabilmesi için kullanılan veriler (Rahbar ve ark., 2019)

Termal yapıştırıcı ısı iletkenliği (k_{ty})- [$W/m^{\circ}C$]	1,28	1,28
PV tabakası ısı iletkenliği (k_{PV})- [$W/m^{\circ}C$]	144	144
Cam tüp ısı iletkenliği ($k_{camtüp}$)- [$W/m^{\circ}C$]	1,04	1,04
Vakum bölgesi gazının standart sıcaklık ve basınç değerindeki ısı iletkenliği (k_{std})- [$W/m^{\circ}C$]	0,02551	0,02551
Emici tüp iç bölgesi bağıl pürüzlülük değeri (RR)- [-]	0,0015	0,0015
Kollektör optik verimi (η_{optik})- [-]	0,85	0,85
PV modül verimi ($\eta_{modül}$)- [-]	0,9	0,9
Güneş ışınları radyasyon şiddeti (I_G)- [W/m^2]	400-900	900
Ortam Sıcaklığı (T_{amb})- [$^{\circ}C$]	20	20
Gökyüzü sıcaklığı ($T_{Gökyüzü}$)- [$^{\circ}C$]	$T_{amb} - 8$	$T_{amb} - 8$
Rüzgar hızı ($V_{rüzgar}$)- [m/s]	2	2
Standart sıcaklık değeri (T_{std})- [$^{\circ}C$]	-	25
Stefan Boltzmann sabiti (σ)- [$W/m^2^{\circ}C^4$]	-	$5,67 * 10^{-8}$

Eş. 4.10' da yer alan \dot{m}_{HTF} Çizelge 4.2' de belirtilmiştir, $c_{p,HTF}$ değeri ise ısı transfer sıvısı olan Terminol VP-1' in sabit basınçta özgül ısı değeridir ve Engineering Equation Solver (EES) programı yardımıyla hesaplanmıştır.

Eğer $Re \leq 2300$ ise Nusselt sayısı, Çizelge 4.3 yardımıyla belirlenir.

Çizelge 4.3. Çeşitli çap oranları için Nusselt sayıları (Rahbar ve ark., 2019)

D_p/D_1	Nusselt Sayısı
0	4,364
0,05	4,792
0,1	4,833
0,2	4,834
0,4	4,979
0,6	5,099
0,8	5,24
1	5,385

2300 < Re ≤ 5 * 10⁶ olduğu durumda ise Nusselt sayısı Eş. 4.23' te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Nu = \left(\frac{\left(\frac{f}{8} \right) (Re_{D_1} - 1000) PR_1}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8} \right)^{0,5} \left(PR_1^{\frac{2}{3}} - 1 \right)} \right) \left(\frac{PR_1}{PR_2} \right) \quad (4.23)$$

Burada f, sürtünme faktörüdür ve Eş. 4.24' te belirtildiği gibi hesaplanmaktadır (Kalogirou, 2012). Pr₁ ve Pr₂ değerleri ise sırasıyla Eş. 4.25 ve Eş. 4.26 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$f = \left(1,82 \log(Re_{D_1}) - 1,64 \right)^{-2} \quad (4.24)$$

$$Pr_1 = \frac{C_{p,HTF,T_f} \mu_{HTF,T_f}}{k_{HTF,T_f}} \quad (4.25)$$

$$Pr_2 = \frac{C_{p,HTF,T_1} \mu_{HTF,T_1}}{k_{HTF,T_1}} \quad (4.26)$$

Bu eşitliklerden yararlanılarak Eş. 4.11' de yer alan ısı transfer katsayısı h_f ;

$$h_f = \frac{Nuk_{HTF,T_f}}{D_h} \quad (4.27)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Burada yer alan D_h , hidrolik çap ölçüsüdür ve Eş. 4.28' de belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$D_h = D_p - D_1 \quad (4.28)$$

Eş. 4.11, Eş. 4.12, Eş. 4.13 ve Eş. 4.14' te yer alan k_{em} , k_{ty} , k_{pV} , D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , L_{em} değerleri Çizelge 4.2' de belirtilmiştir.

P_{vakum} değeri, 0,1333 kPa olarak kabul edilmiştir ve $P_{vakum} \leq 0,1333$ kPa olduğu durum için;

$$\lambda = 2,331 * 10^{-20} \frac{T_4 + T_5}{2} \frac{1}{P_{vakum} (3,53 * 10^{-10})^2} \quad (4.29)$$

$$\gamma = \frac{C_{p4,5}}{C_{v4,5}} \quad (4.30)$$

$$b = \frac{9\gamma - 5}{2(\gamma + 1)}, \text{ dir.} \quad (4.31)$$

Bu eşitliklerden yararlanılarak Eş. 4.15' te yer alan ısı transfer katsayısı $h_{4,5}$ değeri;

$$h_{4,5} = \frac{k_{std}}{\left(\frac{D_4}{2 \ln \left(\frac{D_5}{D_4} \right)} \right) + \left(b \lambda \left(\frac{D_5}{D_4} + 1 \right) \right)} \quad (4.32)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Eş. 4.32' te yer alan k_{std} [$W/m^{\circ}C$], vakum bölgesi gazının standart sıcaklık ve basınç değerindeki ısı iletkenlik katsayısıdır ve değeri Engineering Equation Solver (EES) programı yardımıyla hesaplanmıştır. λ , moleküller arası ortalama mesafedir ve Eş. 4.29' da belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır. γ , vakum bölgesi içerisindeki havanın sabit basınçta özgül ısısının sabit hacimde özgül ısısına oranıdır ve Eş. 4.30' da yer almaktadır. b ise etkileşim katsayısıdır ve Eş. 4.31' de belirtilmiştir.

Eş. 4.17 ve Eş. 4.18' de yer alan σ , $\varepsilon_{cantiip}$, ε_{PV} ve $k_{cantiip}$ değerleri Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2' de belirtildiği gibi rüzgar hızı ($V_{rüzgar}$) 2 m/s olarak alınmış ve $V_{rüzgar} > 0,1$ olduğu durumda Reynolds ve Nusselt sayıları;

$$Re_{D_6} = \rho_{amb} V_{rüzgar} \frac{D_6}{\mu_{amb}} \quad (4.33)$$

$$Nu_{bar} = C \left(Re_{D_6} \right)^m \left(Pr_{amb} \right)^n \left(\frac{Pr_{amb}}{Pr_6} \right)^{0,25} \quad (4.34)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Bu eşitliklerden yararlanılarak cam tüpün dış yüzeyi ile ortam arasında konveksiyon ile ısı transferi eşitliğinde (Eş.4.19) yer alan ısı transfer katsayısı h_{amb} ;

$$h_{amb} = \frac{Nu_{bar} k_{6,amb}}{D_6} \quad (4.35)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Eş.4.35' te yer alan $k_{6,amb}$ [$W/m^{\circ}C$], cam tüpün dış yüzeyi ile ortam arasındaki ısı iletim katsayısıdır ve Engineering Equation Solver (EES) programı yardımıyla hesaplanmıştır. D_6 ise cam tüpün dış çap ölçüsüdür ve Çizelge 4.2' de belirtilmiştir. Cam tüpün dış yüzeyi ile ortam arasındaki ısı tranferini hesaplayabilmek için gerekli Nusselt sayısı Eş. 4.34' te belirtilmiştir. Nusselt sayısı formülünde yer alan C, m ve n değerleri, Eş. 4.33' te hesaplanan Re_{D_6} değerine göre Çizelge 4.4 yardımıyla belirlenmiştir (Rahbar ve ark., 2019).

Çizelge 4.4. Çeşitli Reynolds sayıları için sabit değerler (Rahbar ve ark., 2019)

C	Re_D	m
0,75	1-40	0,4
0,51	40-1000	0,5
0,26	1000-200 000	0,6
0,076	200 000-1 000 000	0,7

Pr ≤ 10 için n=0,37

Pr > 10 için n=0,36

Eş.4.20' de yer alan $T_{Gökyüzü}$ Çizelge 4.2' de belirtilmiştir.

Güneş ışınlarının kollektöre normal olduğu varsayılmıştır, bu nedenle geliş açısı

$\theta = 0^\circ$ ' dir ve geliş açısı değıştiricisi K_{IAM} ,

$$K_{IAM} = \cos(\theta) - 0,0003512(\theta) - 0,00003137(\theta^2) \quad (4.36)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Konsantrasyon oranı (Cr) ise;

$$Cr = \frac{W_{ap}}{\pi D_6} \text{ , dir.} \quad (4.37)$$

τ_{cantip} , a_{PV} , η_{optik} ve $\eta_{modül}$ değerleri ise Çizelge 4.2' de belirtilmiştir ve Eş.4.21' de yer alan a_{cantip} değeri yine Çizelge 4.2' de belirtilmiştir.

Sisteme giren radyasyon kaynaklı enerji, E_g ;

$$E_g = I_G K_{IAM} \pi D_6 L_{em} Cr \eta_{optik} \text{ , dir.} \quad (4.38)$$

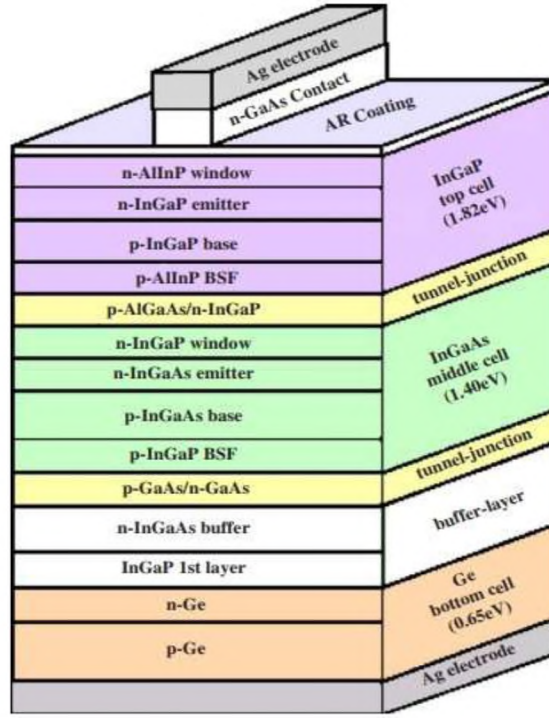
Güneş kollektörü sisteminin ısı verimi;

$$\eta_I = \frac{\dot{Q}_{HTF}}{E_g} \text{ , dir.} \quad (4.39)$$

4.1.1. PV hücreleri seçimi ve modellenmesi

Şekil 4.2' de görüldüğü gibi bakır tüpün dış kısmı PV hücre tabakası ile kaplıdır. Hücre malzemesi olarak oldukça yüksek verime sahip çok katmanlı InGaP/InGaAs/Ge katmanlarından oluşan bir PV hücresi geliştirilmiştir (Nishioka ve ark., 2006). Bu PV hücreleri aynı zamanda esnek yapılarından dolayı bakır boru

yüzeyini tamamen kaplayarak tüm yönlerde gelen güneş ışınlarını absorbe etme yeteneğine sahiptir (Pagliaro ve ark., 2008; Sheehan ve ark., 2015). %40' tan fazla performans ve verim aralığına sahiptirler (Daneshzarian ve ark., 2018). Tüm bu özelliklerinden dolayı, bu çalışmada Şekil 4.4' te görülen çok katmanlı güneş hücresi modeli seçilmiştir.



Şekil 4.4. InGaP/InGaAs/Ge çok katmanlı PV hücre modelinin şematik gösterimi

Burada PV hücresi elektriksel verimi ve PV verimi;

$$\eta_{PV\text{Hücre}} = 0,298(1 - 0,00248(T_4 - 25)) \quad (4.40)$$

$$\eta_{PV} = \eta_{PV\text{Hücre}} \eta_{\text{modül}}$$

şeklinde hesaplanmaktadır(Nishioka ve ark., 2006).

T_4 , PV tabakasının dış yüzey sıcaklığıdır. PV tabakası tarafından üretilen elektrik güç ise P_{PV} şeklinde gösterilmektedir;

$$P_{PV} = I_G K_{LAM} \pi D_6 L_{em} C r \eta_{optik} \tau_{CamTüp} \alpha_{PV} \eta_{PV} \quad (4.41)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır.

4.2. Kalina Çevriminin Modellenmesi

Bu bölümde sistemimizin bir parçası olan Kalina çevriminin işleyişi ve termodinamik hesaplamaları hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir. Öncelikle Şekil 3.1' de şematik gösterimi verilen güneş enerjisi kaynaklı Kalina çevriminden bahsedilecek olunursa, 0,84 konsantrasyon oranına sahip $NH_3 - H_2O$ karışımı, buhar jeneratöründen doymuş sıvı buhar karışımı olarak çıkar. Sonrasında 1 yolunu takip ederek seperatöre girer ve seperatör aracılığıyla zengin (0,99 konsantrasyon oranına sahip) ve fakir (0,5852 konsantrasyon oranına sahip) $NH_3 - H_2O$ karışımı olarak ikiye ayrılır. Zengin karışım, 2 yolunu takip ederek kızgın buhar fazında türbine girer. Bu çalışma için türbin genişleme oranı 2 seçilmiştir. Fakir karışım ise 3 yolunu takip ederek önce rejeneratöre ısısını bırakır ve daha sonra 4 yolunu takip ederek genişleme vanasına girer. Genişleme vanasına giren fakir karışım türbin çıkış basıncına kadar genişletilir ve 5 yolunu takip ederek karışım odasına gider. Burada türbinden çıkan ve yaklaşık 0,96 seviyesinde kuruluk derecesine sahip olan zengin karışım ile birleşir ve 7 yolunu takip ederek kondensere gider. Kondenserden çıkan $NH_3 - H_2O$ karışımı doymuş sıvı fazındadır ve 8 yolunu takip ederek pompaya girer. Pompa vasıtasıyla basınçlandırılır ve 9 yolunu takip ederek rejeneratöre girer. Burada ön ısıtmaya uğrar, 10 yolunu takip ederek tekrar buhar jeneratörüne girer ve çevrim tamamlanmış olur.

4.3. Sistemin Termodinamik Analizi

4.3.1. Enerji Analizi

Enerji ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi bilinen birçok farklı biçimde bulunabilir. Bunların tamamının toplamı ise sistemin toplam enerjisini oluşturmaktadır. Sistemin bir referans noktasına göre hareketinden kaynaklanan sahip olduğu enerjiye kinetik enerji (KE) denir. Kinetik enerji;

$$KE = m \frac{V^2}{2} \quad (4.42)$$

ifadesiyle gösterilir. Burada yer alan V , sistemin sabit bir referans noktasına göre hızını göstermektedir.

Sistemin bir yer çekimi alanında belirli bir yüksekliğe bağlı olarak sahip olduğu enerjiye ise potansiyel enerji (PE) denir. Potansiyel enerji;

$$PE = mgz \quad (4.43)$$

ifadesiyle gösterilmektedir. Burada yer alan g , yer çekim ivmesini, z ise sistemin kütle merkezinin seçilen referans bir düzeye göre yükseklik değerini göstermektedir.

Sistemde manyetik, elektrik ve yüzey gerilmesiyle ilişkili enerjiler yok sayıldığında, sistemin toplam enerjisi kinetik enerji, potansiyel enerji ve iç enerjiden (U) oluşmaktadır.

$$E = U + m \frac{V^2}{2} + mgz \quad (4.44)$$

Termodinamiğin birinci yasası olan enerjinin korunumu ilkesinde, enerjinin var veya yok edilemeyeceği ancak bir biçimden diğerine dönüştürüleceği vurgulanmıştır. Sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacminin toplam enerjisi sabittir ve bu sistemlerde kontrol hacmine ısı, iş veya kütle akışı ile giren enerji, çıkan enerjiye eşit olmak durumundadır.

Sürekli akışlı açık sistemlerde sistemin kütle ve enerji korunum denklemleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\phi = 0 \quad (4.45)$$

$$\dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \sum \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_g - \sum \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_\phi = 0 \quad (4.46)$$

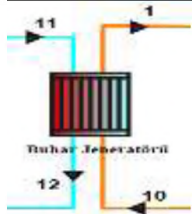
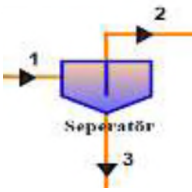
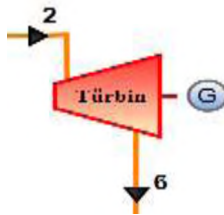
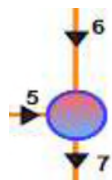

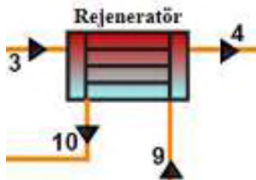
Sistemin kinetik ve potansiyel enerjileri ihmal edildiğinde enerji korunum eşitliği;

$$\dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \sum \left(\dot{m} h \right)_g - \sum \left(\dot{m} h \right)_\phi = 0 \quad (4.47)$$

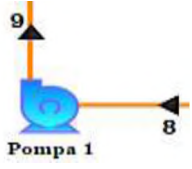
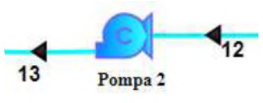
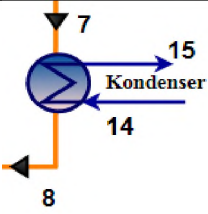
şeklinde ifade edilmektedir.

Bu eşitlikler vasıtasıyla parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş enerjisi kaynaklı Kalina çevriminin enerji eşitlikleri Çizelge 4.5' te belirtildiği şekilde türetilmiştir.

Çizelge 4.5. Sistem çözümlemesinde kullanılan enerji eşitlikleri

Bileşenler	Enerji Eşitlikleri	No
Buhar Jeneratörü	 $\dot{m}_1(h_1 - h_{10}) = \dot{m}_{11}(h_{11} - h_{12})$	(4.48)
Seperatör	 $\dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_1$ $\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_1 h_1$	(4.49) (4.50)
Türbin	 $\dot{W}_{Tür} = \dot{m}_2(h_2 - h_6)$ $\eta_{is,Tür} = \frac{(h_2 - h_6)}{(h_2 - h_{6s})}$	(4.51) (4.52)
Karışım odası	 $\dot{m}_6 X_6 + \dot{m}_5 X_5 = \dot{m}_7 X_7$ $\dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_7 h_7$	(4.53) (4.54)
Kısılma vanası	 $h_4 = h_5$	(4.55)
Rejeneratör	 $\dot{Q}_{Rej} = \dot{m}_9(h_{10} - h_9)$ $\dot{m}_3(h_3 - h_4)\epsilon_{Rej} = \dot{m}_9(h_{10} - h_9)$	(4.56) (4.57)

Çizelge 4.5. (Devam) Sistem çözümlemesinde kullanılan enerji eşitlikleri

Pompa 1		$\dot{W}_{Pompa1} = \dot{m}_8(h_9 - h_8) \quad (4.58)$ $\eta_{is,pompa1} = \frac{(h_{9s} - h_8)}{(h_9 - h_8)} \quad (4.59)$	
Pompa 2		$\dot{W}_{Pompa2} = \dot{m}_{12}(h_{13} - h_{12}) \quad (4.60)$	
Kondenser		$\dot{m}_7(h_7 - h_8) = \dot{m}_{14}(h_{15} - h_{14}) \quad (4.61)$	

Çizelge 4.5’ de yer alan enerji eşitliklerinin hesaplanması için sistem bileşenlerinin her biri ayrı ayrı kontrol hacmi alınarak açık sistem çözümlemesi yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Çevrimin çözümlenmesi için kullanılan giriş parametreleri

Parametreler	Değerler
Güneş kolektörü çıkış sıcaklığı [°C]	123
Parabolik oluk tipi fotovoltaik güneş kolektör sistemi	1
kütleli debisi (\dot{m}_{HTF})- [kg/s]	1
Pinch Noktası ($\Delta T_{PP,Ev}$)- [K]	5
Rejeneratör Etkinliği (ϵ_{Reg}) - [%](Ghaebi ve ark., 2018)	95
Türbin Giriş Basıncı ($P_{Türbin,g}$)- [bar]	14
Türbin İzotropik Verimi ($\eta_{is,Tür}$)- [%](Ghaebi ve ark., 2018)	85
Pompa izotropik verimleri ($\eta_{is,Pompa}$)- [%](Ghaebi ve ark., 2018)	75
Türbin Genleşme Oranı (TEO)	2

Sistemin ısı verimi ise;

$$\eta_I = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{Sol,KFVT}} \quad (4.62)$$

Burada yer alan \dot{W} , net gücü gösterir. $\dot{Q}_{Sol,KFVT}$ ise parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş paneline gelen güneş enerjisini gösterir (Rahbar ve ark., 2019);

$$\dot{W} = P_{PV} + \dot{W}_{Tür} - \dot{W}_{Pompa1} - \dot{W}_{Pompa2} \quad (4.63)$$

$$\dot{Q}_{Sol,KFVT} = I_G C r A_{KFVT} \quad (4.64)$$

şeklinde ifade edilir.

Eş. 4.63' te yer alan P_{PV} , parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kollektörünün emici tüpünde yer alan PV tabakası tarafından üretilen elektrik gücünü ifade etmektedir ve Eş. 4.41' de belirtilmiştir. $\dot{W}_{Tür}$, \dot{W}_{Pompa1} ve \dot{W}_{Pompa2} ise Çizelge 4.5' de belirtilmiştir.

Eş. 4.64' te yer alan A_{KFVT} ise fotovoltaik panel alanını ifade etmektedir,

$$A_{KFVT} = \pi D_0 L_{em} \quad (4.65)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

4.3.2. Ekserji Analizi

Kullanılabilir enerji yani ekserji, bir sistemin başlangıç halinden ölü haline, tersinir bir şekilde hal değişimi geçirdiğinde, sistemden elde edilen maksimum faydalı iş olarak tanımlanır. Manyetik alan, elektrik, yüzey gerilimi ve nükleer reaksiyonun bulunmadığı termal sistemlerde toplam ekserji miktarı kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal olmak üzere 4 ana bileşene sahiptir. Sistemin toplam ekserjisi Eş. 4.66' da verilmiştir (Bejan ve ark., 1996).

$$\dot{E}x = \dot{E}x_{ke} + \dot{E}x_{pe} + \dot{E}x_{fz} + \dot{E}x_{km} \quad (4.66)$$

Burada yer alan $\dot{E}x_{ke}$ kinetik ekserjiiyi, $\dot{E}x_{pe}$ potansiyel ekserjiiyi, $\dot{E}x_{fz}$ fiziksel ekserjiiyi ve $\dot{E}x_{km}$ ise kimyasal ekserjiiyi ifade etmektedir. Özgül ekserji formunda toplam ekserji ise;

$$ex = ex_{ke} + ex_{pe} + ex_{fz} + ex_{km} \quad (4.67)$$

şeklinde gösterilmektedir.

Eş.4.66' da belirtilen kinetik ekserji ve potansiyel ekserji ise;

$$\dot{Ex}_{ke} = \frac{\dot{m}V^2}{2} \quad (4.68)$$

$$\dot{Ex}_{pe} = \dot{m}gz \quad (4.69)$$

şeklinde ifade edilir.

Fiziksel ekserji;

$$\dot{Ex}_{fz} = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (4.70)$$

şeklinindedir. Burada yer alan h ve s , sırasıyla entalpi ve entropi değerleridir. h_0 ve s_0 ise sırasıyla referans durumdaki entalpi ve entropi değerleridir. T_0 , mutlak sıcaklık değeridir.

NH_3-H_2O karışımı için kimyasal ekserji Eş. 4.71' de belirtilmiştir.

$$\dot{Ex}_{km,NH_3-H_2O} = \dot{m} \left[\left(\frac{\overset{0}{ex}_{km,NH_3}}{M_{NH_3}} \right) X + \left(\frac{\overset{0}{ex}_{km,H_2O}}{M_{H_2O}} \right) (1 - X) \right] \quad (4.71)$$

Terminol VP-1 için kimyasal ekserji ise Eş. 4.72' de belirtilmiştir;

$$\dot{E}x_{km,(C_6H_5)_2O} = \dot{m} \left(\frac{\overset{0}{ex}_{km,(C_6H_5)_2O}}{M_{(C_6H_5)_2O}} \right) \quad (4.72)$$

Burada yer alan $\overset{0}{ex}_{km}$, standart molar kimyasal ekserji değeri, M ise mol ağırlığıdır (Kotas, 1985).

Sürekli akışlı açık sistemlerde sistemin ekserji denge denklemi;

$$\dot{E}x_Q + \sum_g \dot{m}_g ex_g = \sum_{\phi} \dot{m}_{\phi} ex_{\phi} + \dot{E}x_W + \dot{E}x_D \quad (4.73)$$

şeklinde ifade edilir. Burada yer alan $\dot{E}x_Q$, ısı transferinin eşlik ettiği ekserjidir ve Eş. 4.74' te belirtildiği gibi ifade edilmiştir.

$$\dot{E}x_Q = \left(1 - \frac{T_0}{T_k} \right) \dot{Q}_k \quad (4.74)$$

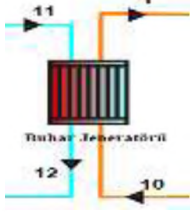
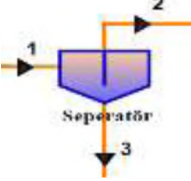
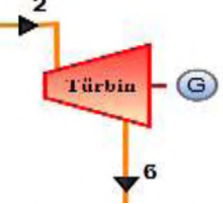

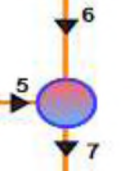
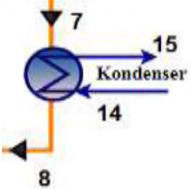
$\dot{E}x_W$, iş ile ilgili ekserjidir ve Eş. 4.75' te belirtildiği gibi ifade edilmiştir.

$$\dot{E}x_W = \dot{W}_k \quad (4.75)$$

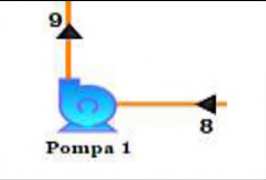
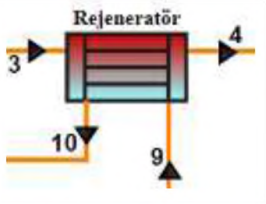
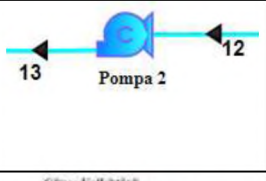
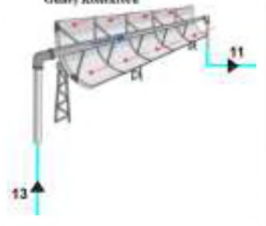
$\dot{E}x_D$ ise yok olan ekserjidir.

Bu eşitlikler vasıtasıyla parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaiik güneş enerjisi kaynaklı Kalina çevriminin ekserji eşitlikleri Çizelge 4.7' de belirtildiği şekilde türetilmiştir.

Çizelge 4.7. Sistem çözümlenmesinde kullanılan ekserji eşitlikleri

Bileşenler	Ekserji Eşitlikleri	No
Buhar Jeneratörü	 $\dot{E}_{10} + \dot{E}_{11} = \dot{E}_1 + \dot{E}_{12} + \dot{E}_{D,Ev}$	(4.76)
Seperatör	 $\dot{E}_1 = \dot{E}_2 + \dot{E}_3 + \dot{E}_{D,Sep}$	(4.77)
Türbin	 $\dot{E}_2 = \dot{E}_6 + \dot{W}_{Tür} + \dot{E}_{D,Tür}$	(4.78)
Kısılma Vanası	 $\dot{E}_4 = \dot{E}_5 + \dot{E}_{D,KV}$	(4.79)
Karışım Odası	 $\dot{E}_5 + \dot{E}_6 = \dot{E}_7 + \dot{E}_{D,KO}$	(4.80)
Kondenser	 $\dot{E}_7 + \dot{E}_{14} = \dot{E}_8 + \dot{E}_{15} + \dot{E}_{D,Kon}$	(4.81)

Çizelge 4.7. (Devam) Sistem çözümlemesinde kullanılan ekserji eşitlikleri

Pompa 1		$\dot{W}_{Pompa1} + \dot{E}_8 = \dot{E}_9 + \dot{E}_{D,Pompa1}$	(4.82)
Rejeneratör		$\dot{E}_3 + \dot{E}_9 = \dot{E}_4 + \dot{E}_{10} + \dot{E}_{D,Rej}$	(4.83)
Pompa 2		$\dot{W}_{Pompa2} + \dot{E}_{12} = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{D,Pompa2}$	(4.84)
Konsantre Fotovoltaik Güneş Kolektörü		$\dot{E}_{13} + \dot{E}_{KFVT} = \dot{E}_{11} + \dot{E}_{D,KFVT}$	(4.85)

Sistemin ekserji verimi ise;

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}}{\dot{E}_{KFVT}} \quad (4.86)$$

şeklinde belirlenir. Burada yer alan \dot{W} , bölüm 4.3.1 ve Eş. 4.63' te verilmiştir.

\dot{E}_{KFVT} ise Eş. 4.87' de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır (Petela, 2003).

$$\dot{E}_{KFVT} = I_G A_{KFVT} Cr \left(1 - \frac{4}{3} \frac{T_{amb}}{T_{Güneş}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{Güneş}} \right)^4 \right) \quad (4.87)$$

Burada yer alan $T_{Güneş}$, güneşin yüzey sıcaklığıdır ve 6000 K olarak kabul edilmiştir (Jafarkazemi ve Ahmadifard, 2013).

4.3.3. Ekserjiekonomi Analizi

Termal sistemlerin tasarımları yapılırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli unsurlardan biri de mühendislik ekonomisidir. Çünkü sistemlerin verimlerinin yüksek olmasına rağmen ilk yatırım maliyetleri ve bakım-onarım-işletme maliyetlerinin yüksek olması sistem tasarımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle sistemin enerji, ekserji ve ekserjiekonomi analizinin bir bütün olarak değerlendirilmesi tasarımda büyük bir avantaj sağlamaktadır (Seyitoğlu, 2018).

Sistemler için genel maliyet dengesi eşitliği aşağıda yer alan Eş. 4.88' de belirtilmiştir (Bejan ve ark., 1996).

$$\dot{C}_{Q,k} + \sum \dot{C}_{g,k} + \dot{Z}_k = \dot{C}_{W,k} + \sum \dot{C}_{\phi,k} \quad (4.88)$$

Burada yer alan \dot{C} ve \dot{Z} , sırasıyla k' nıncı bileşen için ekserji maliyet oranı ve toplam maliyet oranını ifade etmektedir. Alt indis olarak verilen Q, W, g ve ϕ ise sırasıyla k' nıncı bileşenin ısı, iş, giriş ve çıkışlarını ifade etmektedir. k' nıncı bileşenin ekserji maliyet oranı \dot{C}_k ;

$$\dot{C}_k = c_k \dot{E}x_k \quad (4.89)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu eşitlik yardımıyla;

$$\dot{C}_{g,k} = c_{g,k} \dot{E}x_{g,k} \quad (4.90)$$

$$\dot{C}_{\varphi,k} = c_{\varphi,k} \dot{E} x_{\varphi,k} \quad (4.91)$$

$$\dot{C}_{W,k} = c_{W,k} \dot{E} x_{W,k} \quad (4.92)$$

$$\dot{C}_{Q,k} = c_{Q,k} \dot{E} x_{Q,k} \quad (4.93)$$

eşitlikleri de türetilmektedir.

Eş. 4.89' da yer alan C_k , k' nıncı elemanın birim başına düşen ekserji maliyetidir.

Toplam maliyet oranı olan \dot{Z}_k ise aşağıda bulunan Eş. 4.94' te gösterilmiştir.

$$\dot{Z}_k = \dot{Z}_{S\&Y} + \dot{Z}_{B\&O} \quad (4.94)$$

Burada yer alan $\dot{Z}_{S\&Y}$ sermaye-yatırım maliyetini, $\dot{Z}_{B\&O}$ ise işletme-bakım-onarım maliyetini ifade etmektedir ve Eş. 4.95' te belirtilmiştir (Ghaebi ve ark., 2017; Bejan ve ark., 1996).

$$\dot{Z}_k = CRF \frac{\varphi_r}{N * 3600} Z_k \quad (4.95)$$

Burada yer alan \dot{Z}_k , k' nıncı bileşenin satın alınan ekipman yatırım maliyetidir. N, sistemin yıllık çalışma saatidir ve 7000 saat olarak kabul edilmiştir. φ_r , bakım faktörüdür ve 1,06 olarak kabul edilmiştir (Ghaebi ve ark., 2017). CRF ise sistemin sermaye geri kazanım faktörüdür ve Eş. 4.96' da belirtilmiştir (Ghaebi ve ark., 2017; Bejan ve ark., 1996).

$$CRF = \frac{i_r (1+i_r)^n}{(1+i_r)^n - 1} \quad (4.96)$$

Burada yer alan i_r , yıllık faiz oranıdır ve 0,15 olarak kabul edilmiştir. n ise tesisin yaşam ömrünü ifade etmektedir ve 20 yıl olarak kabul edilmiştir (Ghaebi ve ark., 2017).

Ekipman yatırım maliyetlerinin değerlendirilebilmesi için güneş kolektörü, türbin, pompa, kısılma vanası ve ısı değiştiricilerin her birinin yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Ancak seperatör ve karışım odasının yatırım maliyetleri ise diğerlerine oranla çok daha küçük olması sebebiyle ihmal edilmiştir. Buhar jeneratörü, kondenser ve rejeneratör için yatırım maliyeti aşağıda yer alan Eş. 4.97 yardımıyla hesaplanmaktadır (Ghaebi ve ark., 2018).

$$Z_k = 2143(A_k)^{0,514} \quad (4.97)$$

A_k , ilgili ekipman alanını ifade etmektedir,

$$A_k = \frac{\dot{Q}_k}{U_k \Delta T_{LM}} \quad (4.98)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada yer alan \dot{Q}_k , ilgili ekipmanın ısı transfer eşitliğidir. Buhar jeneratörü ısı transfer eşitliği olan \dot{Q}_{Bj} hesaplaması Çizelge 4.5' te yer alan Eş. 4.48' de; rejeneratör ısı transfer eşitliği olan \dot{Q}_{Rej} hesaplaması Çizelge 4.5' te yer alan Eş. 4.56' da; kondenser ısı transfer eşitliği olan \dot{Q}_K hesaplaması ise Çizelge 4.5' te yer alan Eş.4. 61' de belirtilmiştir.

U_k , ilgili ekipmanın ısı transfer katsayısıdır ve aşağıda yer alan Çizelge 4.8' de belirtilmiştir (Mosaffa ve ark., 2017).

Çizelge 4.8. Isı değiştirici ekipmanlar için ısı transfer katsayıları (Ghaebi ve ark., 2018)

Bileşen	$U (kW/m^2K)$
Buhar jeneratörü	0,6
Kondenser	0,5
Rejeneratör	0,2

ΔT_{LM} ise logaritmik ortalama sıcaklık farkıdır,

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{h,g} - T_{c,\phi}) - (T_{h,\phi} - T_{c,g})}{\ln \frac{(T_{h,g} - T_{c,\phi})}{(T_{h,\phi} - T_{c,g})}} \quad (4.99)$$

şeklinde hesaplanır. Burada h, c, g ve ϕ alt indisleri sırasıyla sıcak akış, soğuk akış, giren ve çıkan akış anlamına gelmektedir.

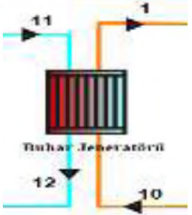
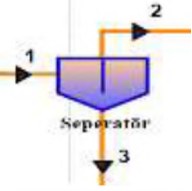
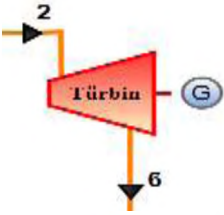
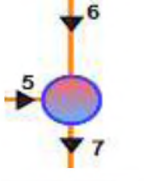

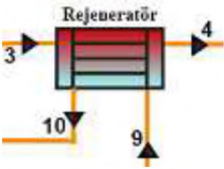
Ekipmanların yatırım maliyeti aşağıda belirtilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır (Mosaffa ve ark., 2017).

Çizelge 4.9. Ekipmanların yatırım maliyeti eşitlikleri çizelgesi

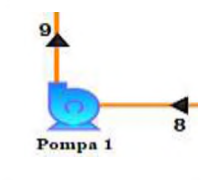
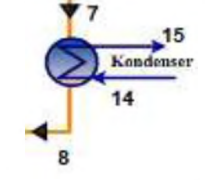
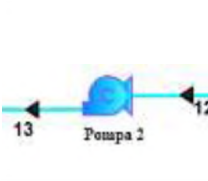
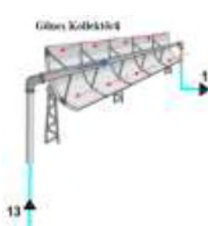
Bileşenler	Yatırım maliyeti eşitlikleri	No
Buhar Jeneratörü (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_{Bj} = 2143(A_{Bj})^{0,514}$	(4.100)
Seperatör (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_{Sep} = 0$	(4.101)
Türbin (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_{Tur} = 4405(\dot{W}_{Tur})^{0,89}$	(4.102)
Karışım odası (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_{KO} = 0$	(4.103)
Kısılma vanası (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_{KV} = 114,5 \dot{m}_a$	(4.104)
Rejeneratör (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_{Rej} = 2681(A_{Rej})^{0,59}$	(4.105)
Pompa 1 (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_{Pompa1} = 1120(\dot{W}_{Pompa1})^{0,8}$	(4.106)
Pompa 2 (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_{Pompa2} = 1120(\dot{W}_{Pompa2})^{0,8}$	(4.107)
Kondenser (Ghaebi ve ark., 2018)	$Z_K = 2143(A_K)^{0,514}$	(4.108)
Güneş kolektörü (Akrami ve ark., 2017)	$Z_{GK} = 1000(A_{KFVT})$	(4.109)

Sistemin genel maliyet dengesi eşitlikleri aşağıda yer alan Çizelge 4.10' da belirtilmiştir.

Çizelge 4.10. Sistemin genel maliyet dengesi eşitlikleri çizelgesi

Bileşenler	Birim Ekserji Maliyeti Eşitlikleri	Maliyet Dengesi Eşitlikleri	No
Buhar Jeneratörü	 Buhar Jeneratörü	$c_{11} = c_{12}$	$\dot{C}_{11} + \dot{C}_{10} + \dot{Z}_{Bj} = \dot{C}_{12} + \dot{C}_1$ (4.110)
Seperatör	 Seperatör	$c_2 = c_3$	$\dot{C}_1 + \dot{Z}_{Sep} = \dot{C}_2 + \dot{C}_3$ (4.111)
Türbin	 Türbin	$c_2 = c_6$	$\dot{C}_2 + \dot{Z}_{Tür} = \dot{C}_6 + \dot{C}_{W,Tür}$ (4.112)
Karışım odası	 Karışım odası	-	$\dot{C}_5 + \dot{C}_6 + \dot{Z}_{KO} = \dot{C}_7$ (4.113)
Kısılma vanası	 Kısılma vanası	-	$\dot{C}_4 + \dot{Z}_{KV} = \dot{C}_5$ (4.114)
Rejeneratör	 Rejeneratör	$c_3 = c_4$	$\dot{C}_3 + \dot{C}_9 + \dot{Z}_{Reg} = \dot{C}_4 + \dot{C}_{10}$ (4.115)

Çizelge 4.10. (Devam) Sistemin genel maliyet dengesi eşitlikleri çizelgesi

Pompa 1		$c_{W,Pompa1} = c_{W,Tür}$	$\dot{C}_8 + \dot{Z}_{Pompa1} + \dot{C}_{W,Pompa1} = \dot{C}_9$	(4.116)
Kondenser		$c_7 = c_8$	$\dot{C}_{14} + \dot{C}_7 + \dot{Z}_K = \dot{C}_8 + \dot{C}_{15}$	(4.117)
Pompa 2		-	$\dot{C}_{12} + \dot{Z}_{Pompa2} + \dot{C}_{W,Pompa2} = \dot{C}_{13}$	(4.118)
Güneş kolektörü		-	$\dot{C}_{13} + \dot{Z}_{GK} = \dot{C}_{11} + \dot{C}_{W,GK}$	(4.119)

Ekserjiekonomi hesaplamalarında en önemli kavramlardan biri de seviyelendirilmiş elektrik maliyetidir (Levelized Cost of Electricity-LCOE). Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE) eşitliği, enerji santrali olarak görev yapan sistemlerin sermaye-yatırım ve işletme-bakım-onarım vb. harcamaları da hesaba dahil edilerek, üretilen enerjinin zarar edilmeden satılması gereken minimum fiyatının belirlenmesini sağlamaktadır.

Aşağıda yer alan Eş.4.120 yardımıyla LCOE değeri hesaplanmaktadır (Ashouri ve ark., 2015).

$$LCOE = \frac{CRF(Z_{k,Toplam}) + Z_{B\&O}}{WN} \quad (4.120)$$

Sistemin yatırım maliyeti olan $Z_{k,Toplam}$, tüm bileşenlerin yatırım maliyetleri toplamı şeklinde hesaplanmaktadır.

$$Z_{k,Toplam} = Z_{Ev} + Z_{Sep} + Z_{Tür} + Z_{KO} + Z_{KV} + Z_{Rej} + Z_{Pompa1} + Z_{Pompa2} + Z_K + Z_{GK} \quad (4.121)$$

Eş. 4.120' de yer alan işletme-bakım-onarım maliyeti ($Z_{B\&O}$) ise, sistem yatırım maliyetinin %6' sı olduğu tahmin edilmektedir (Bejan ve ark., 1996).

Ekserjiekonomi hesaplamalarında çok önemli olan bir diğer kavram ise geri ödeme süresidir (Payback time). Geri ödeme süresi, tesise yapılan yatırımın ne kadar sürede geri alınabildiğini gösteren süredir ve Eş. 4.122 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Pb = \frac{Z_{k,Toplam}}{W * N * c_e} \quad (4.122)$$

Burada yer alan C_e ise elektrik satış fiyatıdır.

10.05.2005 tarihinde kabul edilen “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” olan 5346 sayılı kanun ile yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda yenilenebilir enerji yatırımlarına teşvik için elektrik enerjisi fiyatlarında alım garantisini YEK destekleme mekanizması ile sunmuştur. Kanun kapsamında 31.12.2015’ ten önce devreye girmiş sistemler için destekleme mekanizması geçerlidir.

Ancak 29.12.2010 tarihinde kabul edilen “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” 6094 sayılı kanun ile yapılan yeni düzenlemeler sayesinde 31.12.2015 tarihine kadar geçerli destek mekanizması 31.12.2020 tarihine kadar uzatılmıştır. 6094 sayılı kanun, I sayılı cetvelde yenilenebilir enerji kaynaklı tesis tiplerine göre uygulanacak alım fiyatları belirtilmiştir (Anonim, 2020).

Çizelge 4.11. Yenilenebilir enerji kaynaklı tesis tiplerine göre uygulanacak alım fiyatları (Anonim, 2020)

I Sayılı Cetvel	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları <i>cent/kWh</i>)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Daha önceki bölümlerde, parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş enerjisi kaynaklı Kalina çevrimi ayrıntılı olarak tanıtılmış ve çözümlenmesi için kullanılan matematiksel model açıklanmıştır. Güneş kolektörü sistemi, referans çalışma ile (Rahbar ve ark., 2019) tam gelişmiş akış şartları için doğrulanmış ve doğrulama değerleri aşağıda yer alan Çizelge 5.1' de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Güneş enerjisi modeli için referans çalışma (Rahbar ve ark., 2019) ile mevcut çalışma arasındaki doğrulama değerleri

Sıcaklık Değeri	Referans Çalışma((Rahbar ve ark., 2019)	Mevcut Çalışma
T_1 -[°C]	78,03	78,89
T_2 -[°C]	78,35	79,21
T_3 -[°C]	220,3	221,3
T_4 -[°C]	220,8	221,8
T_5 -[°C]	53,59	55,18
T_6 -[°C]	51,17	52,74
T_g -[°C]	54,95	54,94
T_ϕ -[°C]	85,05	85,12
P_{PV} -[W]	23937	23821

Kalina çevrimi sistemi ise, referans çalışma (Ghaebi ve ark., 2018) ile doğrulanmış ve doğrulama değerleri aşağıda yer alan Çizelge 5.2' de belirtilmiştir.

Çizelge 5.2. Kalina çevrimi modeli için referans çalışma (Ghaebi ve ark., 2018) ile mevcut çalışma arasındaki doğrulama değerleri

Bölge	Akışkan	H. Ghaebi ve ark	Mevcut Çalışma	H. Ghaebi ve ark	Mevcut Çalışma	H. Ghaebi ve ark	Mevcut Çalışma	H. Ghaebi ve ark	Mevcut Çalışma	H. Ghaebi ve ark	Mevcut Çalışma	H. Ghaebi ve ark	Mevcut Çalışma		
		T (K)	T (K)	P (kPa)	P (kPa)	X(-)	X(-)	h (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	s (kJ/kgK)	m (kg/s)	m (kg/s)	\dot{E}_x (kW)	\dot{E}_x (kW)
1	$NH_3 - H_2O$	433,15	433,15	4919	4919	0,6299	0,6299	985,9	985,9	3,081	3,081	21,94	21,94	274019	280050
2	$NH_3 - H_2O$	433,15	433,15	4919	4919	0,9094	0,9094	1627	1627	4,589	4,589	9,232	9,232	170558	171559
3	$NH_3 - H_2O$	433,15	433,15	4919	4919	0,4269	0,4269	520,5	520,5	1,985	1,985	12,71	12,71	103461	108897
4	$NH_3 - H_2O$	319,7	319,07	4919	4919	0,4269	0,4269	-25,81	-25,81	0,5287	0,5287	12,71	12,71	102036	107472
5	$NH_3 - H_2O$	319,81	319,81	823	823	0,4269	0,4269	-25,81	-25,81	0,544	0,544	12,71	12,71	101978	107414
6	$NH_3 - H_2O$	356,54	356,53	823	823	0,9094	0,9094	1383,03	1383,03	4,710	4,710	9,232	9,232	167975	168578
7	$NH_3 - H_2O$	342,16	342,15	823	823	0,6299	0,6299	567	567	2,307	2,307	21,94	21,94	259889	276393
8	$NH_3 - H_2O$	312,1	312,10	823	823	0,6299	0,6299	-41,96	-41,96	0,4414	0,4414	21,94	21,94	268730	275480
9	$NH_3 - H_2O$	313,06	313,06	4919	4919	0,6299	0,6299	-34,66	-34,66	0,4472	0,4472	21,94	21,94	168853	275650
10	$NH_3 - H_2O$	378,69	378,69	4919	4919	0,6299	0,6299	281,74	281,74	1,363	1,363	21,94	21,94	169804	278349
11	Su	443,15	443,15	1800	1800	-	-	719,8	719,83	2,041	2,041	100	100	11843	11843
12	Su	407,34	407,34	1800	1800	-	-	565,3	565,33	1,677	1,677	100	100	7230	7230

Bu bölümde elde edilen sonuçlar paylaşılacak ve belirli çıkarımlar yapılacaktır. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’ de doğrulaması yapılan güneş enerjisi ve Kalina çevrimi sistemleri entegre edilerek yeni bir sistem tasarlanmıştır. Çizelge 5.3’ te tasarlanan sistemin çözümlenmesinde kullanılan veriler grafiği yer almıştır. Çizelge 5.4’ te ise Şekil 3.1’ de görülen tasarlanmış olan bu sistemin her bir noktası için 14 bar basınç, 900 W/m^2 güneş radyasyonu (I_G) ve 11,46 konsantrasyon oranı şartları için sıcaklık, basınç, amonyak derişimi, entalpi, entropi, kütleli debi ve ekserji değerleri verilmiştir.

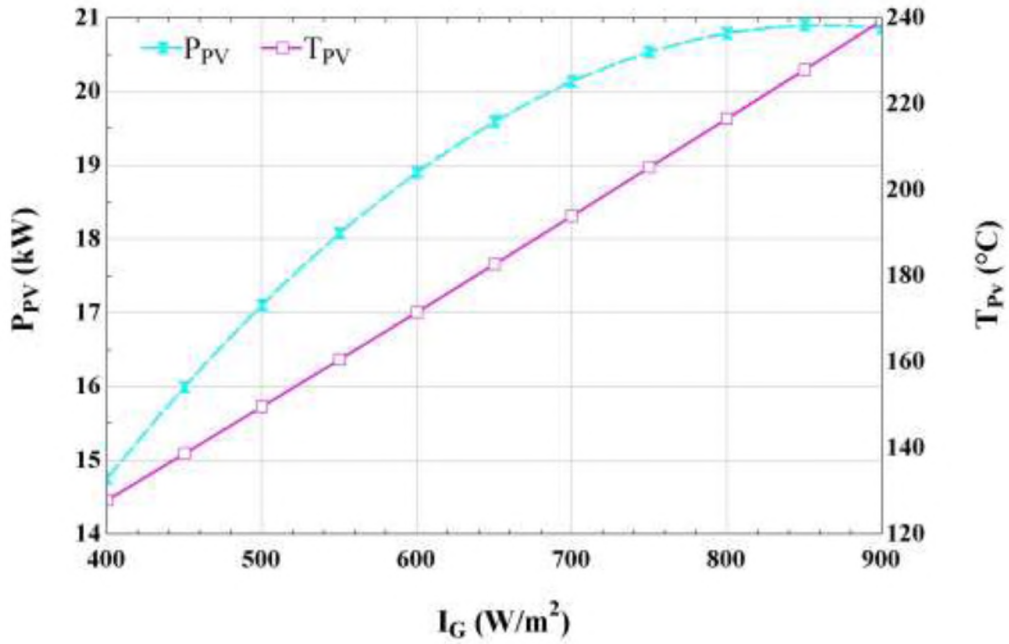
Çizelge 5.3. Tasarlanan sistemin çözümlenmesinde kullanılan veriler

Parametreler	Değerler
Güneş ışınları radyasyon şiddeti- (I_G)- [W/m^2]	900
Konsantrasyon oranı	11,46
Güneş kolektörü çıkış sıcaklığı- (T_{11})- [°C]	123
Parabolik oluk tipi fotovoltaik güneş kolektör sistemi kütleli debisi -(m_{HTP})- [kg/s]	1
Pinch Noktası- ($\Delta T_{pp,Ev}$)-[K]	5
Rejeneratör Etkinliği - (ϵ_{Reg})- [%]	95
Türbin Giriş Basıncı- ($P_{Türbin,g}$)- [bar]	14
Türbin İzentropik Verimi- ($\eta_{is,Tür}$)- [%]	85
Türbin Genleşme Oranı (TEO)	2

Çizelge 5.4. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kolektörü entegreli Kalina çevriminin termodinamik özellikleri

Bölge	Akışkan	T (K)	P (bar)	X (-)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	\dot{m} (kg/s)	Ex (kW)
1	$NH_3 - H_2O$ karışımı	352,39	14	0,84	1046	3,556	0,137	2313
2	$NH_3 - H_2O$ karışımı	352,39	14	0,99	1429	4,621	0,08744	1744
3	$NH_3 - H_2O$ karışımı	352,39	14	0,5852	371,4	1,678	0,04961	579,1
4	$NH_3 - H_2O$ karışımı	339,88	14	0,5852	123,8	0,966	0,04961	577,1
5	$NH_3 - H_2O$ karışımı	318,94	7	0,5852	123,8	0,9908	0,04961	576,8
6	$NH_3 - H_2O$ karışımı	316,68	7	0,99	1342	4,67	0,08744	1735
7	$NH_3 - H_2O$ karışımı	318,38	7	0,844	900,9	3,338	0,137	2311
8	$NH_3 - H_2O$ karışımı	291,78	7	0,84	-27,63	0,2509	0,137	2299
9	$NH_3 - H_2O$ karışımı	291,97	14	0,84	-26,12	0,2522	0,137	2299
10	$NH_3 - H_2O$ karışımı	310	14	0,84	59,05	0,5352	0,137	2299
11	Therminol VP-1	396,15	6,596	—	187,2	0,5517	1	37002
12	Therminol VP-1	318,15	6	—	51,94	0,1724	1	36978
13	Therminol VP-1	318,15	6,596	—	51,94	0,1724	1	36978
14	Su	286,78	2	—	57,37	0,2042	1,31	3,79
15	Su	310	2	—	154,5	0,5299	1,31	5,96

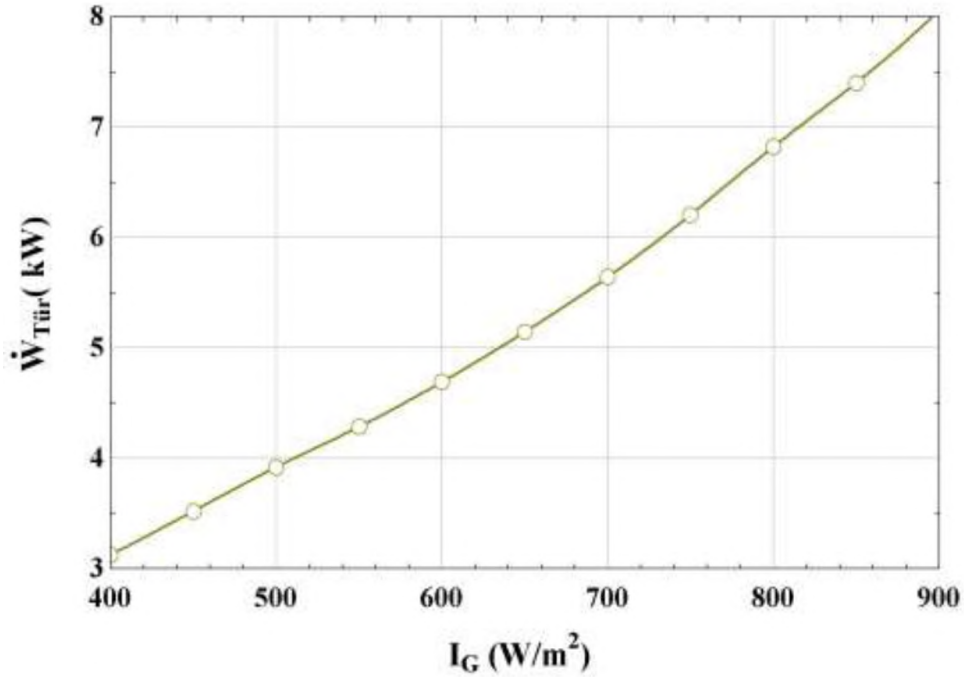
Bu sistem için kütleli debileri, $NH_3 - H_2O$ karışımı oranı, pinch noktaları değeri sabit kabul edilmiştir. Bunun sebebi oluşturduğumuz sistem, bu parametrelerin değişimi ile birlikte ya oldukça verimsiz çalışmakta ya da çalışmamaktadır. Yukarıda teorik analizi verilen yapılan bu çalışmada radyasyon miktarları, konsantrasyon oranı, fotovoltaik panel yüzey alanı, türbin izentropik verimi ve türbin giriş basıncı parametrelerinin değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen güç, panelden elde edilen güç, ısı verim ve ekserji verimi, panel sıcaklığı, üretilen net güç, seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE) ve geri ödeme süresi parametreleri incelenmiştir.



$$\dot{m}_{kft} = 1 \text{ (kg/s)}, P_{vg} = 14 \text{ (bar)}, Cr = 11.46, L_{rec} = 50 \text{ (m)} \Delta T_{pp} = 5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.1. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak panel sıcaklığı ve panelden üretilen elektriksel gücün şematik gösterimi

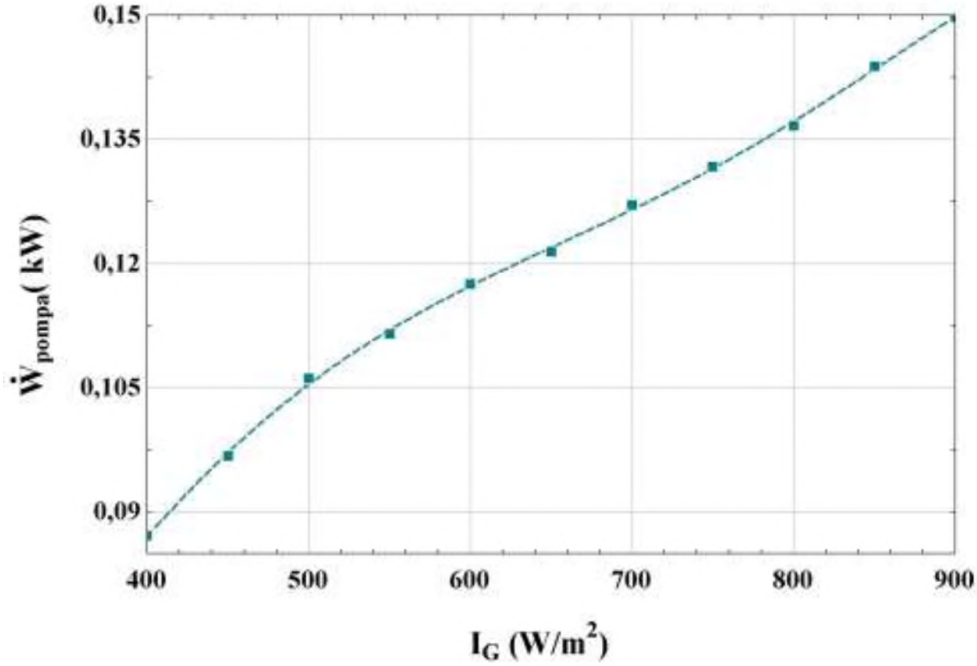
İlk olarak Şekil 5.1' de güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak panel sıcaklığı ve panelden üretilen elektriksel gücün şematik gösterimi belirtilmektedir. Buna göre panel sıcaklığı $400 \text{ } W/m^2$ değerinde yaklaşık $130^{\circ}C$ iken, $900 \text{ } W/m^2$ değerinde panelin üst çalışma sıcaklığı olan $240^{\circ}C$ değerine ulaşmıştır. Elektriksel güç ise radyasyon değişimine bağlı olarak 15 kW ' tan 21 kW değerine artış göstermiştir. Burada değerlendirilmesi gereken bir diğer nokta ise elektriksel gücün radyasyona bağlı olarak azalan eğilimde bir artış göstermesidir. Bu durum panel sıcaklığı artışının fotovoltaik panel verimini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.



$$\dot{m}_{Kfvt} = 1 \text{ (kg/s)}, P_{EV} = 14 \text{ (bar)}, Cr = 11.46, L_{rec} = 50 \text{ (m)}, \Delta T_{pp} = 5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.2. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi

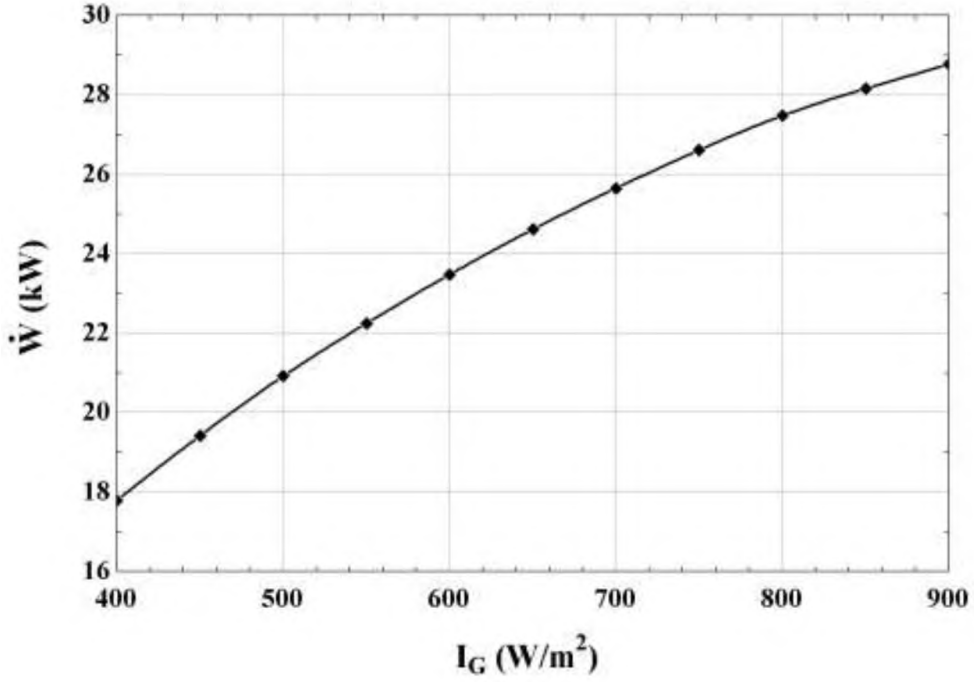
Şekil 5.2' de güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi yer almaktadır. Radyasyon miktarının 400 W/m^2 ile 900 W/m^2 değer aralığındaki artışına bağlı olarak türbinden elde edilen elektriksel gücün %62,5 artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Buradaki artışın temel sebebi radyasyon miktarının artışına bağlı olarak, paneli soğutmak için kullanılan iş akışkanı olan Terminol VP-1' inde sıcaklığının artmasıdır ve dolayısıyla yüksek ısıda çıkan iş akışkanı Kalina çevrimine daha yüksek sıcaklıkta bir kaynak sağlayacağı için türbinden elde edilen güçte buna paralel olarak artış göstermiştir. Buradaki sonuçlar Şekil 5.1 ile birlikte incelendiğinde PV panelden elde edilen elektriksel güç, türbinden elde edilen elektriksel gücün yaklaşık 3 katı olarak gözlemlenmiştir. Türbinden elde edilen elektriksel gücün PV panele göre daha düşük olmasına karşın azımsanmayacak bir seviyede olduğu da görülmektedir.



$$\dot{m}_{Kv1}=1 \text{ (kg/s)}, P_{EV}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, L_{rec}=50 \text{ (m)} \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.3. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi

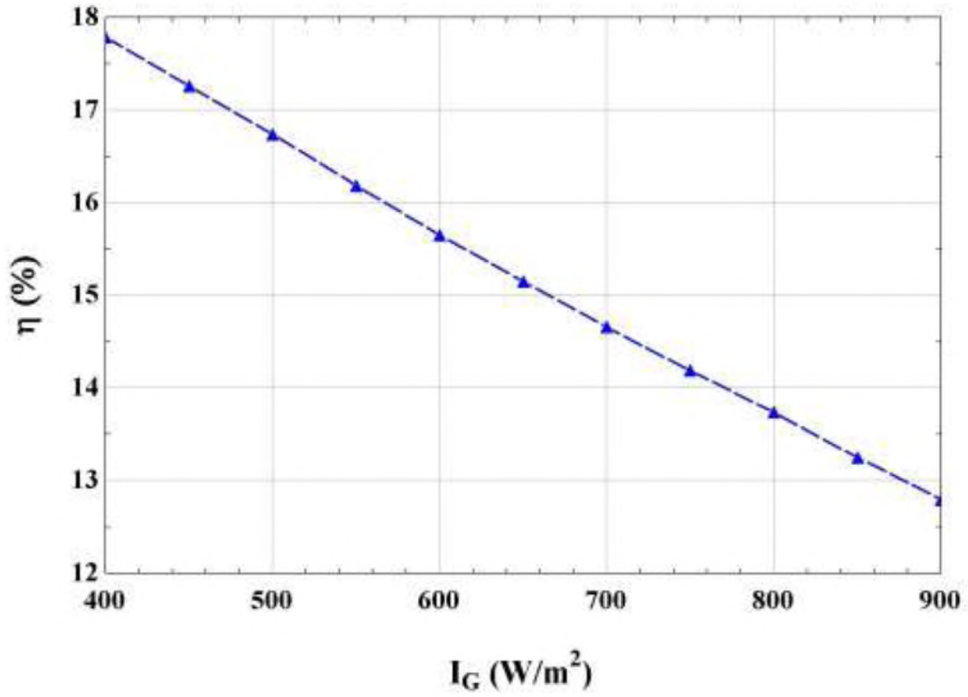
Şekil 5.3' te güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak pompada harcanan gücün şematik gösterimi yer almaktadır. Güneş radyasyonu miktarının 400 W/m^2 ile 600 W/m^2 değer aralığındaki değişiminde azalma eğiliminde bir artış gözlemlenmiş ve yaklaşık $0,035 \text{ kW}$ değerinde çok küçük bir artış belirlenmiştir. Güneş radyasyonu miktarının 600 W/m^2 ile 900 W/m^2 değer aralığındaki değişiminde ise artma eğilimli bir artış gözlemlenmiştir ve yaklaşık bu değer $0,03 \text{ kW}$ ' tır. Genel olarak değerlendirildiğinde ise doymuş sıvı fazındaki karışımı sıkıştırmak için az miktarda bir enerji gerektiğinden pompada tüketilen gücünde oldukça küçük değerler olduğu görülmektedir. Radyasyon miktarı artışına bağlı olarak üretilen elektriksel gücün artışına kıyasla pompa gücündeki bu artışın ihmal edilebilir düzeyde küçük olduğu da tespit edilmiştir.



$$\dot{m}_{KİT}=1 \text{ (kg/s)}, P_{EV}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, L_{rec}=50 \text{ (m)} \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.4. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi

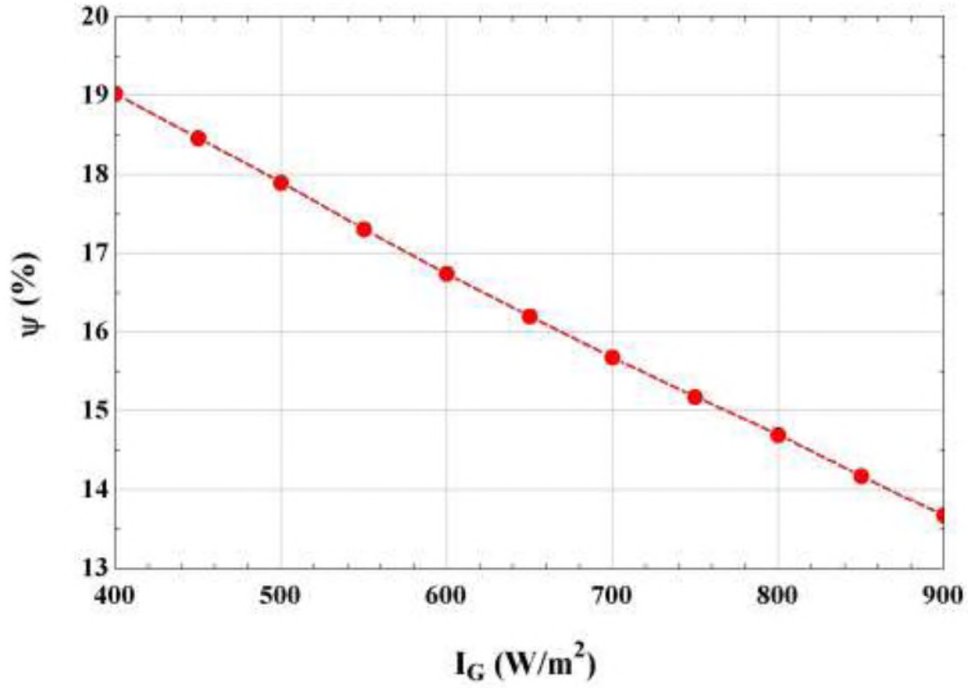
Daha önceki grafiklerde güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak PV panelden ve türbinden elde edilen gücün ve pompada tüketilen gücün şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 5.4' te ise güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak sistemde üretilen toplam gücün şematik gösterimi yer almaktadır. Radyasyon miktarının 400 W/m^2 ile 900 W/m^2 aralığındaki değişimi incelendiğinde azalma eğiliminde bir artış grafiği olduğu görülmektedir ve elde edilen net gücün yaklaşık %36 artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Modellenen sistemin düşük kaynak sıcaklığına sahip bir sistem olduğu düşünüldüğünde düşük bir radyasyon miktarı olan 400 W/m^2 değeri için dahi 18 kW elektriksel güç üretimi azımsanmayacak bir büyüklüktedir. Genel olarak değerlendirildiğinde elde edilen net gücün yaklaşık %75' inin PV panelden ve yaklaşık %25' inin de türbinden elde edildiği gözlemlenmiştir.



$$\dot{m}_{Kfvt} = 1 \text{ (kg/s)}, P_{EV} = 14 \text{ (bar)}, Cr = 11.46, L_{tec} = 50 \text{ (m)}, \Delta T_{pp} = 5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.5. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak ısı verim değişiminin şematik gösterimi

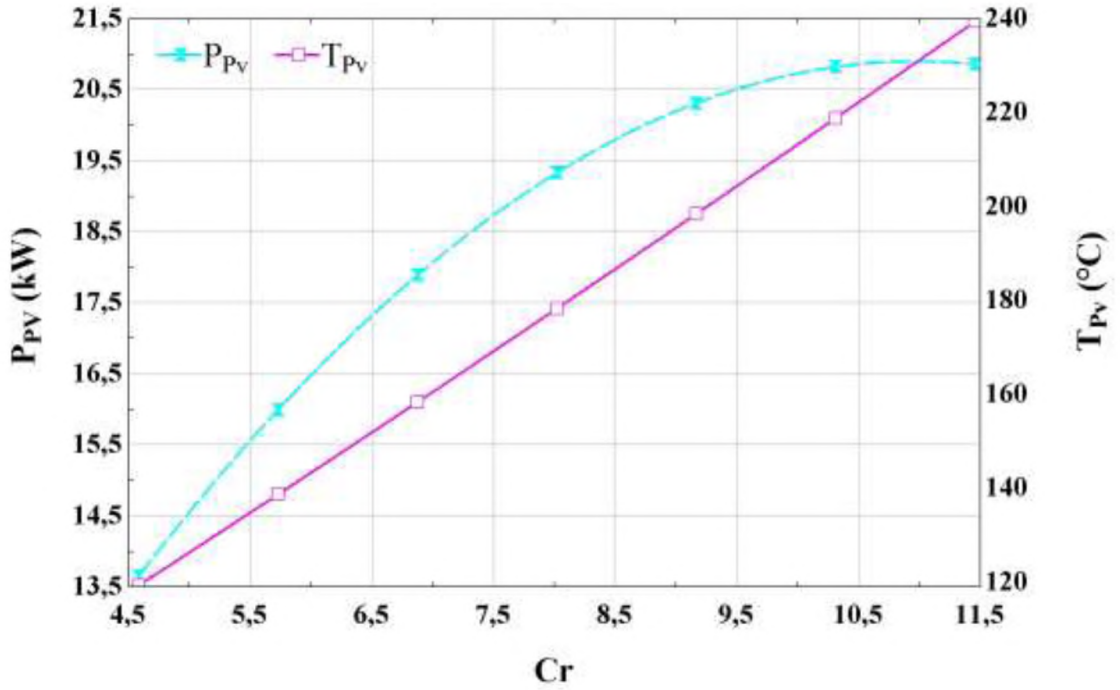
Şekil 5.5' te güneş radyasyonu değişimine bağlı olarak ısı verimdeki değişim incelenmiştir. Verimin, güneş radyasyonunu değerinin 400 W/m^2 olduğu durumda maksimum noktada olduğu ve yaklaşık %18 olduğu gözlemlenmiştir, 900 W/m^2 olduğu durumda ise %5 düşüş gerçekleşerek %12,8 seviyelerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Verimde düşüş görülmesinin nedeni güneşten gelen radyasyon miktarı artışına bağlı olarak panelden üretilen elektriksel güç artsada panel sıcaklığının aşırı artış meydana gelmekte ve bundan dolayı panel verimi önemli ölçüde düşmektedir. Elektriksel gücün büyük bir kısmı güneş panelinde üretildiğinden dolayı bu durum sistem veriminide etkilemekte ve düşürmektedir.



$$\dot{m}_{Kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{EV}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, L_{rec}=50 \text{ (m)} \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.6. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi

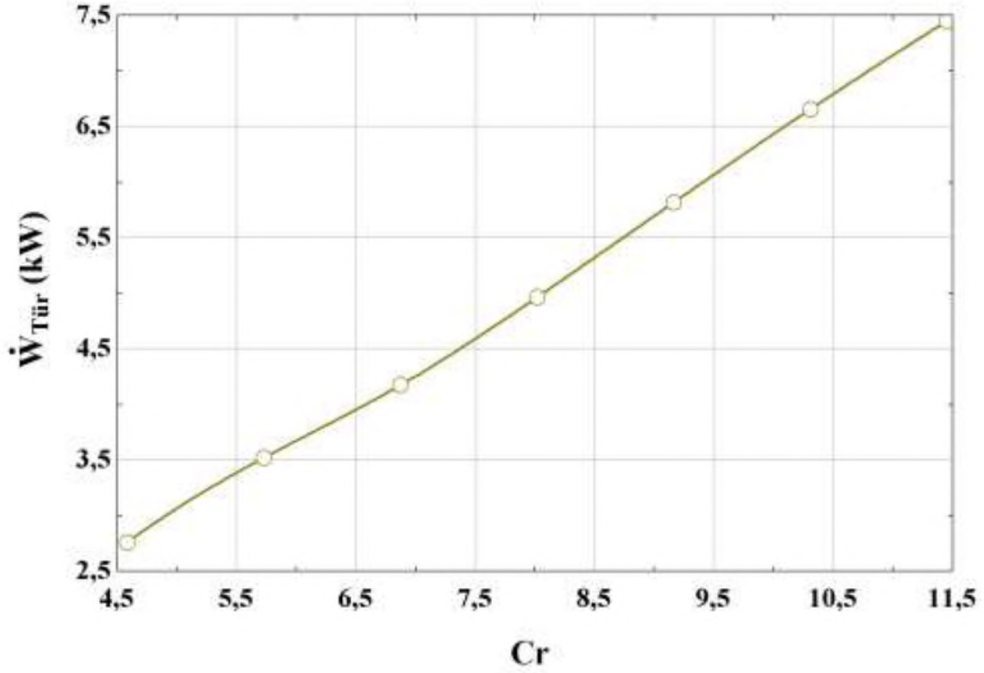
Şekil 5.6' da ise güneş radyasyon miktarı değişimine bağlı olarak ekserji verimindeki değişim incelenmiştir. Şekil 5.6 ile paralel olarak güneş radyasyonunu değerinin 400 W/m^2 olduğu durumda maksimum noktada olduğu ve yaklaşık %19 olduğu gözlemlenmiştir. 900 W/m^2 olduğu durumda ise %5,4' lük bir düşüş gerçekleşerek %13,6 seviyelerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Sistemin tamamı bir kontrol hacmi olarak seçilirse sisteme güneş radyasyonu tarafından aktarılan toplam ekserji radyasyon miktarı değişimine bağlı olarak artmaktadır. Yukarıda bahsedilen radyasyon miktarının artışına bağlı olarak toplam sistem veriminin de düştüğü göz önüne alınırsa ekserji artsa bile üretilen toplam elektriksel güç bu seviyede artmayacaktır. Dolayısıyla da ekserji verimi tıpkı ısı verimi gibi düşüş gösterecektir.



$$\dot{m}_{kfv} = 1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev} = 14 \text{ (bar)}, L_{em} = 50 \text{ (m)}, I_G = 900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp} = 5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.7. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak panel sıcaklığı ve panelden üretilen elektriksel gücün şematik gösterimi

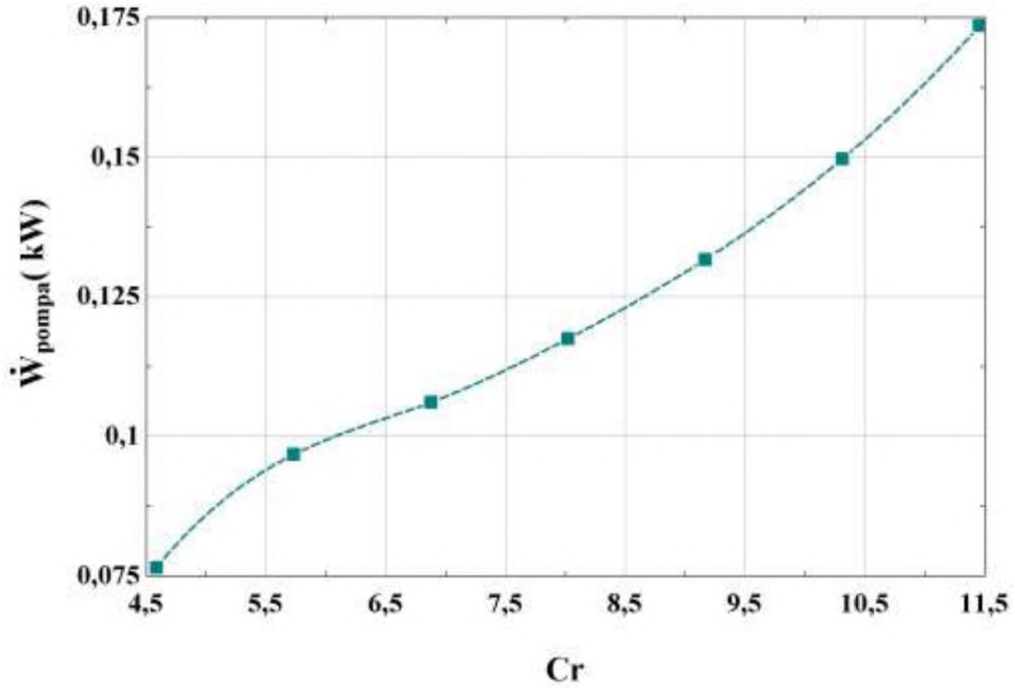
Şekil 5.7’ de konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak panel sıcaklığı ve panelden üretilen elektriksel gücün şematik gösterimi yer almaktadır. Burada konsantrasyon oranı 4,5 ile 11,5 arasında değiştirilmiştir. Bu değerler dışında mevcut sistemin döngüsünü tamamlayamadığı gözlemlenmiştir. Radyasyon miktarı değişimine paralel olarak konsantrasyon artışı da panel sıcaklığı ve üretilen elektriksel gücü artırmaktadır. Buna göre panel sıcaklığı konsantrasyon oranının 4,5 olduğu değerde yaklaşık 120°C iken, konsantrasyon oranının 11,46 olduğu değerde 240°C’ ye ulaşmaktadır. Aynı konsantrasyon oranını değer aralığında elektriksel güç üretimi de yaklaşık 13,5 kW seviyesinden 21 kW seviyesine artmıştır. Radyasyon miktarı artışında görüldüğü gibi konsantrasyon oranında da artış azalma eğilimindedir. Bu durum panel sıcaklığı artışının fotovoltaik panel verimini düşürdüğüünün bir göstergesidir.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.8. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi

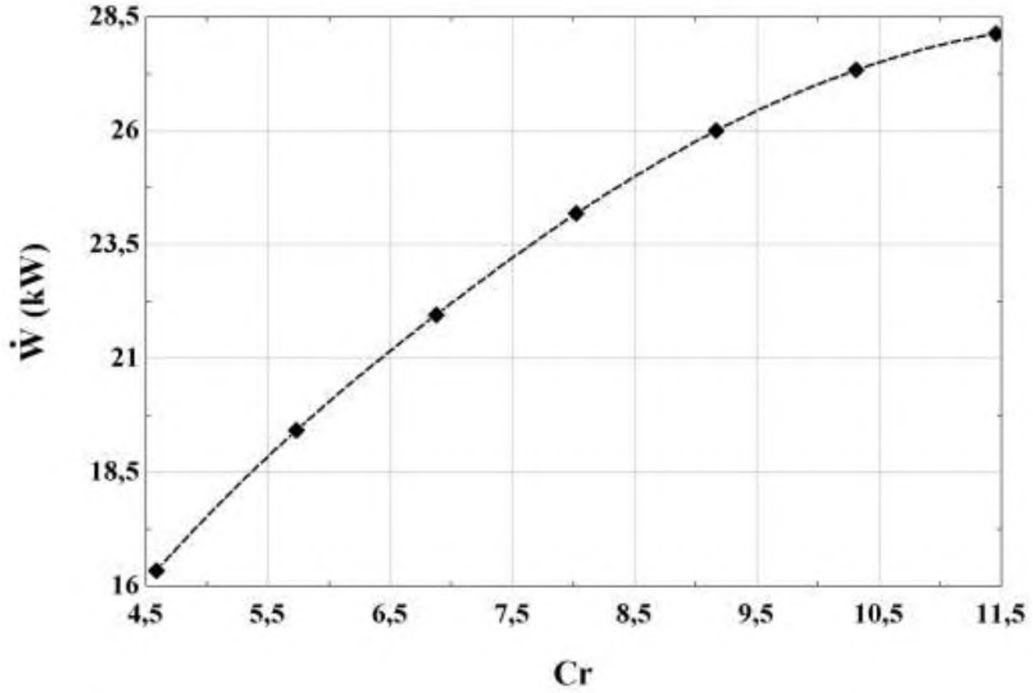
Şekil 5.8’ de konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen elektriksel gücün değişimi gösterilmektedir. Konsantrasyon oranının 4,5 ile 11,5 aralığındaki değişiminde türbinden elde edilen elektriksel gücün yaklaşık %66 artarak 3 kW seviyesinden 7,5 kW seviyesine doğrusal bir şekilde yükseldiği görülmektedir. Şekil 5.8’ de yer alan konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak PV panelden elde edilen elektriksel güç ile kıyaslandığında türbinden elde edilen elektriksel gücün yaklaşık %35 daha küçük olduğu gözlemlenmektedir. Tıpkı radyasyon miktarı artışı olduğu gibi konsantrasyon miktarının artışı da PV panel sıcaklığını artıracak ve bu artışa bağlı olarak da panelden çıkan iş akışkanının sıcaklığı artacaktır. Sıcaklığı artan iş akışkanı Kalina çevrimine yüksek sıcaklıkta bir kaynak sağlayacak ve Kalina çevriminin türbininden de daha fazla güç elde edilecektir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.9. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi

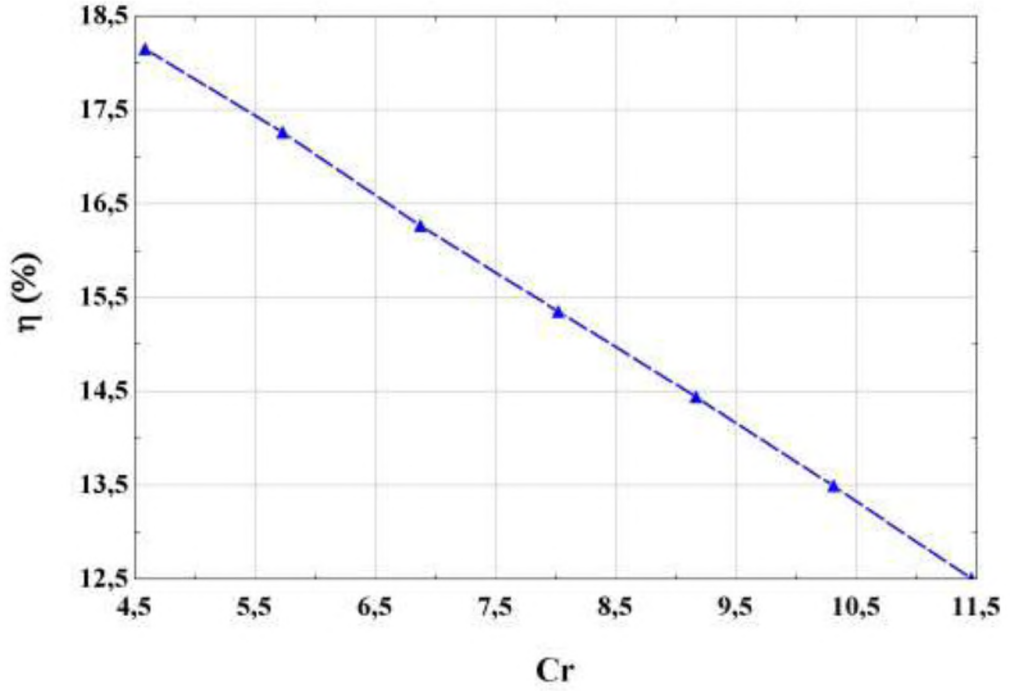
Şekil 5.9' da konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak pompada harcanan gücün şematik gösterimi yer almaktadır. Burada konsantrasyon oranının 4,5 ile 8 aralığındaki değişiminde grafikte azalma eğiliminde bir artış görülmüş ve yaklaşık 0,045 kW değerinde küçük bir artış belirlenmiştir. Konsantrasyon oranının 8 ile 11,5 aralığındaki değişiminde ise grafikte artma eğiliminde bir artış görülmüş ve yaklaşık 0,055 kW değerinde küçük bir artış belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında ise doymuş sıvı fazındaki karışımı sıkıştırmak için gerekli enerji az olacağı için beklendiği üzere sistemde toplam 0,1 kW (100W) değerinde bir artış gözlemlenmiştir. Burada tüketilen gücün, sistemden elde edilen toplam elektriksel güç ile kıyaslandığında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu gözlemlenmektedir.



$$\dot{m}_{kfvT}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.10. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi

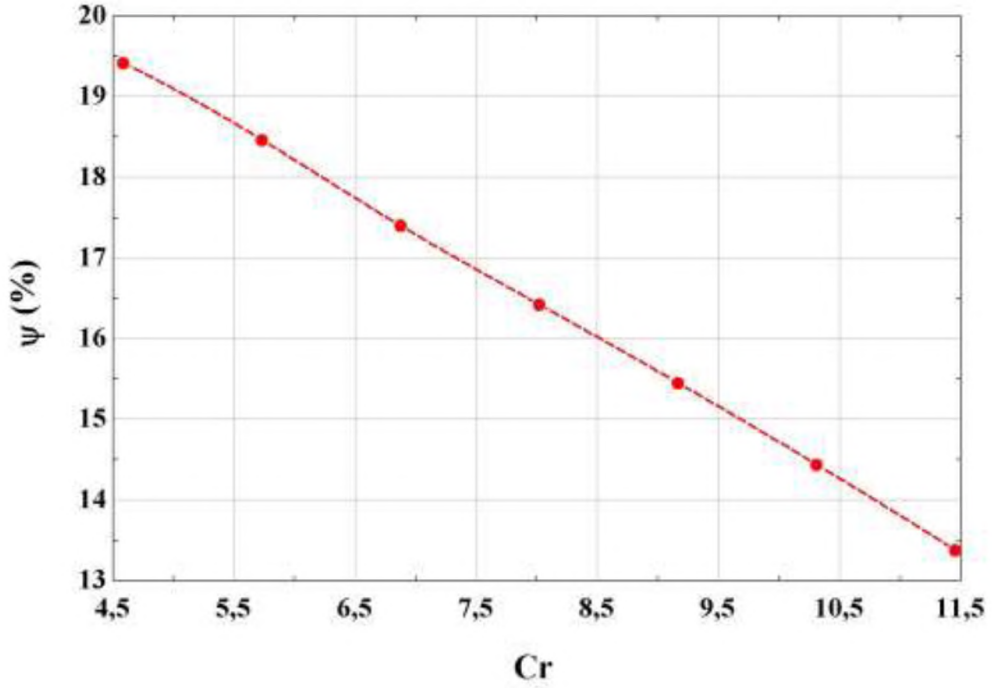
Bir diğer parametre olan konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi Şekil 5.10' da incelenmiştir. Konsantrasyon oranının 4,5 ile 11,5 aralığındaki değişiminde elde edilen net elektriksel gücün yaklaşık %44 artış göstererek 16 kW seviyelerinden 28,5 kW seviyelerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Üretilen bu net elektriksel gücün yaklaşık %75' inin PV panelden kalan kısmının ise türbinden elde edildiği görülmektedir. Şekil 5.5' te yer alan güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimine de benzer şekilde konkav bir eğri olduğu gözlemlenmiştir. Bilindiği üzere elektriksel gücün büyük bir kısmı PV panel tarafından üretilmektedir ve konsantrasyon artışı panel sıcaklığını artıracak ve dolayısıyla panel verimini düşürecektir. Bu durum konsantrasyon oranı artışına bağlı olarak elektrik gücün azalma eğiliminde bir artış grafiği olmasının temel sebebidir.



$$\dot{m}_{kfvT}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.11. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi

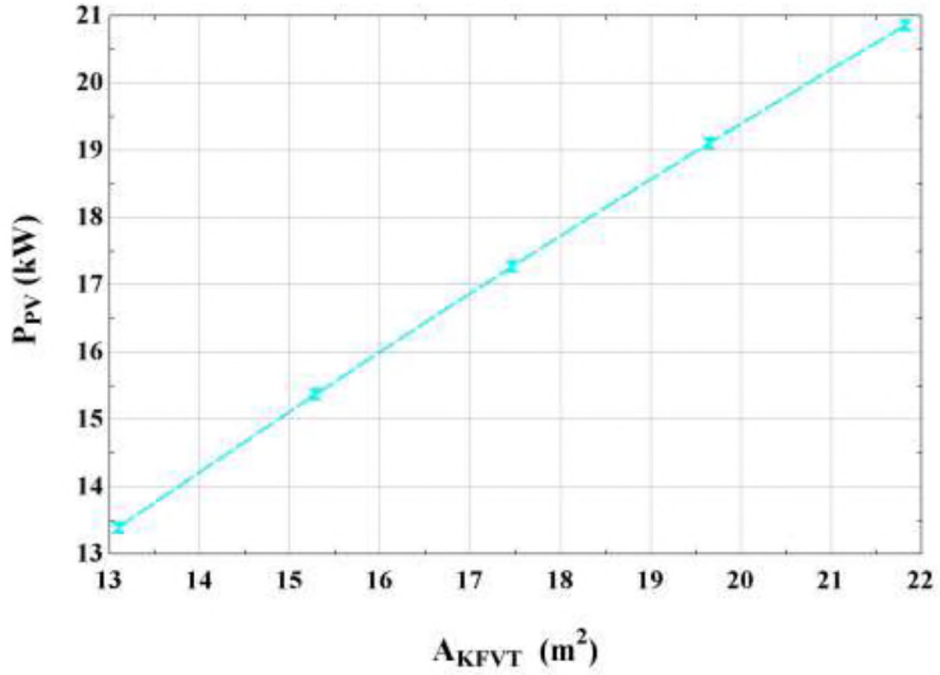
Şekil 5.11' de konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi yer almaktadır. Konsantrasyon oranının 4,5 olduğu durumda ısı veriminin maksimum noktada olduğu ve yaklaşık %18 olduğu gözlemlenmiştir, konsantrasyon oranının 11,5 olduğu durumda ise ısı veriminin %12,5 seviyelerine düştüğü gözlemlenmektedir. Verimde düşüş görülmesinin nedeni konsantrasyon oranı artışına bağlı olarak panel sıcaklığında meydana gelen artış panel verimi de önemli ölçüde düşürmektedir. Elektriksel gücün büyük bir kısmı güneş panelinde üretildiğinden dolayı bu durum sistem veriminide etkilemekte ve düşürmektedir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.12. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi

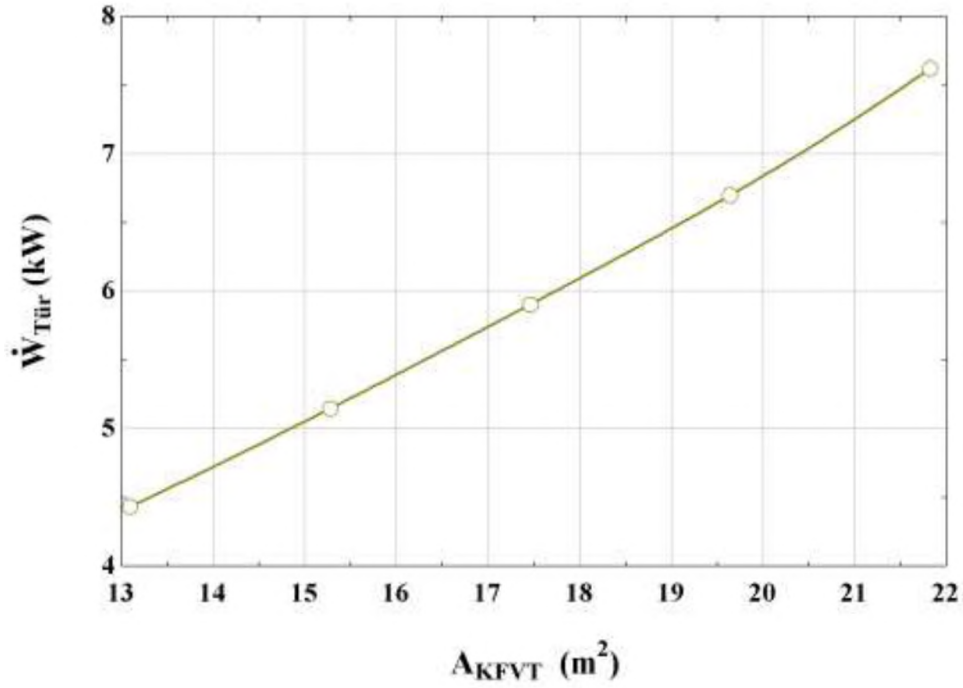
Şekil 5.12' de konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak ekserji verimindeki değişim incelenmiştir. Şekil 5.12 ile paralel olarak konsantrasyon oranının 4,5 ile 11,5 aralığındaki değişiminde ekserji veriminin yaklaşık %19,5 seviyelerinden %13,5 seviyelerine %6' lık doğrusal bir şekilde verim düşüşü olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 5.7' de yer alan güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişimi incelemesine benzer bir şekilde konsantrasyon artışı, tüm sistem bir kontrol hacmi olarak düşünüldüğünde giren ekserjiyi önemli ölçüde artıracak ancak bu artışa paralel olarak bir elektriksel güç üretimi olmayacaktır. Bu durum ekserji veriminin düşmesinin temel sebebi olmuştur.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.13. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak panelden üretilen gücün değişiminin şematik gösterimi

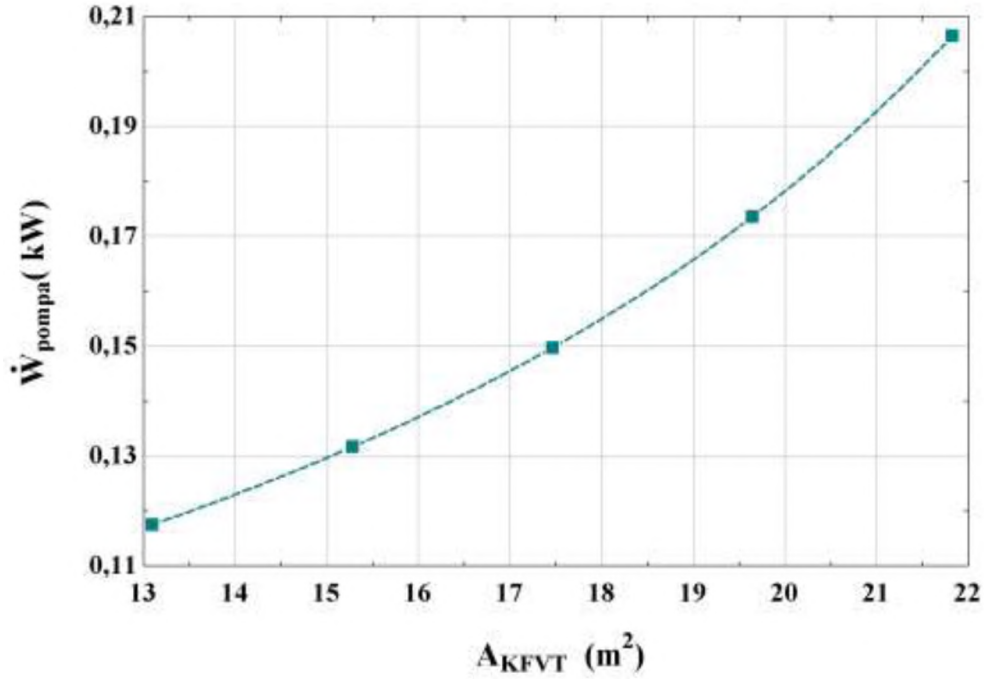
Şekil 5.13' te fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak panelden üretilen gücün değişiminin şematik gösterimi yer almaktadır. Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi panelin yüzey alanının artışına bağlı olarak elektriksel gücün artması beklenen bir durumdur. Fotovoltaik panel alanı 13 m^2 ' den 22 m^2 ' ye yükselirken üretilen elektriksel güç miktarı doğrusal bir şekilde artmış ve $13,5 \text{ kW}$ ' tan 21 kW ' a yaklaşık %35 artış göstermiştir. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak panelden üretilen elektriksel güç yaklaşık 6 kW , konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak panelden üretilen elektriksel güç ise yaklaşık $7,5 \text{ kW}$ ' tır.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.14. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi

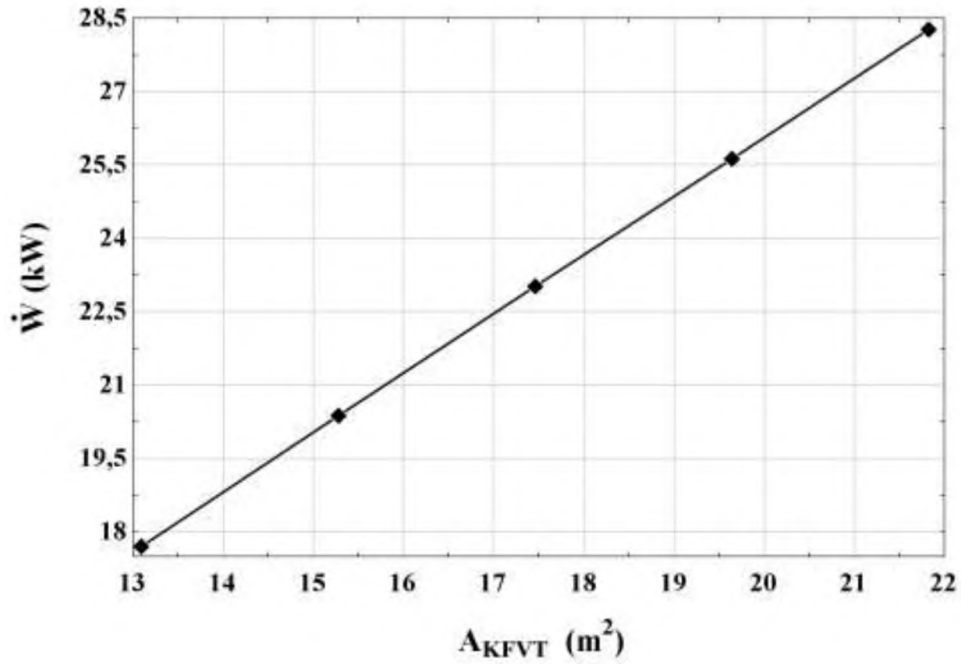
Şekil 5.14' te panel alanına bağlı olarak türbinden elde edilen elektriksel güç değişiminin şematik gösterimi görülmektedir. Panelin alanının artması panel sıcaklığını değiştirmeyecektir. Ancak panelin boyu uzadığında iş akışkanı ile panel arasındaki temas alanı artacak dolayısıyla iş akışkanı panelden daha yüksek sıcaklıkta çıkacaktır. Böylece iş akışkanı Kalina çevrimine daha yüksek sıcaklıkta bir kaynak sağlayacaktır. Fotovoltaik panel alanı 13 m^2 ' den 22 m^2 ' ye yükselirken türbinden elde edilen güç $4,5 \text{ kW}$ ' tan $7,5 \text{ kW}$ ' a yaklaşık %40' lık bir artış göstermiştir.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.15. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi

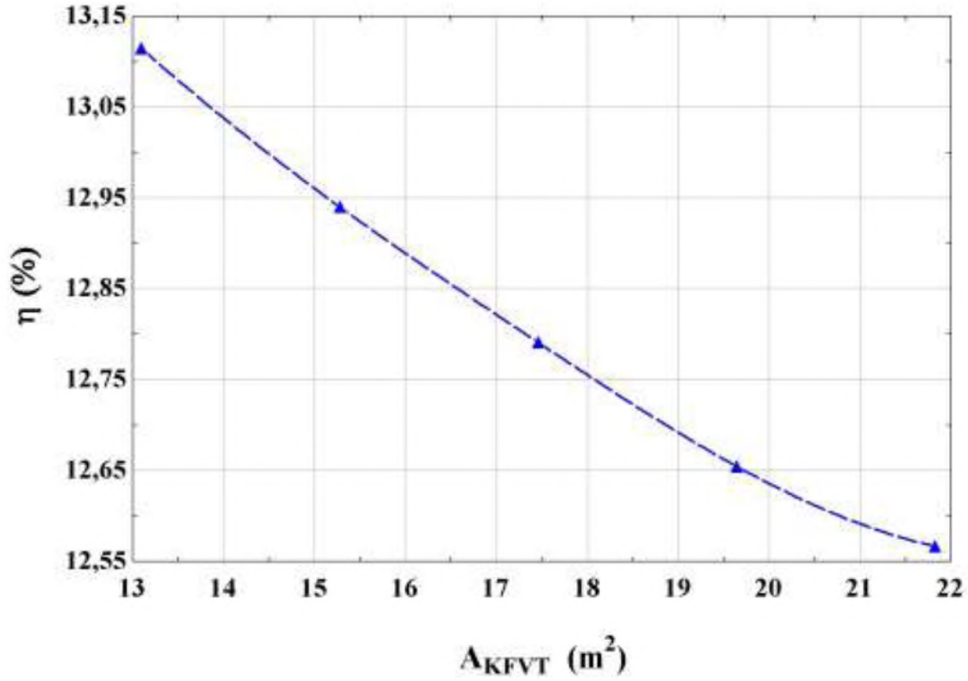
Şekil 5.15' te panel alanına bağlı olarak pompada harcanan gücün değişimi görülmektedir. Burada fotovoltaik panel alanı 13 m^2 ' den 22 m^2 ' ye yükselirken pompada tüketilen gücün $0,12 \text{ kW}$ seviyelerinden $0,21 \text{ kW}$ seviyelerine yaklaşık %42'lik bir artış gösterdiği görülmüştür. Alan artışına bağlı olarak pompada kullanılan elektriksel güç yaklaşık $0,1 \text{ kW}$ artmıştır. Bu da radyasyon miktarı ve konsantrasyon oranı değişimindeki pompa da harcanan güç artışı ile benzerdir. Tüketilen gücün sistemden elde edilen toplam elektriksel güç ile kıyaslandığında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu gözlemlenmektedir.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.16. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi

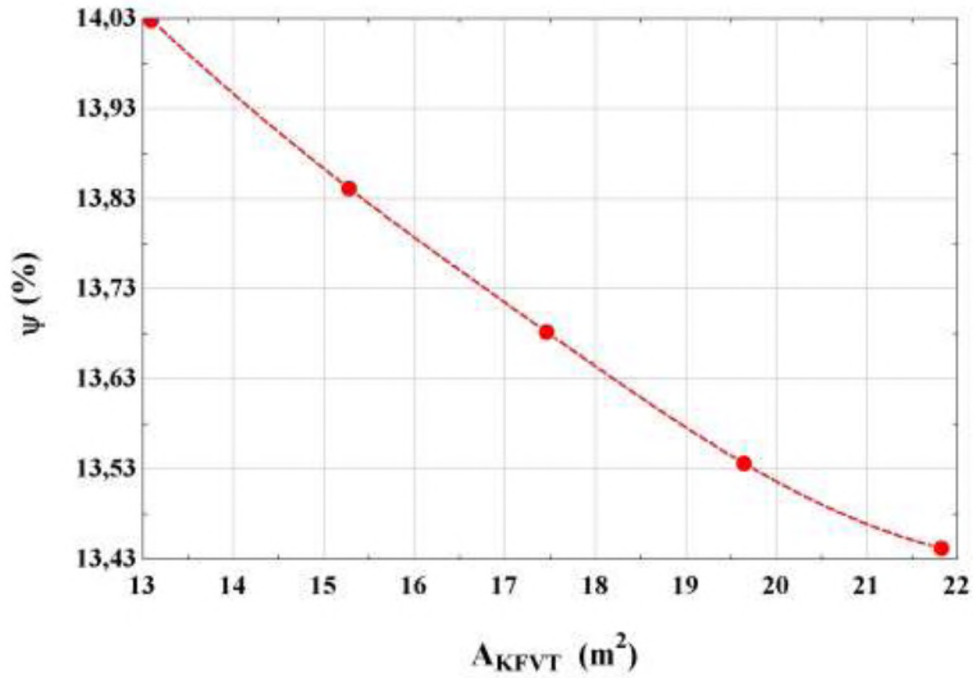
Şekil 5.16' da fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi yer almaktadır. Fotovoltaik panel alanının 13 m^2 ' den 22 m^2 ' ye olan değişiminde elde edilen net gücünde yaklaşık olarak %37,5 oranında doğrusal bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Modellenen sistemde en küçük fotovoltaik panel alanı seçiminde dahi sistemden yaklaşık olarak 18 kW elektrik bu tasarım için üretimi oldukça umut vericidir. Üretilen net gücün yaklaşık olarak %74' ünün PV panelden kalan kısmının ise türbinden elde edildiği tespit edilmiştir. Pompada harcanan gücün ise ihmal edilebilecek kadar küçük miktarda olduğu gözlemlenmiştir.



$$\dot{m}_{KFVT}=1 \text{ (kg/s)}, P_{EV}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.17. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak ısıl verimi değişiminin şematik gösterimi

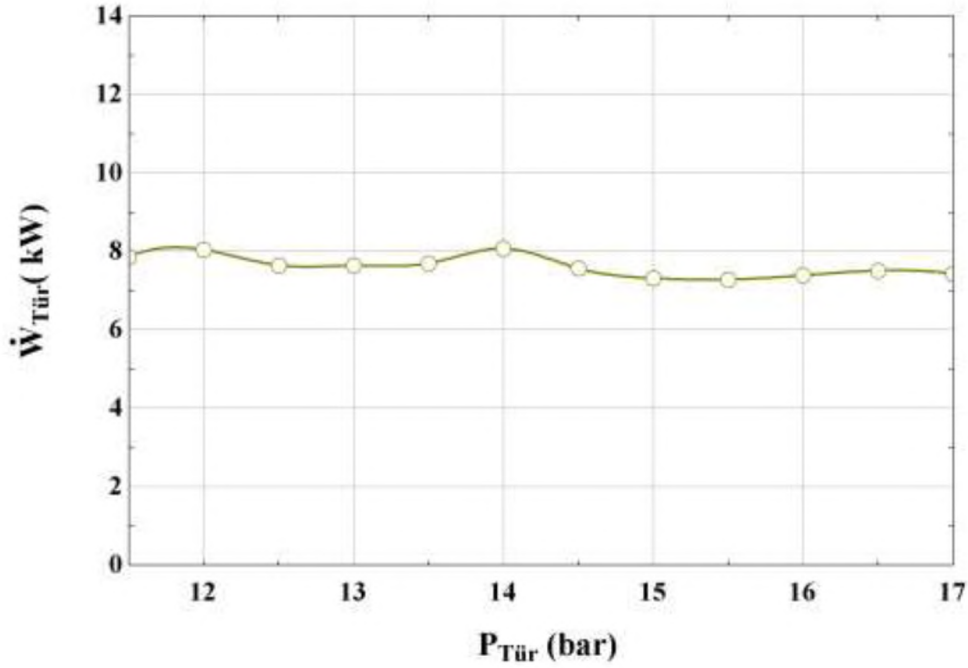
Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik panelin alanına bağlı olarak ısıl verimi değişim grafiği Şekil 5.17' de yer almaktadır. Buna göre alan artışına bağlı olarak panelin veriminde önemli bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak daha önce de bahsedildiği gibi panel çıkış sıcaklığı bir miktar artmaktadır. Bu durum akışkanın entalpisini de bir miktar artıracak ve Kalina çevrimine daha yüksek enerjide bir kaynak sağlayacaktır. Ancak Kalina çevriminin veriminden dolayı bu artan enerjinin tamamı çevrim tarafından elektrik enerjisine çevrilemeyecektir. Bu durum küçük bir miktar verim düşüşüne sebep olmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde alan artışına bağlı olarak verimin sadece %0,55 düştüğü gözlemlenmiştir.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.18. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi

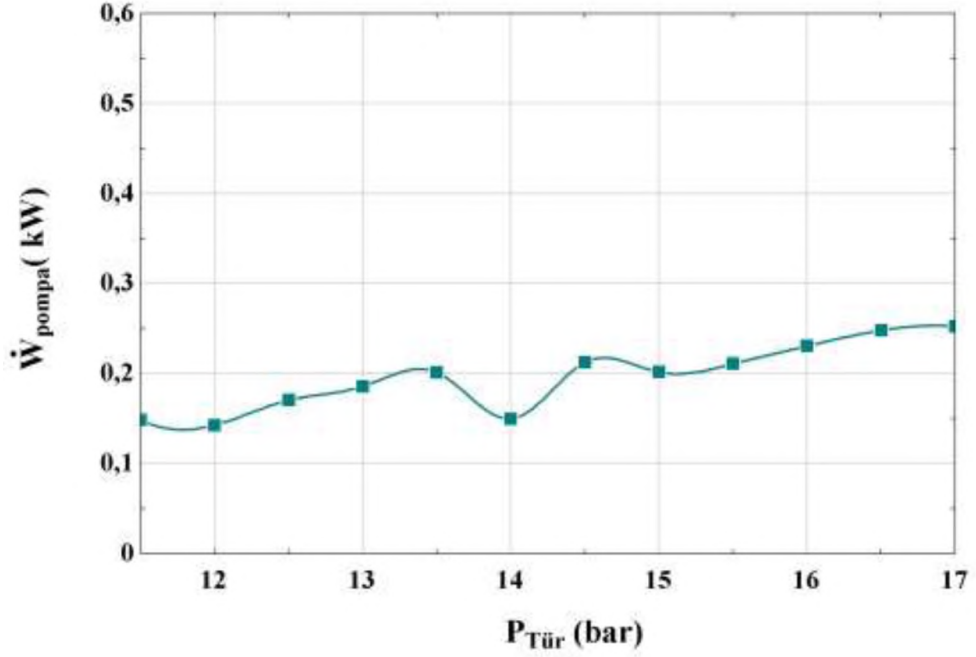
Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik panel alanına bağlı olarak ekserji verimi grafiği Şekil 5.18' de yer almaktadır. Panel alanının 13 m^2 olduğu durumda ekserji veriminin maksimum noktada olduğu ve yaklaşık %14 seviyelerinde olduğu gözlemlenmiştir. 22 m^2 olduğu durumda ise yaklaşık %0,6' lık küçük bir düşüş gerçekleşerek yaklaşık %13,43 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Panel alanındaki artışa bağlı olarak sisteme giren ekserji küçük bir miktar artacaktır. Ancak elektriksel güçte önemli seviyede bir değişim olmayacaktır. Dolayısıyla önemli bir azalma olmamakla beraber konveks şeklinde bir düşüş gözlemlenmiştir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.19. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi

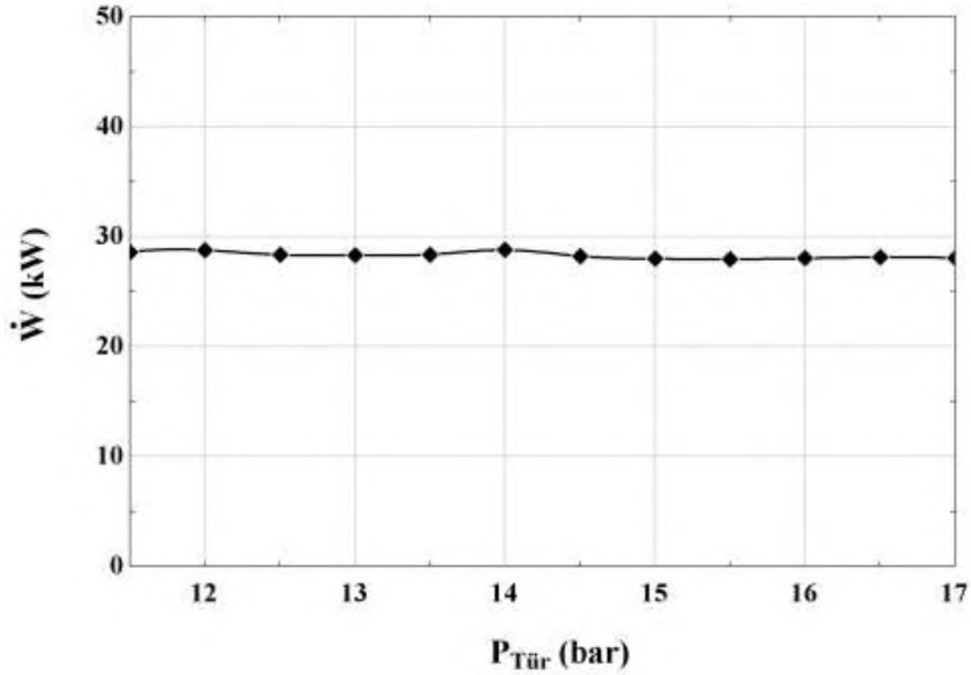
Şekil 5.19’ da türbin giriş basıncına bağlı olarak türbinden elde edilen elektriksel güç gösterilmektedir. Grafikte görülen eğrinin sinüzoidal olmasının sebebi türbin giriş ve çıkışındaki $NH_3 - H_2O$ karışımının entalpi değerlerinin değişkenlik göstermesidir. Türbin giriş basıncı 11,5 bar’ dan 17 bar’ a yükseldiğinde türbinden üretilen net güç yaklaşık olarak 7,85 kW’ tan 7,45 kW seviyelerine %5 azalarak düşüş göstermiştir. Gerçekleşen düşüş üretilen net güç ile kıyaslandığında küçük bir değerdir. Bu düşüşün sebebi türbin giriş basıncının artışı ile birlikte türbine giren $NH_3 - H_2O$ karışımının fazı kızgın buhardan doymuş buhara doğrudur. Dolayısıyla $NH_3 - H_2O$ karışımının entalpisi küçük bir miktar düşmekte ve üretilen elektriksel güçte buna paralel olarak düşüş göstermektedir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.20. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi

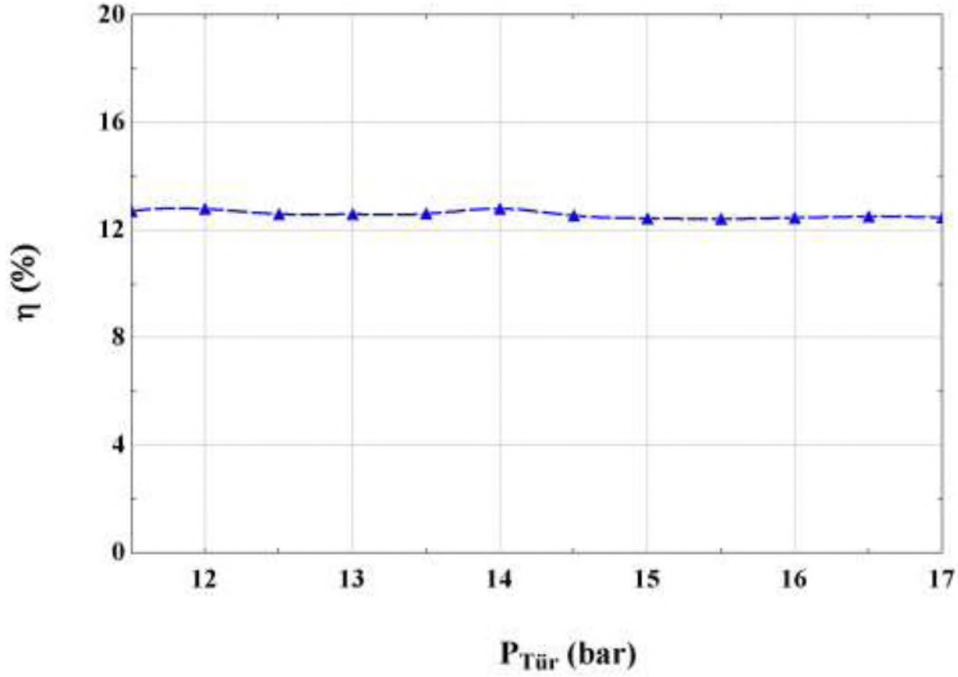
Şekil 5.20' de türbin giriş basıncına bağlı olarak pompanın harcadığı gücün şematik gösterimi yer almaktadır. Türbin giriş basıncı 11,5 bar' dan 17 bar' a yükseldiğinde pompada tüketilen gücün yaklaşık olarak 0,15 kW seviyelerinden 0,25 kW seviyelerine 0,1 kW artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Pompada tüketilen elektriksel güç artışının temel sebebi türbin giriş basıncı arttığı için pompaya giren $NH_3 - H_2O$ akışkanının daha yüksek basınçlara çıkartılması zorunluluğunun ortaya çıkması olmuştur. Bu durumda pompada harcanan elektriksel güç küçük bir miktarda olsa artış göstermiştir. Ayrıca Şekil 5.19' da belirtildiği gibi grafikte yer alan eğrinin sinüzoidal olmasının sebebi türbin giriş ve çıkışındaki $NH_3 - H_2O$ karışımının entalpi değerlerinin değişkenlik göstermesidir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.21. Türbin giriş basıncı değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi

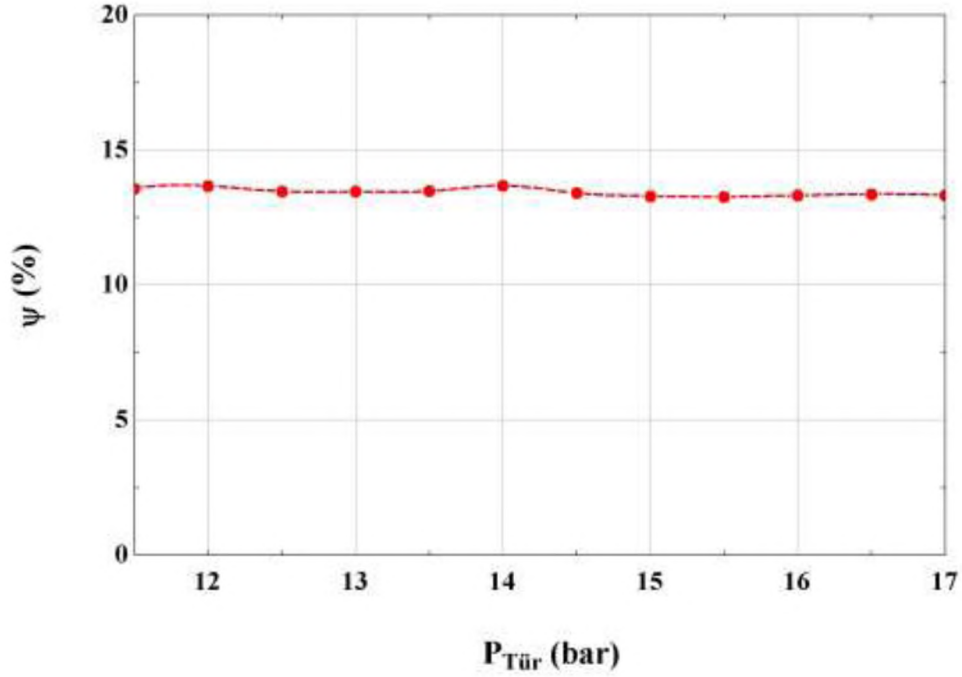
Şekil 5.21’ de türbin giriş basıncına bağlı olarak üretilen net güç değişimi grafiği yer almaktadır. Türbin giriş basıncı 11,5 bar’ dan 17 bar’ a yükseldiğinde elde edilen net gücün de yaklaşık 28,6 kW seviyesinden %2’ lik bir düşüş göstererek 28 kW seviyesine ulaştığı görülmektedir. Şekil 5.19’ da da bahsedildiği üzere türbin giriş basıncının artışı ile birlikte türbine giren NH_3-H_2O karışımının fazı kızgın buhardan doymuş buhara doğru olacak ve buna bağlı entalpide küçük bir düşüş gözlemlenecektir. Bu nedenle türbinden elde edilen elektriksel güç bir miktar düşecek ve sistemden elde edilen elektriksel güçte bir miktar düşecektir. Türbin giriş basıncının değiştirilmesi parametresi PV paneldeki elektriksel üretime etki etmemiştir. Ayrıca daha önce de Şekil 5.20’ de belirtildiği gibi grafikte yer alan eğrinin sinüzoidal oluşması türbin giriş ve çıkışındaki NH_3-H_2O karışımının entalpi değerlerinin değişkenlik göstermesi nedeniyle olmuştur.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.22. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi

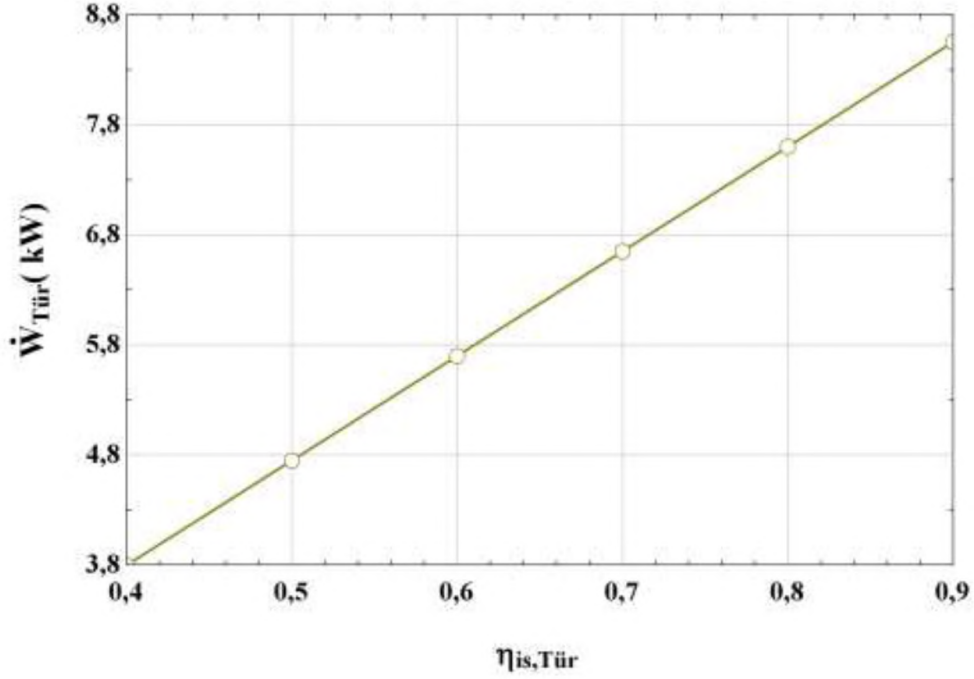
Şekil 5.22’ de türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi yer almaktadır. Türbin giriş basıncı 11,5 bar’ dan 17 bar’ a arttığında sistemin ısı verimi yaklaşık olarak %12,7 değerinden %12,46 değerine %0,24’ lük küçük bir azalış göstermiştir. Ayrıca türbin giriş basıncı artışının Kalina çevriminin beslediği kaynak sıcaklığına bir etkisi olmadığı da bilinmektedir. Bu basınç artışından yalnızca türbinden elde edilen elektriksel güç etkilenmektedir. Şekil 5.19’ da türbinden elde edilen elektriksel gücün bir miktar düştüğü gözlemlenmişti. Elektriksel güçteki bu düşüşe bağlı olarak ısı veriminin küçük bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.23. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi

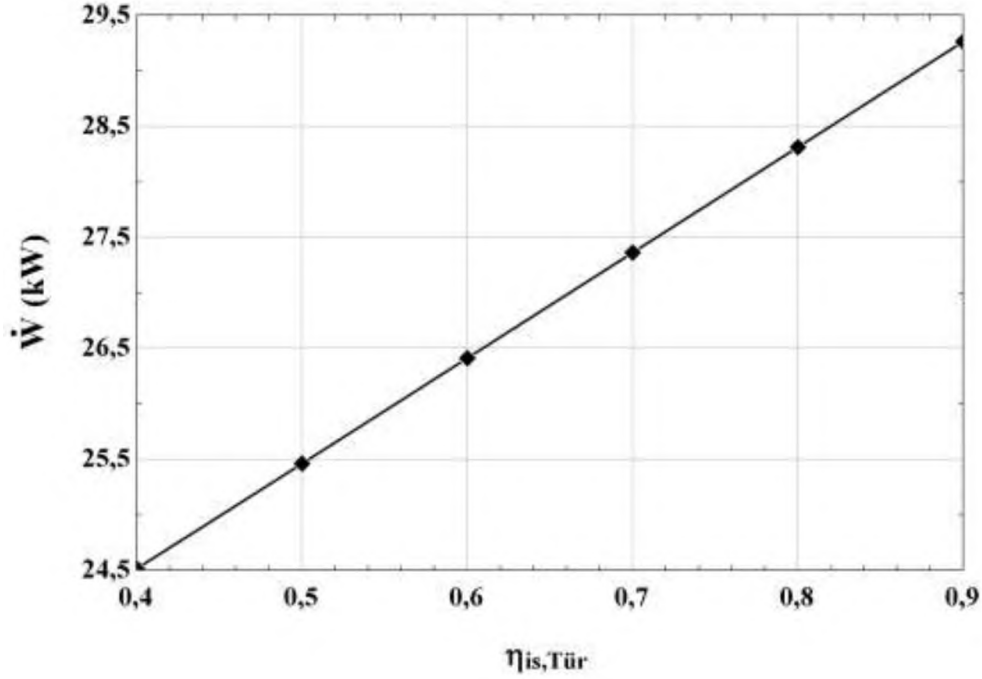
Şekil 5.23' te türbin giriş basıncı değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi yer almaktadır. Türbin giriş basıncı 11,5 bar' dan 17 bar' a yükseldiğinde sistemin ekserji verimi de yaklaşık olarak %13,6 seviyelerinde %13,32 seviyelerine %0,28' lik küçük bir düşüş göstermiştir. Isıl verime paralel olarak türbin giriş basıncındaki artış ekserji verimini hesaplamak için kullanılan ve güneşten gelen toplam ekserji miktarını değiştirmeyecektir. Dolayısıyla türbinden elde edilen elektriksel gücün düşmesine bağlı olarak ekserji verimi de küçük bir miktar düşüş göstermiştir.



$\dot{m}_{kfvI}=1$ (kg/s), $P_{Ev}=14$ (bar), $Cr=11.46$, $L_{em}=50$ (m), $I_G=900$ (W/m²), $\Delta T_{pp}=5$ (K)

Şekil 5.24. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi

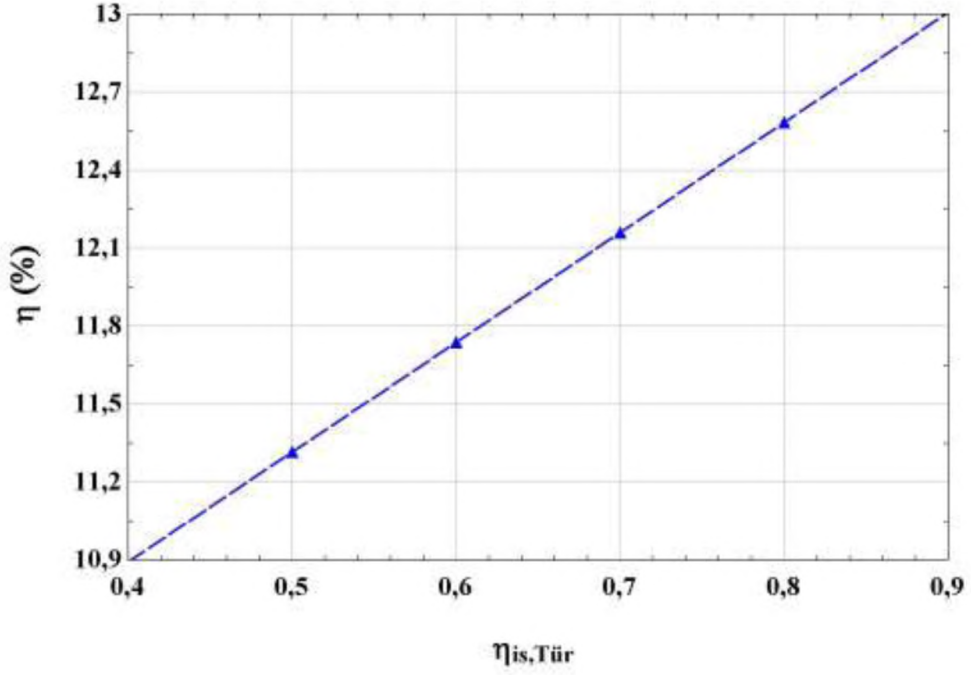
Şekil 5.24' te türbin izentropik verimi değişimine bağlı olarak türbinden elde edilen gücün şematik gösterimi belirtilmiştir. Türbinden elde edilen elektriksel gücü etkileyen en önemli parametre türbin izentropik verimidir. Türbin izentropik veriminin 0,4 ile 0,9 arasındaki değişiminde türbinden elde edilen elektriksel gücün yaklaşık %56 artarak 3,7 kW seviyesinden 8,8 kW seviyesine doğrusal bir şekilde yükseldiği görülmektedir.



$\dot{m}_{kfv1}=1$ (kg/s), $P_{Ev}=14$ (bar), $Cr=11.46$, $L_{em}=50$ (m), $I_G=900$ (W/m²), $\Delta T_{pp}=5$ (K)

Şekil 5.25. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak elde edilen net gücün şematik gösterimi

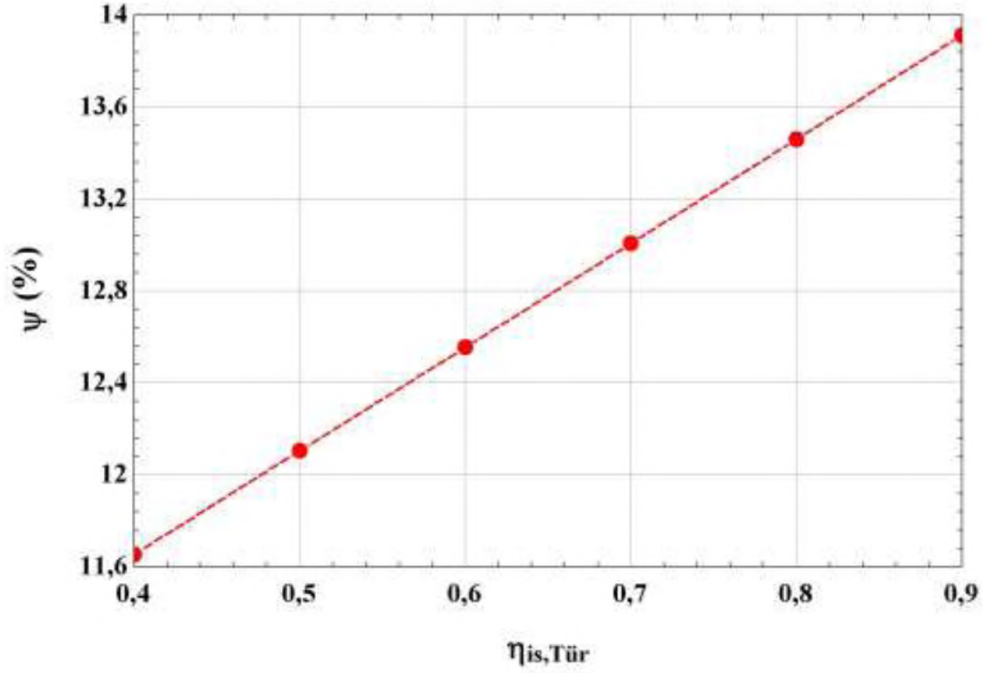
Şekil 5.25' te türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak sistemden üretilen net gücün şematik gösterimi belirtilmiştir. Türbin izentropik veriminin 0,4 ile 0,9 arasındaki değişiminde sistemden elde edilen net elektriksel gücün yaklaşık 24,5 kW' tan 29,2 kW değerine 4,7 kW artış gösterdiği görülmektedir. Türbin izentropik verim artışı panelden elde edilen elektriksel gücü değiştirmeyecek, yalnızca türbinden elde edilen elektriksel gücü etkileyecektir ve sonuç olarak sistemden elde edilen net üretim yaklaşık %16 seviyelerine karşılık gelmektedir.



$\dot{m}_{kfvt}=1$ (kg/s), $P_{Ev}=14$ (bar), $Cr=11.46$, $L_{em}=50$ (m), $I_G=900$ (W/m²), $\Delta T_{pp}=5$ (K)

Şekil 5.26. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak ısı verimi değişiminin şematik gösterimi

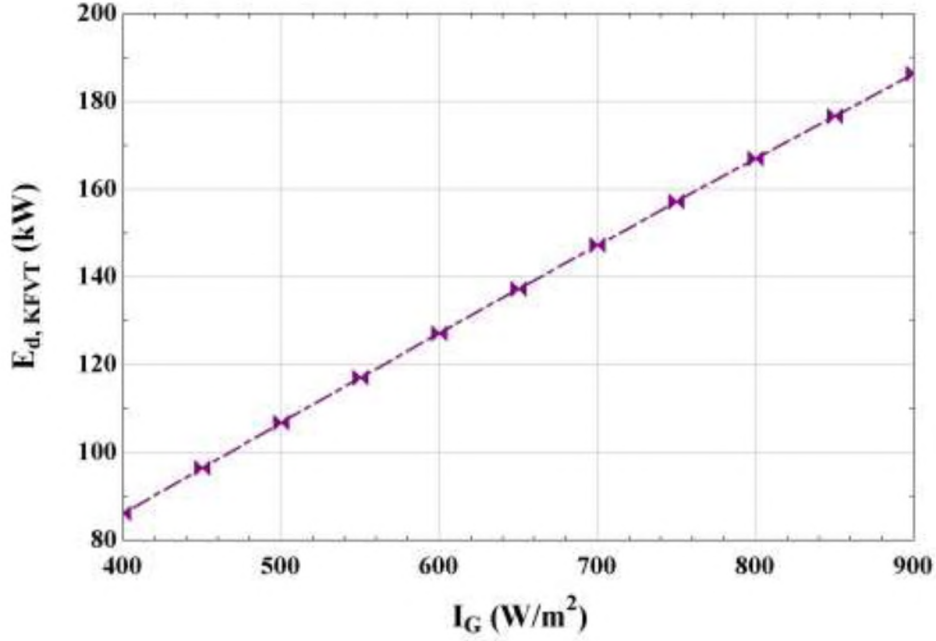
Şekil 5.26' da türbin izentropik veriminin ısı verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Türbin izentropik veriminin 0,4 ile 0,9 arasındaki değişiminde izentropik verimin artışına bağlı olarak türbinden elde edilen elektriksel gücün arttığı bilindiğinden ısı verimi ifadesi de yaklaşık olarak %10,9 değerinden %13 değerine %2,1 doğrusal bir artış göstermiştir.



$\dot{m}_{kfvt}=1$ (kg/s), $P_{Ev}=14$ (bar), $Cr=11.46$, $L_{em}=50$ (m), $I_G=900$ (W/m²), $\Delta T_{pp}=5$ (K)

Şekil 5.27. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak ekserji verimi değişiminin şematik gösterimi

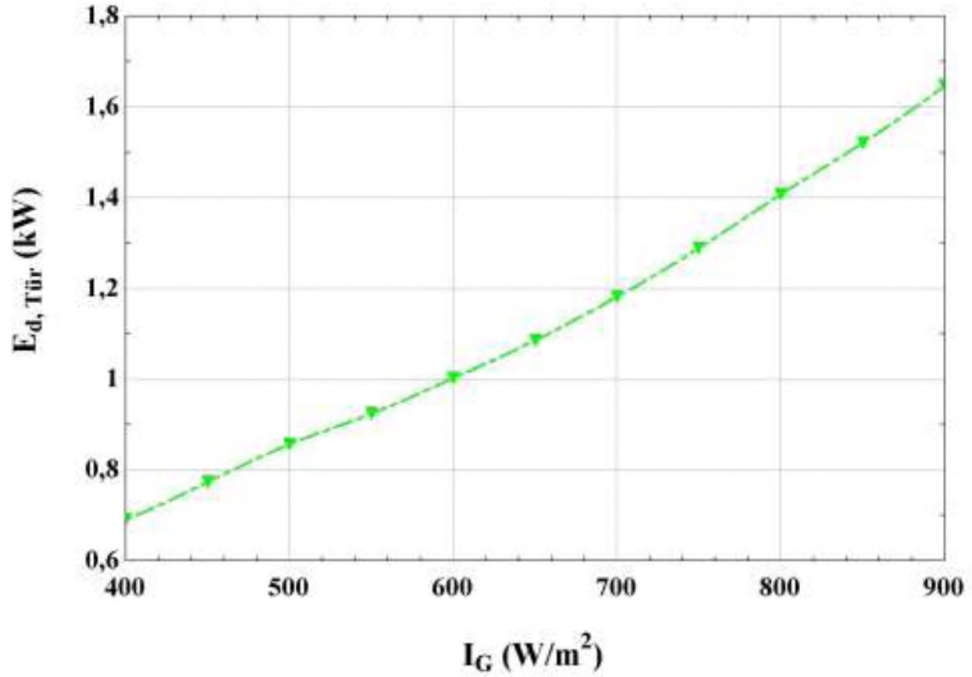
Benzer şekilde Şekil 5.27' de türbin izentropik veriminin ekserji üzerine etkileri incelenmiştir. Türbin izentropik veriminin artışı sisteme giren toplam ekserjiyi değiştirmeyecek, sistemden çıkan toplam elektriksel gücü artıracaktır. Dolayısıyla türbin izentropik veriminin 0,4 ile 0,9 arasındaki değişiminde izentropik verimin artışına bağlı olarak ekserji verimi ifadesi yaklaşık %11,6 değerinden %13,9 değerine yaklaşık %2,3 doğrusal bir artış göstermiştir.



$$\dot{m}_{KFWT}=1 \text{ (kg/s)}, P_{EV}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, L_{rec}=50 \text{ (m)} \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.28. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserji şematik gösterimi

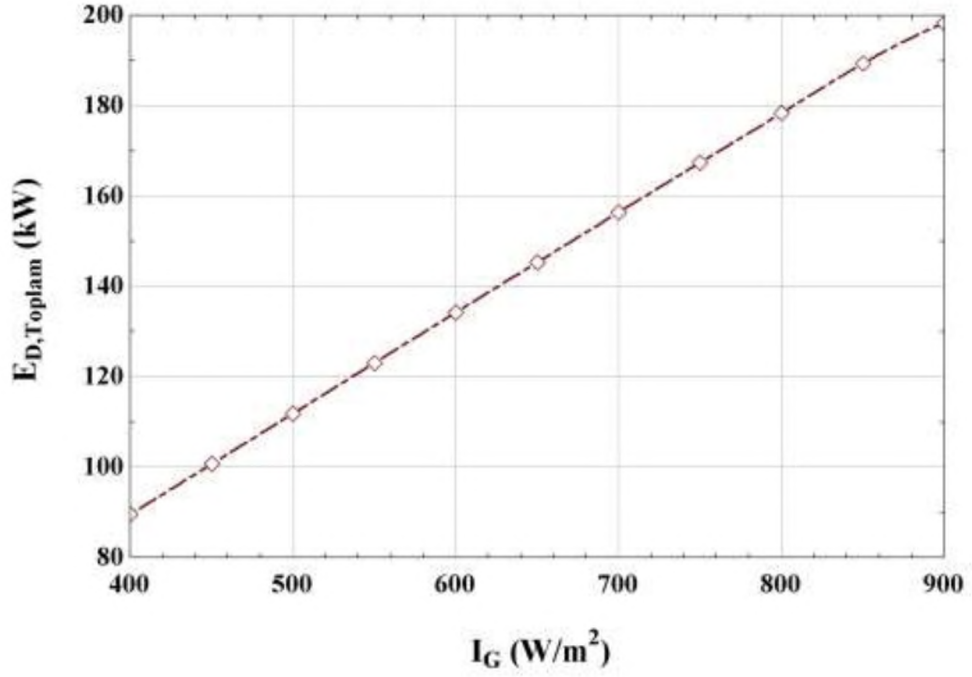
Yukarıda değişen parametrelere bağlı olarak PV panelden elde edilen elektriksel güç, türbinden elde edilen elektriksel güç, pompanın tükettiği güç, sistemden elde edilen net güç, ısı verim ve ekserji verimleri incelenmiştir. Bundan sonrasında ise parametrelerin değişimine bağlı olarak yok olan ekserjiler incelenecektir. Şekil 5.28’de güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserjinin şematik gösterimi yer almaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi panel üzerine güneşten gelen enerjinin bir kısmı elektrik gücüne çevrilirken bir kısmı da soğutucu akışkana ısı olarak verilmektedir. Radyasyon miktarı artışına bağlı olarak güneşten panele giren ekserji miktarı artacak, fakat bunun önemli bir kısmı panel verimi düşüşüne paralel olarak çevreye kayıp olarak atılacaktır. Dolayısıyla Şekil 5.28 incelendiğinde güneş radyasyonu değerinin 400 W/m^2 olduğu durumda yok olan ekserji değerinin yaklaşık 85 kW olduğu ve 900 W/m^2 olduğu durumda yok olan ekserji değerinin yaklaşık 187 kW olduğu ve yaklaşık olarak %54,5 artış gösterdiği görülmektedir.



$$\dot{m}_{Kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{EV}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, L_{rec}=50 \text{ (m)} \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.29. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

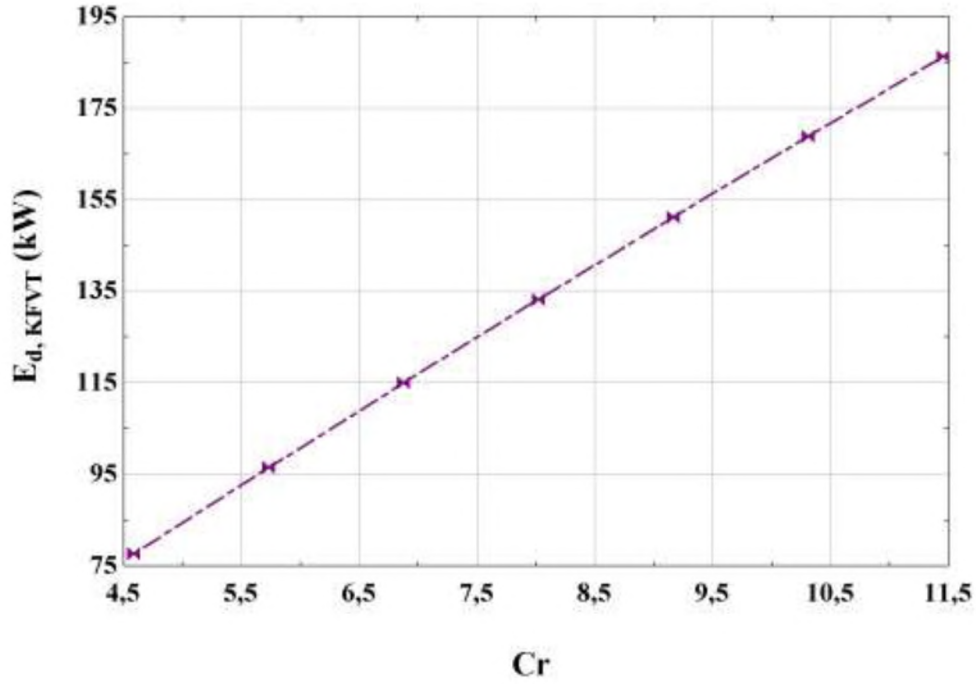
Şekil 5.29' da güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi yer almaktadır. Radyasyon miktarı artışına bağlı olarak panelin çıkışındaki iş akışkanının sıcaklığının artacaktır. Dolayısıyla türbine giren $NH_3 - H_2O$ karışımının da sıcaklığı bir miktar artacaktır. Bu artış, akışkanın entalpisini artıracak ama tamamı elektriksel güce çevrilemeyecektir. Bu durum yok olan ekserjinin artmasına sebep olacaktır. Bu nedenle Şekil 5.29 incelendiğinde güneş radyasyonu değerinin $400 W/m^2$ ile $900 W/m^2$ arasındaki değişiminde türbinde yok olan ekserji $500 W/m^2$ seviyesine kadar doğrusal, $500 W/m^2$ ' den sonrasında ise konveks şekilde bir artış göstererek yaklaşık $0,7 \text{ kW}$ seviyesinden $1,7 \text{ kW}$ seviyesine % 59 yükseldiği gözlemlenmiştir.



$$\dot{m}_{KIV} = 1 \text{ (kg/s)}, P_{EV} = 14 \text{ (bar)}, Cr = 11.46, L_{rec} = 50 \text{ (m)}, \Delta T_{pp} = 5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.30. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

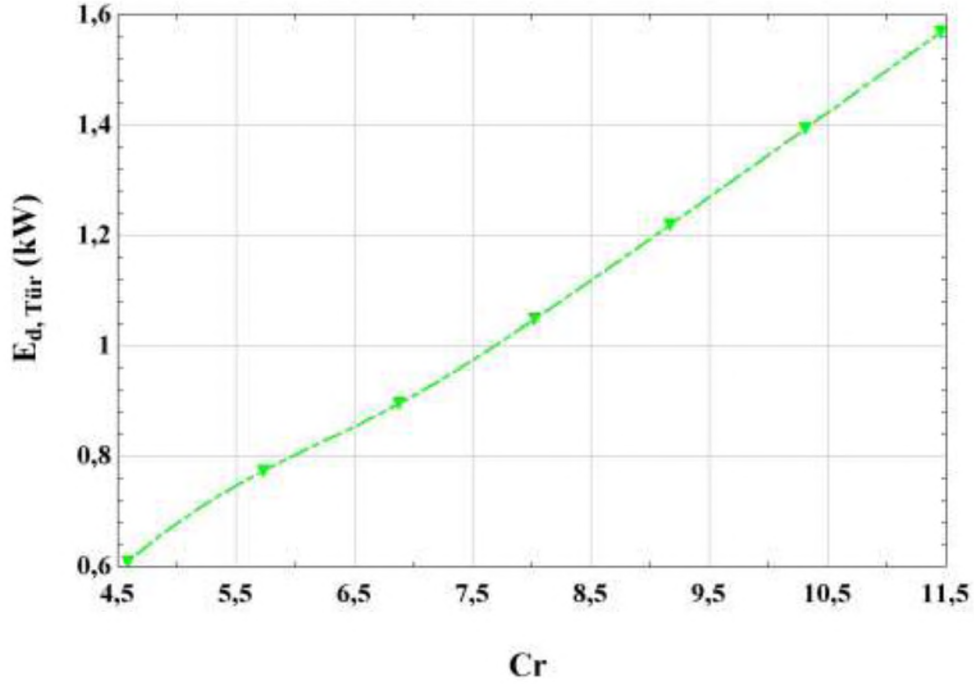
Şekil 5.30' da güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi yer almaktadır. Güneş radyasyonu değerinin 400 W/m^2 ile 900 W/m^2 arasındaki değişiminde sistemde yok olan toplam ekserji yaklaşık 90 kW seviyesinden 200 kW seviyesinde %55 artış göstermiştir. Sistem genel olarak değerlendirildiğinde ise yaklaşık 110 kW 'lık bir artış söz konusudur ve güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak yok olan ekserjinin en fazla arttığı bileşen güneş paneli olduğu için bu artışın önemli bir kısmını da güneş paneli oluşturmuştur.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.31. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserji şematik gösterimi

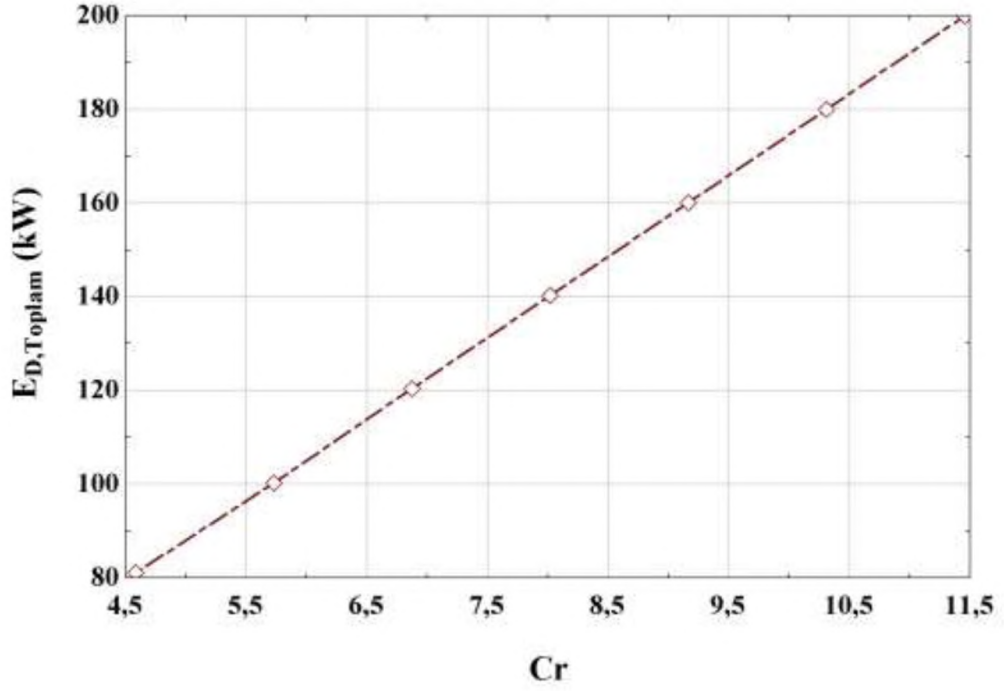
Şekil 5.31’ de konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserji değişiminin şematik gösterimi yer almaktadır. Daha önceki Radyasyon miktarı değişimi incelemelerine paralel olarak konsantrasyon oranı artışı da sisteme giren toplam ekserjinin artışına sebep olur. Ancak panel veriminin sıcaklığa bağlı düşmesinden dolayı PV panelde yok olan ekserji miktarı da konsantrasyon oranının artışına bağlı olarak artar. Konsantrasyon oranının 4,5 ile 11,5 aralığındaki değişiminde fotovoltaik panelde yok olan ekserji değeri yaklaşık 75 kW seviyesinden 180 kW seviyesine %57 kadar artış göstermiştir.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.32. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

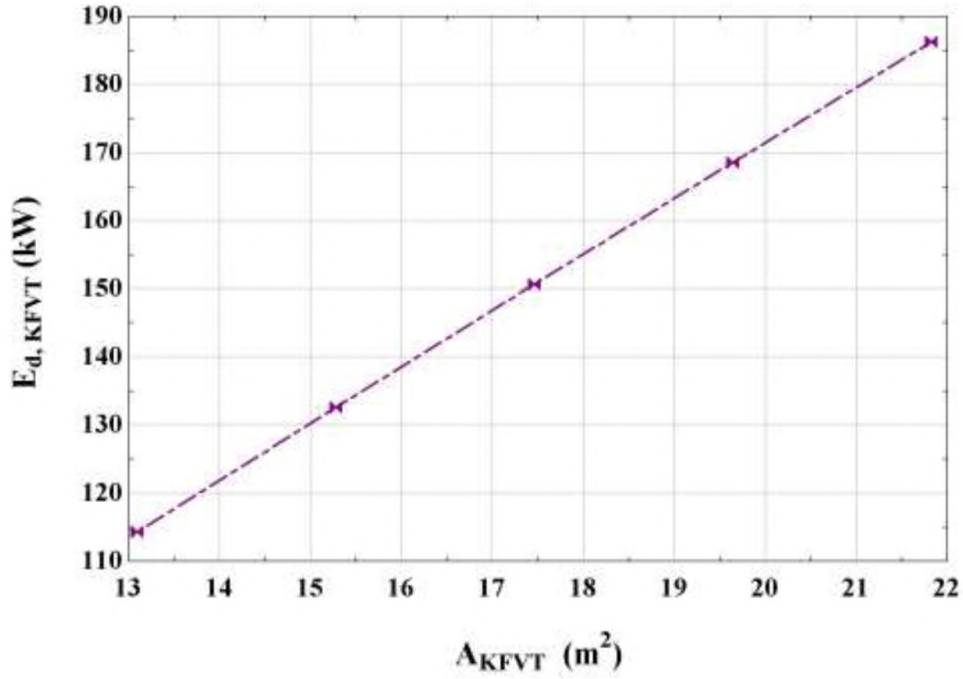
Şekil 5.32' de konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi yer almaktadır. Konsantrasyon oranının 4,5 ile 7 aralığındaki değişiminde türbinde yok olan ekserjide yaklaşık olarak 0,6 kW seviyesinden 0,9 kW seviyesine azalma eğiliminde bir artış gözlemlenmektedir, konsantrasyon oranının 7 ile 11,5 aralığındaki değişiminde ise yaklaşık 0,9 kW seviyesinden 1,6 kW seviyesine doğrusal bir artış gözlemlenmektedir. Buna göre konsantrasyon artışına bağlı olarak yok olan ekserji miktarı 1 kW artmıştır. Bu değer PV panel ile kıyaslandığında oldukça küçük bir değerdir ve sebebi konsantrasyon oranı artışı ile birlikte türbine giren $NH_3 - H_2O$ kısışımının sıcaklığı ve buna bağlı entalpisi bir miktar artacaktır. Ancak bu enerjinin tamamı elektrik enerjisine dönüştürülemeyecektir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.33. Konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

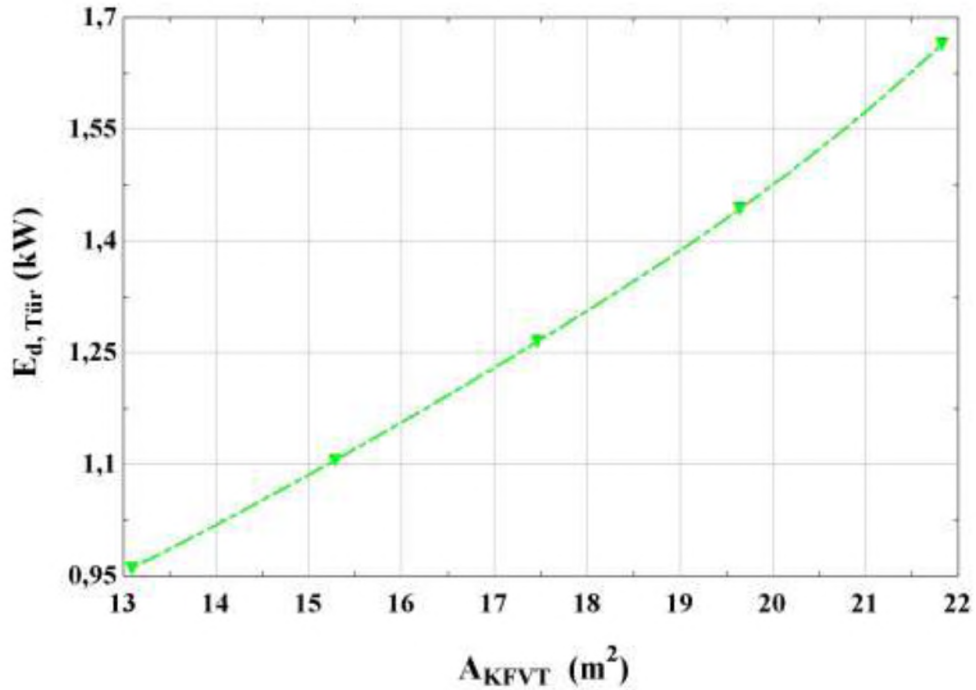
Şekil 5.33' te konsantrasyon oranı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi yer almaktadır. Konsantrasyon oranının 4,5 ile 11,5 aralığındaki değişiminde sistemde toplam yok olan ekserji 80 kW' tan 200 kW' a %60 doğrusal bir şekilde artış göstermiştir. Bu değer büyük bir kısmını panelde yok olan ekserji oluşturmaktadır. PV paneldeki yok olan ekserjinin 105 kW olduğu düşünülürse bu değer toplam yok olan ekserjini yaklaşık %87' sine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla diğer bileşenlerin yok olan ekserji miktarları kendi içerisinde ihmal edilebilir seviyededir.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.34. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserji şematik gösterimi

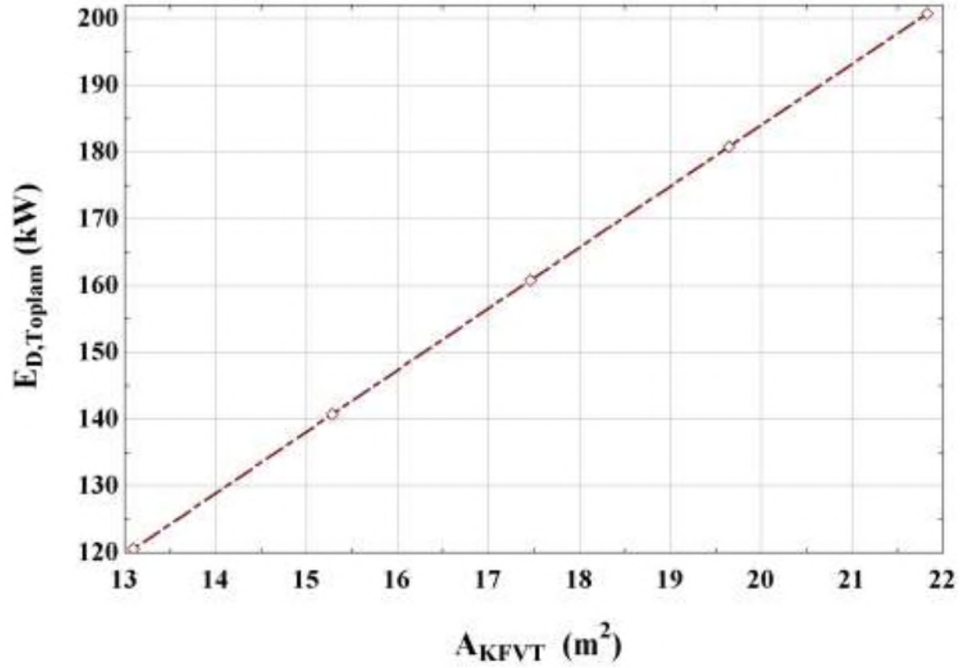
Şekil 5.34' te fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak fotovoltaik panelde yok olan ekserjinin şematik gösterimi yer almaktadır. Fotovoltaik panel alanı 13 m^2 ' den 22 m^2 ' ye yükselirken fotovoltaik panelde yok olan ekserji yaklaşık 115 kW ' tan 187 kW ' a %38 kadar doğrusal bir şekilde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Burada yok olan ekserji miktarı yaklaşık 72 kW kadardır. Bu durumun temel sebebi alanın artışına bağlı olarak fotovoltaik hücre sayısı arttığından sisteme giren toplam ekserji artsa dahi fotovoltaik panelden daha fazla elektriksel güç elde edilecektir. Bu yüzden bu yok olan ekserji değeri, radyasyon miktarı ve konsantrasyon artışının sebep olduğu yok olan ekserji miktarından daha düşüktür.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.35. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

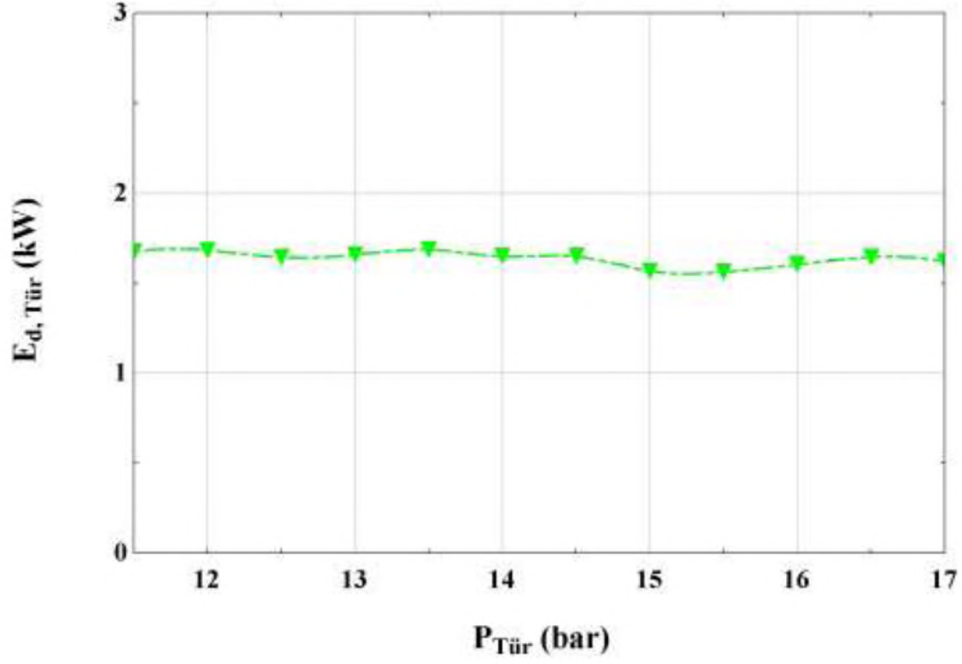
Şekil 5.35’ te fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi bulunmaktadır. Fotovoltaik panel alanı 13 m^2 ’ den 22 m^2 ’ ye yükselirken türbinde yok olan ekserji $0,96 \text{ kW}$ seviyelerinden $1,66 \text{ kW}$ seviyelerine yaklaşık %63’ lük konveks şekilde bir artış göstermiştir. Alandaki değişime bağlı olarak türbinde yok olan ekserji yaklaşık $0,7 \text{ kW}$ kadar küçük bir miktar artmıştır. Daha öncede alan artışının türbinde üretilen elektriksel gücü küçük bir miktar etkilediğinden bahsedilmişti. O bölümde de bahsedildiği gibi alan artışı panelden çıkan iş akışkanının sıcaklığını ve türbinde giren $NH_3 - H_2O$ karışımının sıcaklığını küçük bir miktar artırmakta, dolayısıyla yok olan ekserji miktarı da yaklaşık $0,7 \text{ kW}$ ile kısıtlı kalmaktadır.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.36. Fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

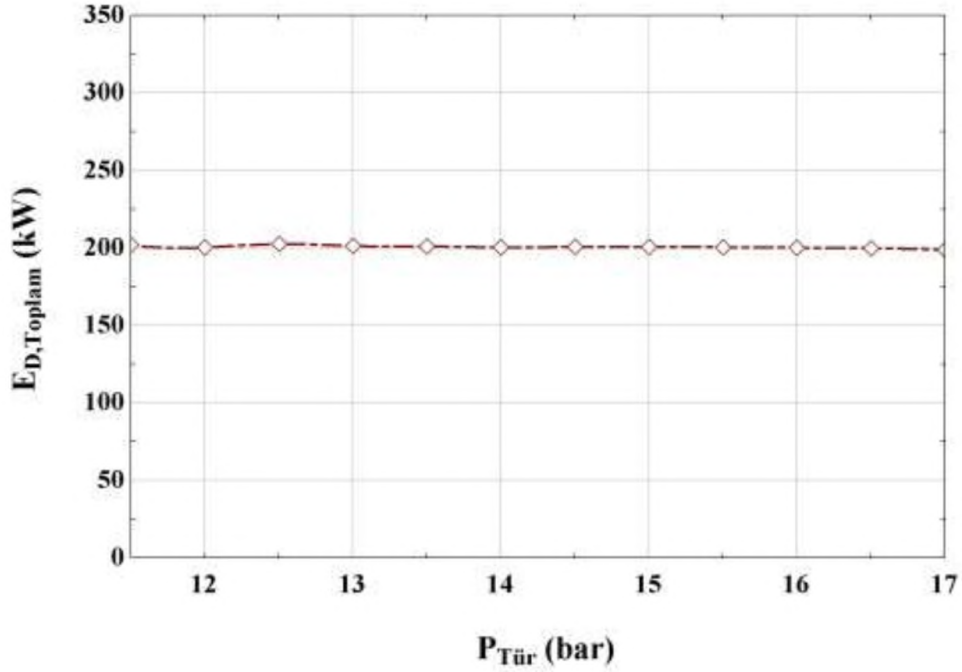
Şekil 5.36' da fotovoltaik panel alanı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi yer almaktadır. Fotovoltaik panel alanı $13 m^2$ ' den $22 m^2$ ' ye artış gösterirken sistemde yok olan ekserji miktarı 120 kW seviyesinden 200 kW seviyesine %40' lık doğrusal bir artış göstermektedir. Şekil 5.36 incelendiğinde alan artışına bağlı yok olan ekserji miktarı 80 kW olduğu saptanmıştır. Alan artışına bağlı sistemde yok olan ekserjinin yaklaşık %90' lık kısmı fotovoltaik güneş panelinde görülmüştür. Diğer bileşenlerin yok olan ekserji miktarları 8 kW değeri ile sınırlı kalmıştır.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.37. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

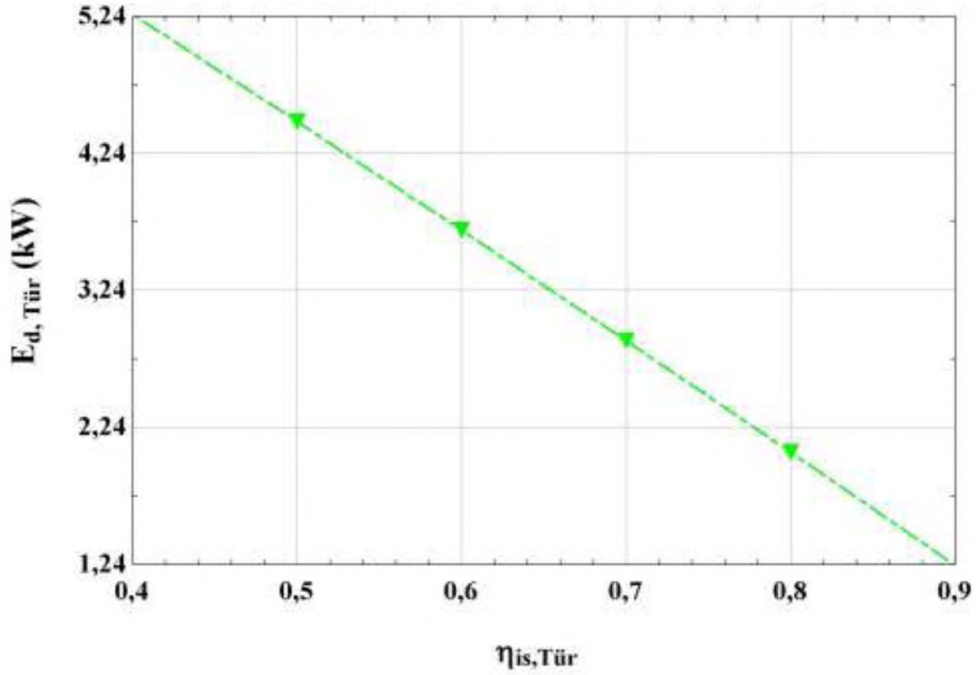
Şekil 5.37' de türbin giriş basıncı değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserji değişimi yer almaktadır. Grafikte görülen eğrinin sinüzoidal olmasının sebebi türbin giriş ve çıkışındaki NH_3-H_2O karışımının entalpi değerlerinin değişkenlik göstermesidir. Türbin giriş basıncı 11,5 bar' dan 17 bar' a yükseldiğinde türbinde yok olan ekserji değeri 1,67 kW' tan 1,62 kW seviyesine %2' lik küçük bir düşüş göstermiştir. Bu düşüşün sebebi basınç artışına bağlı olarak türbine giren NH_3-H_2O karışımının fazı kızgın buhardan doymuş buhar noktasına doğru yaklaşacak ve buna bağlı olarakta entalpi düşecek, üretilen güç ve yok olan ekserji değerleri de küçük bir miktar azalacaktır.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.38. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

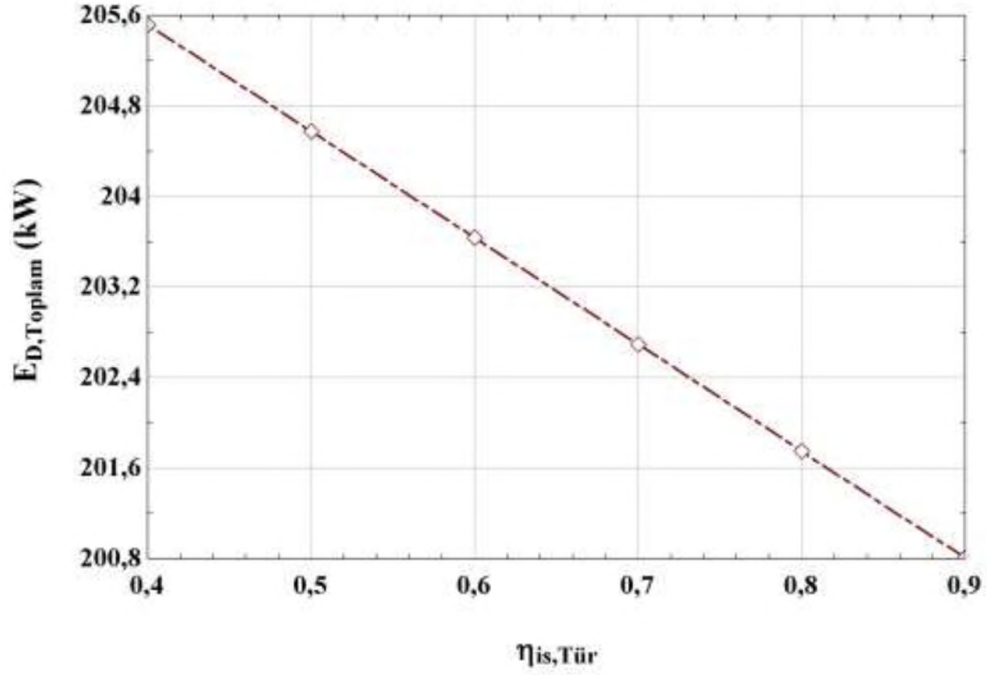
Şekil 5.38’ de türbin giriş basıncı değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserji değişimi yer almaktadır. Türbin giriş basıncı 11,5 bar’ dan 17 bar’ a yükseldiğinde sistemde yok olan ekserji değeri yaklaşık 201,75 kW değerinden 198,5 kW değerine %1,6’ lık bir düşüş göstermiştir. Daha önceki bölümlerde oluşturulan sistemlerdeki maksimum yok olan ekserjinin fotovoltaik güneş panelinde meydana geldiğinden bahsedilmişti. Bu söylemden yola çıkılarak türbin giriş basıncı değişiminin sistemde yok olan ekserjiyi önemli miktarda değiştirmeyeceği öngörülebilir. Dolayısıyla Şekil 5.38 incelendiğinde türbin giriş basıncı sistemde yok olan toplam ekserji değerini yalnızca yaklaşık 3,25 kW değiştirmiştir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.39. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

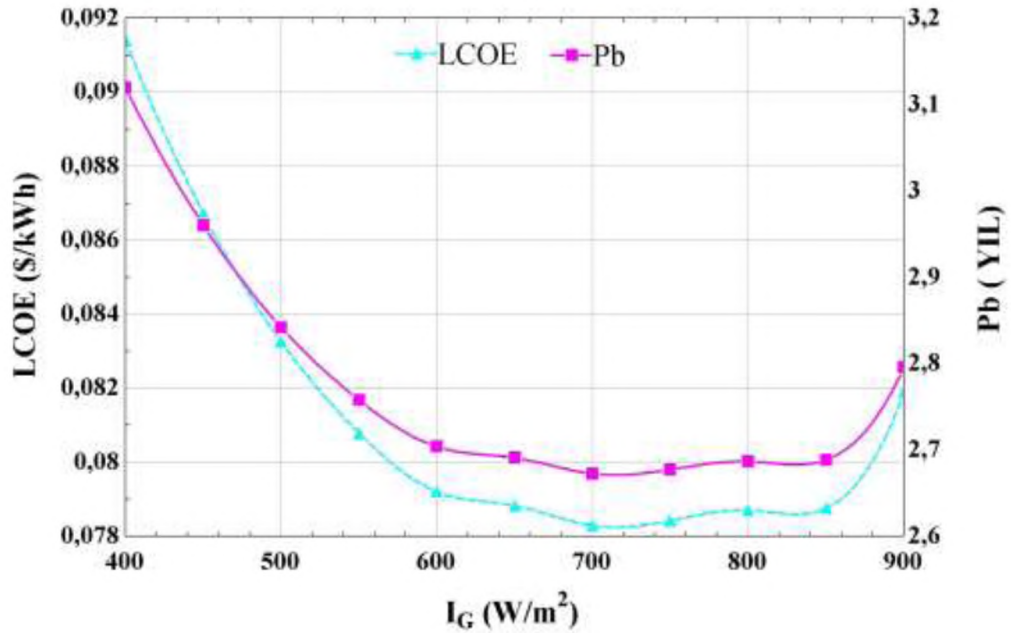
Şekil 5.39' da türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin şematik gösterimi yer almaktadır. Türbin izentropik veriminin 0,4 ile 0,9 arasındaki değişiminde türbinde yok olan ekserjinin 5,24 kW' tan 1,24 kW seviyesine %76' lık doğrusal bir düşüş göstermiştir. Türbin izentropik veriminin değişimi türbin bileşeni bir kontrol hacmi olarak seçilirse kontrol hacmine giren toplam ekserjiyi değiştirmeyecektir. Üretilen elektriksel gücü artırarak mevcut ekserjiden daha fazla yararlanmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla Şekil 5.39' da türbin izentropik verimine bağlı olarak türbinde yok olan ekserjinin 4 kW düştüğü görülmektedir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.40. Türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin şematik gösterimi

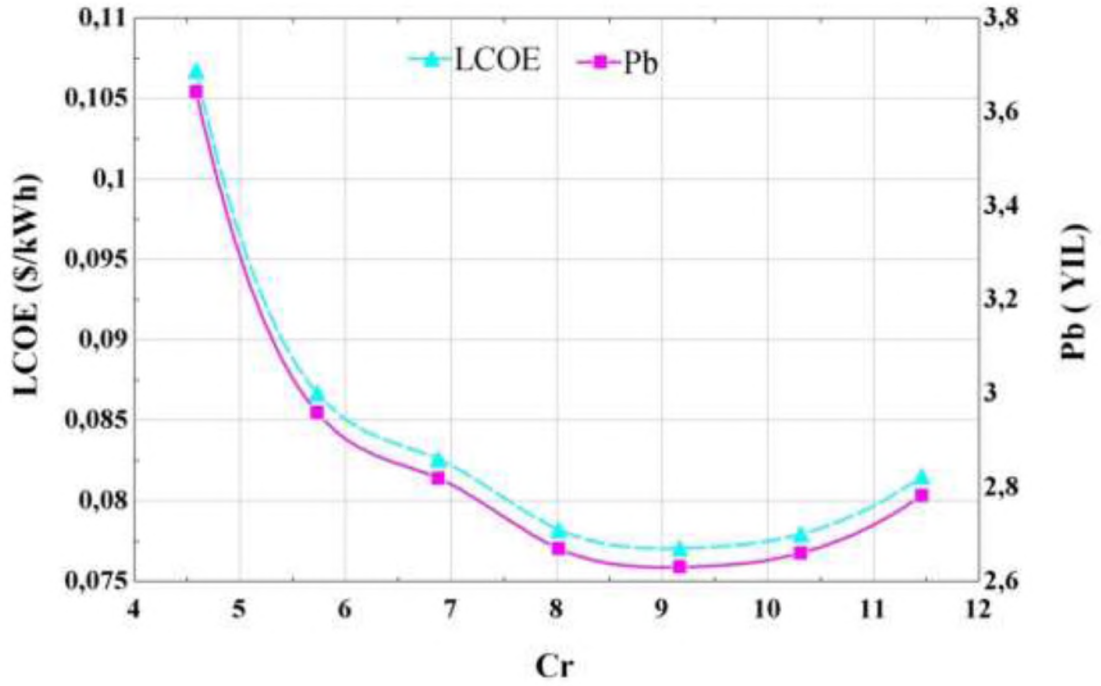
Şekil 5.40 incelendiğinde türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak sistemde yok olan ekserjinin değişimi görülmektedir. Türbin izentropik veriminin 0,4 ile 0,9 arasındaki değişiminde sistemde yok olan ekserjinin yaklaşık 205,6 kW seviyesinden 200,8 kW seviyesine %2,3' lük bir düşüş gözlemlenmektedir. Bunun sistemde toplam ekserji kaybının sadece küçük bir kısmını oluşturduğu görülmektedir. Sistemde maksimum ekserji kaybının fotovoltaik güneş panelinde olduğu düşünülürse bu sonuç oldukça normaldir.



$$\dot{m}_{Kfvt} = 1 \text{ (kg/s)}, P_{EV} = 14 \text{ (bar)}, Cr = 11.46, L_{rec} = 50 \text{ (m)}, \Delta T_{pp} = 5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.41. Güneş radyasyonu miktarı değişimine bağlı olarak LCOE ve Pb değerleri şematik gösterimi

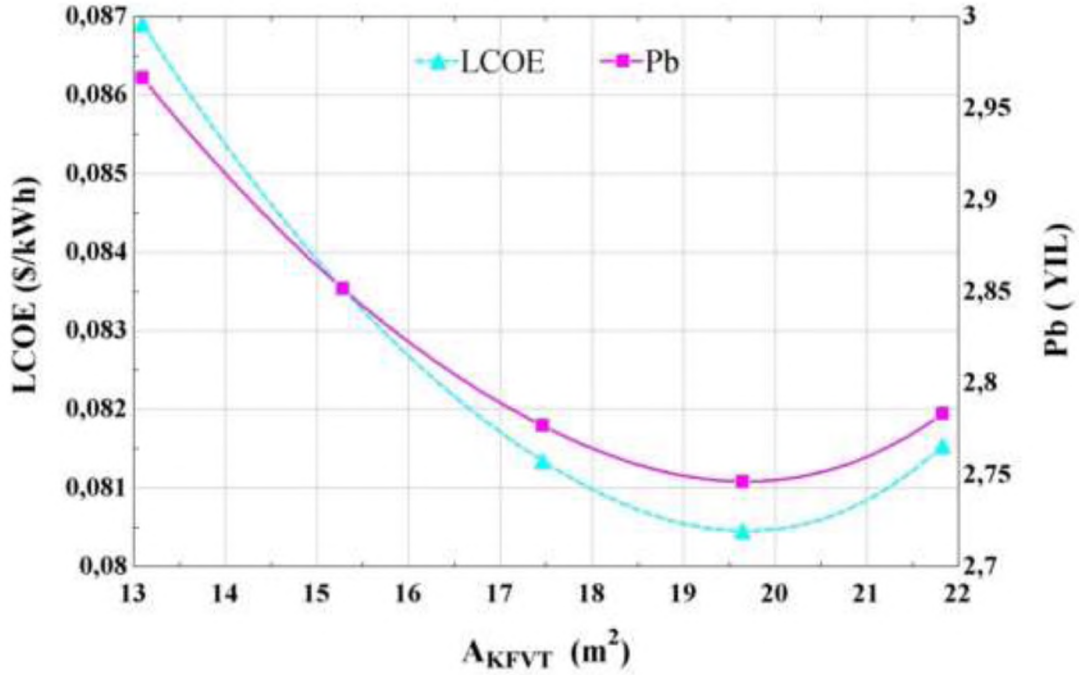
Buraya kadarki kısımda değişen parametrelerin ısı verim, ekserji verimi ve üretilen toplam güç üzerine etkileri incelenmiştir. Bundan sonrasında ise aynı parametre değişimlerinin seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE) ve geri ödeme süresi (PB) üzerine etkileri incelenecektir. Böylece kurulan sistemin parametrelere bağlı olarak ekonomik açıdan verimliliği ve sürdürülebilirliği incelenmiş olacaktır. Şekil 5.41' de güneş radyasyonuna bağlı olarak LCOE ve Pb değerleri görülmektedir. Güneş radyasyonuna bağlı olarak LCOE değeri yaklaşık %9,8 oranında düşmüştür ve Pb değeri yaklaşık olarak 0,3 yıl kadar azalmıştır. Grafik genel olarak incelendiğinde ise geri dönüş süresinin radyasyona bağlı olarak ortalama 2,8 yıl ve LCOE değerinin de 0,08 \$/kWh olduğu görülmüştür. Bu durum düşük radyasyon oranlarında bile sistem maliyetinin hızlı bir şekilde geri alındığını göstermektedir.



$$\dot{m}_{kfv1}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, L_{em}=50 \text{ (m)}, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.42. Konsantrasyon oranına bağlı olarak LCOE ve Pb değerlerinin şematik gösterimi

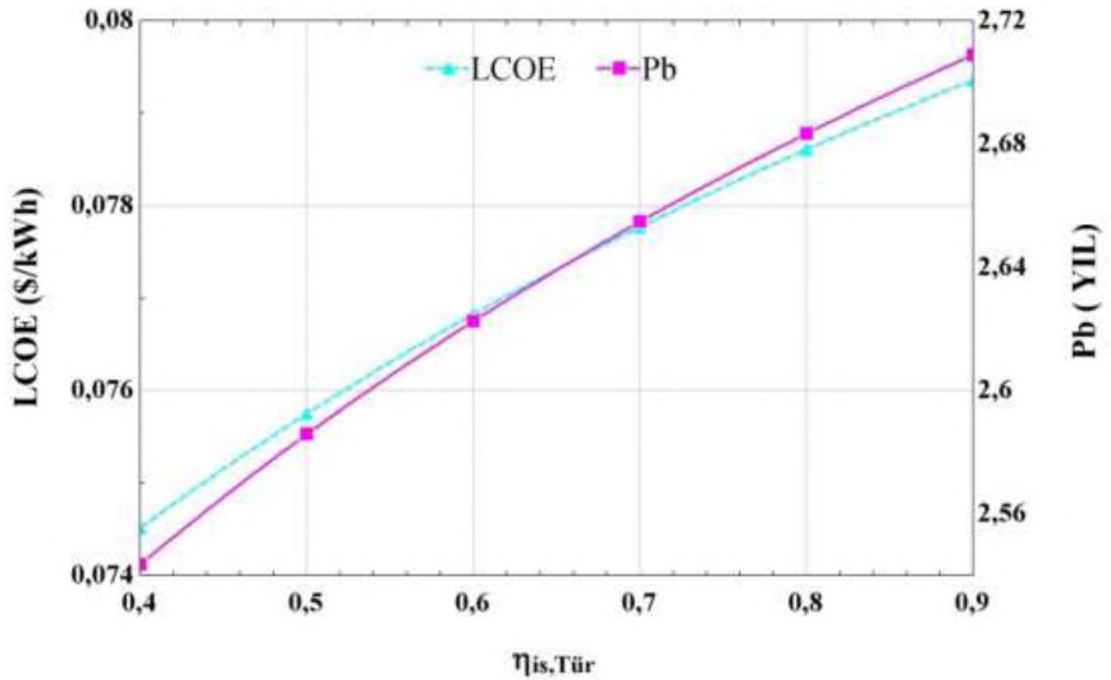
Şekil 5.42' de ise konsantrasyon oranına bağlı olarak LCOE ve Pb değerlerinin değişimini gösterilmektedir. Sistem tasarımında konsantrasyon oranının 4,5 seçilmesi durumunda elektrik maliyetinin ve geri dönüş yılının sırasıyla yaklaşık 0,105 \$/kWh ve 3,6 yıl olabileceğini göstermiştir. Maksimum konsantrasyon oranı 11,5 için bu değerler yaklaşık olarak 2,8 yıl ve 0,08 \$/kWh değerine kadar düşmüştür.



$$\dot{m}_{kfvt}=1 \text{ (kg/s)}, P_{Ev}=14 \text{ (bar)}, Cr=11.46, I_G=900 \text{ (W/m}^2\text{)}, \Delta T_{pp}=5 \text{ (K)}$$

Şekil 5.43. Fotovoltaik panel alanına bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri şematik gösterimi

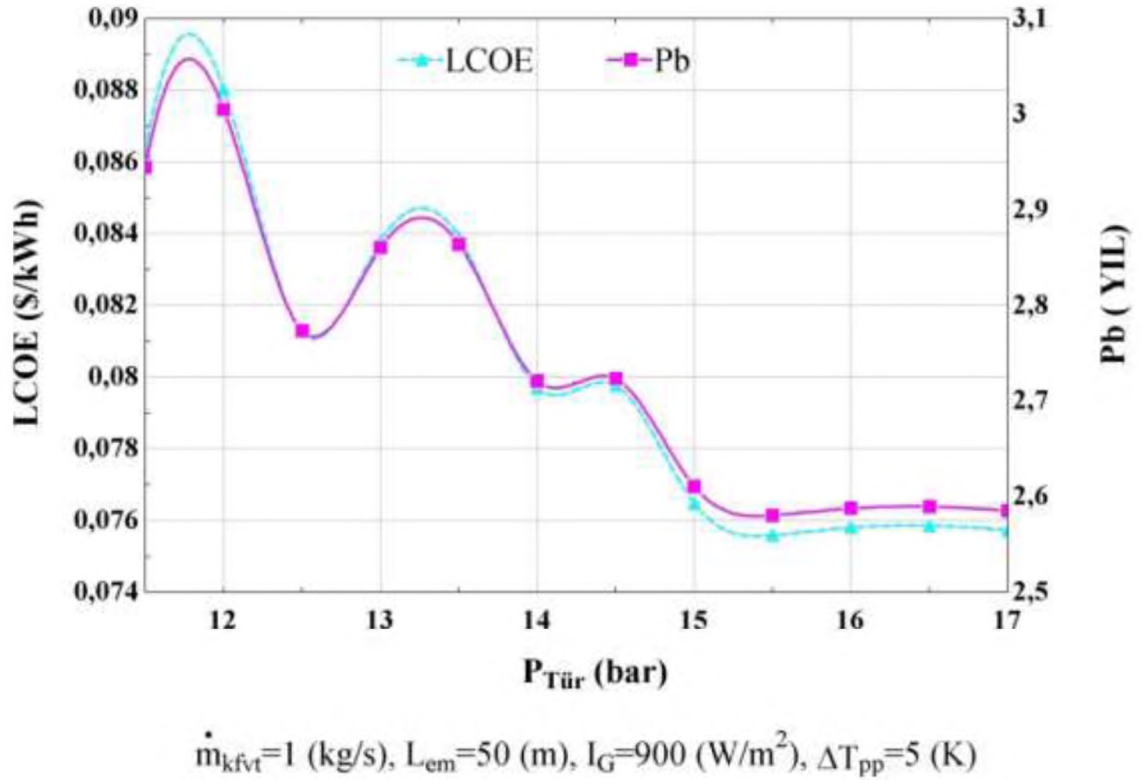
Şekil 5.43' te fotovoltaik panel alanına bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri incelenmiştir. Fotovoltaik panel alanı 13 m^2 ' den 22 m^2 ' ye artış gösterirken seviyelendirilmiş elektrik maliyeti %6 düşüş göstermiş, geri dönüş süresi değeri ise %5 düşüş göstermiştir. Şekil 5.42' ye paralel olarak alan artışı LCOE ve Pb'yi önemli ölçüde değiştirmemiştir. Bu durumun sebebi, alan artışına bağlı olarak panel maliyeti artsa da elektrik üretimi de doğrusal şekilde artacağından, bu parametre LCOE ve Pb değerlerini çok değiştirmemektedir.



$\dot{m}_{kfv1}=1$ (kg/s), $P_{Ev}=14$ (bar), $Cr=11.46$, $L_{em}=50$ (m), $I_G=900$ (W/m^2), $\Delta T_{pp}=5$ (K)

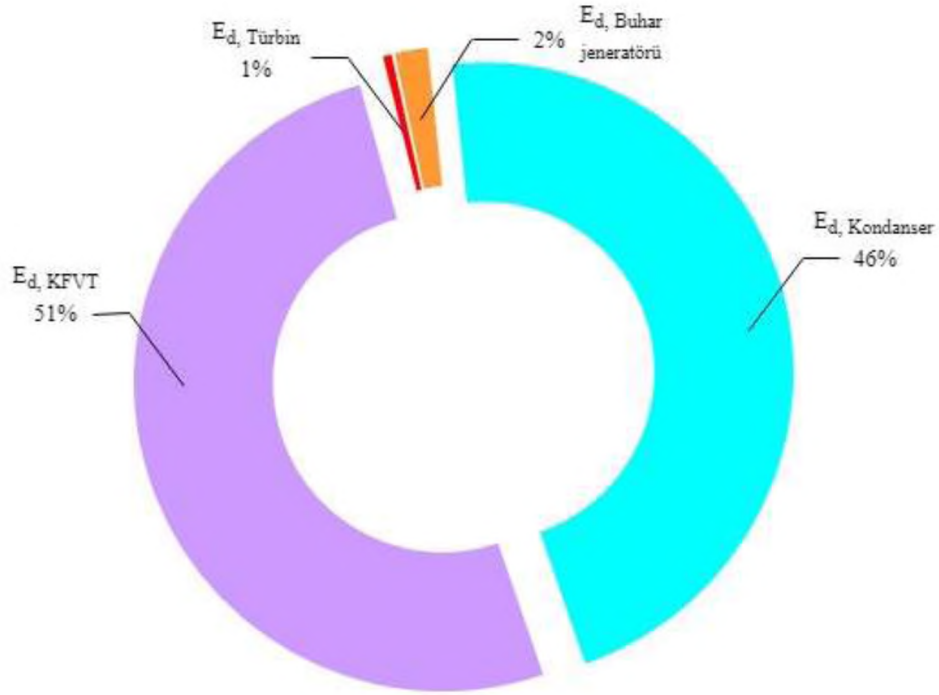
Şekil 5.44. Türbin izentropik verimi değişimine bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri şematik gösterimi

Şekil 5.44' te türbin izentropik verim değişimine bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri yer almaktadır. Türbin izentropik veriminin 0,4 ile 0,9 aralığındaki değişiminde LCOE değerinin yaklaşık %5 artış gösterdiği ve Pb değerinin ise yaklaşık %7 artış gösterdiği görülmektedir. Bu durum ise türbin izentropik verimi değişiminin toplam elektrik üretimine katkısının düşük olması ile açıklanabilir.



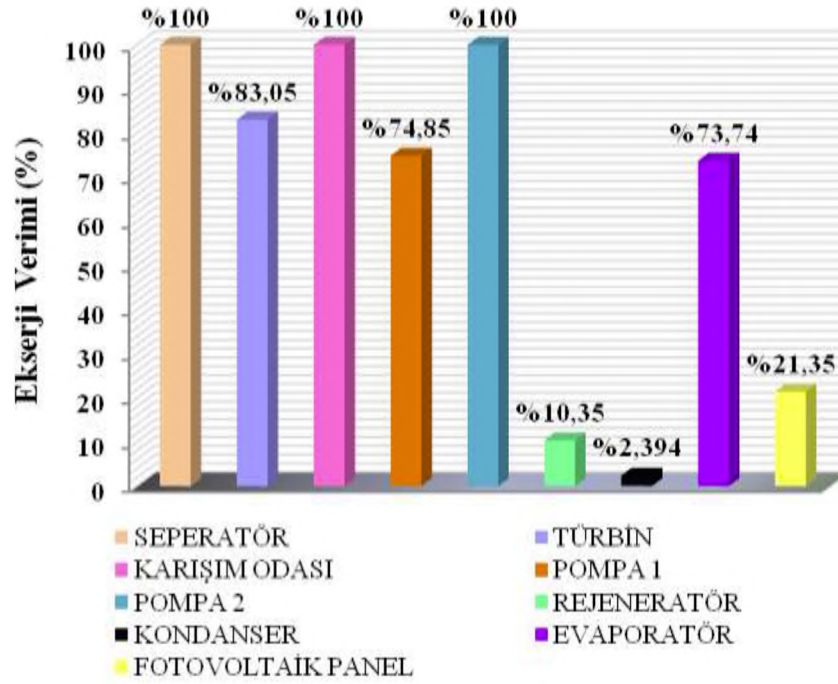
Şekil 5.45. Türbin giriş basınç değişimine bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri şematik gösterimi

Şekil 5.45' te türbin giriş basıncına bağlı olarak LCOE ve Pb değerlerinin değişimi yer almaktadır. Buna göre türbin basıncına bağlı olarak LCOE' deki değişim yaklaşık 0,01 mertebesinde azalmış ve Pb değeri 0,4 yıl azalmıştır. Tüm bu parametrelere bağlı olarak LCOE ve Pb değişimleri yorumlanacak olunursa radyasyon miktarının, konsantrasyon oranının ve türbin giriş basıncının bu parametreleri önemli ölçüde pozitif yönde etkilediği ancak türbin izentropik veriminin ve fotovoltaik panel alanı değişiminin bu parametreler üzerinde önemli bir değişime yol açmadığı görülmektedir.



Şekil 5.46. Parabolik oluk tipi fotovoltaik güneş kolektörü entegreli Kalina çevriminin yok olan ekserji grafiği

Şekil 5.46' da sistemi oluşturan bileşenlerin yok olan ekserji değerleri bulunmuştur. Burada yok olan ekserji en yüksek oranda sırasıyla PV panelde, kondenserde, türbin ve buhar rejeneratöründe görülmüştür. Diğer bileşenlerin yok olan ekserji değerleri çok daha küçük olduğundan bu grafikte gösterilmemiştir. Maksimum yok olan ekserjinin PV panelde görülmesi, gelen yüksek enerjiye sahip güneş ışınının sadece bir kısmının faydalı işe çevrileceğinden normal bir durum olarak karşılanabilir. Ayrıca güneş ışınının bedava bir enerji kaynağı olması sebebiyle bu durum tolere edilebilirdir. Bir diğer yok olan ekserjinin yüksek olduğu bileşen kondenserdir. Burada yüksek kütleli debi ve türbinden çıkan sıcak $NH_3 - H_2O$ karışımının düşük sıcaklıklara soğutulma ihtiyacı yok olan ekserji değerini artırmıştır.



Şekil 5.47. Parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kolektörü entegreli Kalina çevrimine ait ekserji verimi grafiği

Şekil 5.47’ de sistemin her bir bileşenine ait ekserji verimleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi seperatör, karışım odası ve 2 numaralı pompanın ekserji verimleri %100 olarak bulunmuştur. Bunun sebebi termodinamik yaklaşımlar arasında yaygın bir yaklaşım olan bu bileşenlerdeki ısı ve benzeri kayıpların ihmal edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında türbin verimi %83 olarak elde edilmiştir. Bunun sebebi seçilen türbin izentropik verimi 0,85 seviyesindedir. Ayrıca burada faz değişimi de görüldüğü için %83 değeri normal karşılanmaktadır. Ayrıca aynı şekilde pompa 1’ in verimi %74,85 seviyesindedir. Burada da pompa izentropik verimi 0,75 seçilmiştir. Ayrıca burada doymuş sıvı-sıkıştırılmış sıvı geçişi olduğu için belirli bir miktar ekserji kaybı olmuştur. Isıtma amaçlı kullanılan fotovoltaik panel verimi yaklaşık %21, ara ısıtma için kullanılan rejeneratör verimi %10 seviyelerinde elde edilmiştir. Son olarak ise sistemin soğutulmasında kullanılan kondenser verimi %2,4 olarak elde edilmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaik güneş kolektörü entegreli kalina çevriminin termodinamik ve termoekonomik analizi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sistemin iyileştirilmesi için güneş radyasyon miktarı, konsantrasyon oranı, fotovoltaik panel yüzey alanı, türbin giriş basıncı, türbin izentropik verimi değişken parametreler olarak seçilmiş ve sonuçlar ısı verim ve ekserji verimi, toplam elektrik üretimi, seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE), geri ödeme süresi (Pb) cinsinden elde edilmiştir. Buna göre:

Radyasyon miktarı ve konsantrasyon oranına bağlı olarak panel sıcaklığının ve panelden üretilen elektriksel gücün arttığı ancak fotovoltaik panel veriminin düştüğü saptanmıştır. Panelden üretilen elektriksel gücü en fazla etkileyen parametrenin yaklaşık %35 artış sağlayarak yaklaşık 21 kW elektrik üretimi yapılan konsantrasyon oranı ve fotovoltaik panel alanı parametreleri olduğu saptanmıştır.

Radyasyon miktarı, konsantrasyon oranı ve panel alanının artışına bağlı olarak üretilen toplam elektriksel gücün önemli ölçüde arttığı ancak ısı verim ve ekserji verimlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Sistemde üretilen toplam elektriksel gücü en fazla etkileyen parametrenin %44 artış göstererek konsantrasyon oranı olduğu tespit edilmiştir. Konsantrasyon oranının maksimum olduğu 11,5 değerinde sistemden yaklaşık 28,5 kW elektrik üretimi sağlanmıştır. Bununla birlikte türbin izentropik verimi değişimine göre sistemden elde edilen net güç %16 artış göstererek 29,2 kW seviyelerine ulaşmıştır ve türbin giriş basıncı artışına bağlı olarak toplam elektrik üretimi 28,6 kW değerinden 28 kW değerine %2'lik küçük bir miktar düşüş göstermiştir. Ayrıca ısı verim ve ekserji verimini de önemli ölçüde etkilemediği saptanan bir diğer olgudur.

LCOE ve Pb değerleri türbin giriş basıncına, konsantrasyon oranına, radyasyon miktarı ve fotovoltaik panel alanına bağlı olarak bir miktar azaldığı, diğer parametrelerin ise bu değişkenleri çok fazla etkilemediği görülmüştür. Ayrıca geri

dönüş süresi olan Pb değerini 0,8 yıl azaltarak en fazla etkileyen parametre konsantrasyon oranı olmuştur.

Sistem üzerinde en büyük ekserji kaybının %51 oranla fotovoltaiik panelde ve %46 oranla kondenserde olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak ise bileşenlere ait ekserji verimi değerlerinin; rejeneratör ve kısılma vanasında sırasıyla 1,473 kW ve 0,324 kW ile en düşük değerler olduğu saptanmıştır. Bu verilerden hareketle fotovoltaiik panelde ve kondenserde yapılacak olan iyileştirmelerin sistemin ekserji verimini önemli ölçüde artıracığı öngörülmüştür.

Sonuç olarak bu çalışmada literatürde az rastlanan parabolik oluk tipi konsantre fotovoltaiik güneş kollektörünün, düşük ve orta sıcaklıkta kaynağa sahip güç çevrimleri için verimli olduğu bilinen Kalina çevrimi ile entegrasyonu araştırılmıştır. Bu sayede güneş paneli Terminol VP-1 sıvısı kullanılarak soğutulmuş ve verimi artırılmış, soğutma sırasında iş akışkanına geçen (Terminol VP-1) ısı ile de Kalina çevriminin çalışması sağlanmıştır. Bu sistemde hem panel hem Kalina çevriminin türbini vasıtasıyla elektrik üretilerek daha fazla elektriksel güç elde edilmiştir. Sistemde görülen en büyük kaybın fotovoltaiik panelde olduğu gözlemlenmiştir. Ancak güneşin bedava bir enerji kaynağı olduğu düşünülürse bu sonuç maliyet açısından sistemimizi daha verimsiz yapmayacağı görülmüştür. Yukarıda bahsedilen tüm veriler ışığında optimum şartlar altında bu sistemden yaklaşık 28 kW elektrik elde edilebileceği görülmüş ve 20 yıllık tesis yaşam ömrüne sahip olan bu sistemin yaklaşık 3 yıllık bir geri ödeme süresi olduğu belirlenmiştir. Bu durum sistemin kullanılabilir olduğunu ve 20 yıllık bir süreçte önemli bir kazanç sağlanacağını göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Akrami, E., Nemati, A., Nami, H., Ranjbar, F.** (2018). Exergy and exergoeconomic assessment of hydrogen and cooling production from concentrated PVT equipped with PEM electrolyzer and LiBr-H₂O absorption chiller. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(2), 622-633.
- Anonim,** (2020). Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü. Retrieved October 21, 2020, [WWW Document]. URL <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/01/20110108-3.htm>
- Anonim,** (2020). Bir Buçuk Derece #bibuçuktakalsın. Retrieved October 26, 2020, [WWW Document]. URL <https://www.birbucukderece.com/15derece rapor/>
- Ashouri, M., Khoshkar Vandani, A. M., Mehrpooya, M., Ahmadi, M. H., Abdollahpour, A.** (2015). Techno-economic assessment of a Kalina cycle driven by a parabolic Trough solar collector. *Energy Conversion and Management*, 105, 1328–1339. doi:10.1016/j.enconman.2015.09.015
- Baig, H., Heasman, K. C., Mallick, T. K.** (2012). Non-uniform illumination in concentrating solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5890–5909. doi: 10.1016/j.rser.2012.06.020
- Bamisile, O., Huang, Q., Dagbasi, M., Adebayo, V., Okonkwo, E. C., Ayambire, P., Al-Ansari, T., Ratlamwala, T. A. H.** (2020). Thermo-environ study of a concentrated photovoltaic thermal system integrated with Kalina cycle for multigeneration and hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(51), 26716–26732. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.07.029
- Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M.** (1996). Thermal Design and Optimization. Wiley.
- Bellos, E., Tzivanidis, C.** (2017). Parametric analysis and optimization of an Organic Rankine Cycle with nanofluid based solar parabolic trough collectors. *Renewable Energy*, 114, 1376–1393. doi: 10.1016/j.renene.2017.06.055

- Ben Or, A., Appelbaum, J.** (2013). Performance analysis of concentrator photovoltaic dense-arrays under non-uniform irradiance. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 117, 110–119. doi: 10.1016/j.solmat.2013.04.029
- Ben Youssef, W., Maatallah, T., Menezo, C., Ben Nasrallah, S.** (2018). Assessment viability of a concentrating photovoltaic/thermal-energy cogeneration system (CPV/T) with storage for a textile industry application. *Solar Energy*, 159, 841–851. doi: 10.1016/j.solener.2017.11.058
- Chen, H., Riffat, S. B., Fu, Y.** (2011). Experimental study on a hybrid photovoltaic/heat pump system. *Applied Thermal Engineering*, 31(17–18), 4132–4138. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.08.027
- Daneshazarian, R., Cuce, E., Cuce, P. M., Sher, F.** (2018). Concentrating photovoltaic thermal (CPVT) collectors and systems: Theory, performance assessment and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 473–492. doi: 10.1016/j.rser.2017.08.013
- Dudley, V., Kolb, G., Mahoney, A., Mancini, T., Matthews, C., Sloan, M., Kearney, D.** (1994). Test results: SEGS LS-2 solar collector. doi: 10.2172/70756
- Forristall, R.** (2003). Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver. doi: 10.2172/15004820
- Ghaebi, H., Namin, A. S., Rostamzadeh, H.** (2018). Exergoeconomic optimization of a novel cascade Kalina/Kalina cycle using geothermal heat source and LNG cold energy recovery. *Journal of Cleaner Production*, 189, 279–296. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.049
- Ghaebi, H., Parikhani, T., Rostamzadeh, H., Farhang, B.** (2017). Thermodynamic and thermoeconomic analysis and optimization of a novel combined cooling and power (CCP) cycle by integrating of ejector refrigeration and Kalina cycles. *Energy*, 139, 262–276. doi: 10.1016/j.energy.2017.07.154

- Han, X., Xu, C., Ju, X., Du, X., Yang, Y.** (2015). Energy analysis of a hybrid solar concentrating photovoltaic/concentrating solar power (CPV/CSP) system. *Science Bulletin*, 60(4), 460–469. doi: 10.1007/s11434-015-0738-7
- Jafarkazemi, F., Ahmadifard, E.** (2013). Energetic and exergetic evaluation of flat plate solar collectors. *Renewable Energy*, 56, 55-63.
- Kalina, I. A.** (1982). Generation of energy by means of a working fluid, and regeneration of a working fluid.
- Kalogirou, S. A.** (2012). A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver. *Energy*, 48(1), 298–306. doi: 10.1016/j.energy.2012.06.023
- Klein, S.A.** (2017). Engineering Equation Solver (EES) Professional version V10.298-3D, F-Chart Software, 2017.
- Kosmadakis, G., Manolakos, D., Papadakis, G.** (2011). Simulation and economic analysis of a CPV/thermal system coupled with an organic Rankine cycle for increased power generation. *Solar Energy*, 85(2), 308–324. doi: 10.1016/j.solener.2010.11.019
- Kotas, T.J.** (1985). *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Butterworth-Heinemann.
- Kurşun, B.** (2020). Energy and exergy analysis of a concentrated photovoltaic recuperator design for a geothermal based multi-generation system. *Applied Thermal Engineering*, 181, 115932.
- Mirolli, M. D.** (2006). Cementing Kalina cycle effectiveness. *IEEE Industry Applications Magazine*, 12(4), 60–64. doi: 10.1109/MIA.2006.1678332
- Mirolli, M. D.** (2007). Ammonia-water based thermal conversion technology: Applications in waste heat recovery for the cement industry. 2007 IEEE Cement Industry Technical Conference Record, 234–241. https://doi.org/10.1109/CITCON.2007.359001

- Mosaffa, A. H., Hasani Mokarram, N., Garousi Farshi, L.** (2017). Thermo-economic analysis of a new combination of ammonia/water power generation cycle with GT-MHR cycle and LNG cryogenic exergy. *Applied Thermal Engineering*, 124, 1343–1353. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.06.126
- Nishioka, K., Takamoto, T., Agui, T., Kaneiwa, M., Uraoka, Y., Fuyuki, T.** (2006). Annual output estimation of concentrator photovoltaic systems using high-efficiency InGaP/InGaAs/Ge triple-junction solar cells based on experimental solar cell's characteristics and field-test meteorological data. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(1), 57–67. doi: 10.1016/j.solmat.2005.01.011
- Ogriseck, S.** (2009). Integration of Kalina cycle in a combined heat and power plant, a case study. *Applied Thermal Engineering*, 29(14–15), 2843–2848. doi:10.1016/j.applthermaleng.2009.02.006
- Pagliaro, M., Ciriminna, R., Palmisano, G.** (2008). Flexible solar cells. *ChemSusChem*, 1(11), 880–891. doi: 10.1002/cssc.200800127
- Petela R.** (2003). Exergy of undiluted thermal radiation. *Solar Energy* 74(6), 469-488. doi: [10.1016/S0038-092X\(03\)00226-3](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(03)00226-3)
- Qu, W., Hong, H., Su, B., Tang, S., Jin, H.** (2018). A concentrating photovoltaic/Kalina cycle coupled with absorption chiller. *Applied Energy*, 224, 481–493. doi /10.1016/j.apenergy.2018.04.093
- Qu, W., Su, B., Tang, S., Hong, H.** (2017). Thermodynamic Evaluation of a hybrid solar concentrating photovoltaic/Kalina cycle for full spectrum utilization. *Energy Procedia*, 142, 597–602. doi: 10.1016/j.egypro.2017.12.099
- Rahbar, K., Riasi, A., Khatam Bolouri Sangjoei, H., Razmjoo, N.** (2019). Heat recovery of nano-fluid based concentrating Photovoltaic Thermal (CPV/T) Collector with Organic Rankine Cycle. *Energy Conversion and Management*, 179, 373–396. doi: 10.1016/j.enconman.2018.10.066
- Seyitoğlu, S. S.** (2018). Kömür gazlaştırma tabanlı çoklu entegre enerji sistemlerinin termodinamik analizi. Doktora Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, Çorum.

- Sheehan, S., Surolia, P. K., Byrne, O., Garner, S., Cimo, P., Li, X., Dowling, D. P., Thampi, K. R.** (2015). Flexible glass substrate based dye sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 132, 237–244. doi: 10.1016/j.solmat.2014.09.001
- Srivastava, S., Reddy, K. S.** (2017). Simulation studies of thermal and electrical performance of solar linear parabolic trough concentrating photovoltaic system. *Solar Energy*, 149, 195–213. doi: 10.1016/j.solener.2017.04.004
- Tourkov, K., Schaefer, L.** (2015). Performance evaluation of a PVT/ORC (photovoltaic thermal/organic Rankine cycle) system with optimization of the ORC and evaluation of several PV (photovoltaic) materials. *Energy*, 82, 839–849. doi: 10.1016/j.energy.2015.01.094
- Zhang, X., He, M., Zhang, Y.** (2012). A review of research on the Kalina cycle. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5309–5318. doi: 10.1016/j.rser.2012.05.040

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

SOYADI, Adı : ÖKTEN, Merve

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Sakarya Üniversitesi	2014

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-2018	Ar Grup Makine	Kalite Kontrol Mühendisi
2015-2016	Moment Mühendislik	Kalite Yönetim Mühendisi

