

**ACIL DURUM BÖLGELERİ İÇİN GÜNEŞ
ENERJİLİ SEYYAR SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ümit Deniz AKYAVUZ

**ACİL DURUM BÖLGELERİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİLİ SEYYAR SOĞUTMA
SİSTEMLERİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

Ümit Deniz AKYAVUZ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2016**

Ümit Deniz AKYAVUZ tarafından hazırlanan “ACİL DURUM BÖLGELERİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİLİ SEYYAR SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hasan ÖZCAN

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/12/2016

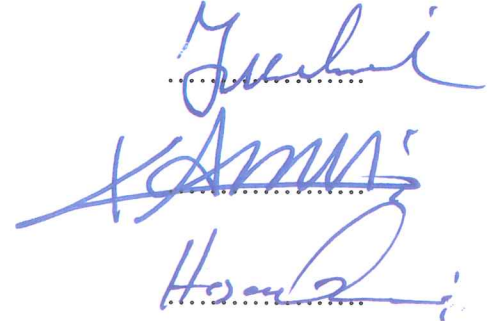
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Tayfun MENLİK (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan ÖZCAN (KBÜ)



...../...../20....

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ümit Deniz AKYAVUZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ACIL DURUM BÖLGELERİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİLİ SEYYAR SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ

Ümit Deniz AKYAVUZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Hasan ÖZCAN

Aralık 2016, 100 sayfa

Bu çalışmada, ~11 kW soğutma yüküne sahip Evergreen 20" soğuk depo konteynerinin şebeke dışı ya da acil durum bölgelerinde medikal malzemelerin muhafazası için, soğutma yükünün fotovoltaik (PV) panel ile karşılanması düşünülmüştür. Soğutma yükü sadece gündüz ve tüm gün karşılanmak üzere üç sistem için modelleme yapılmış olup, soğutucu olarak hava soğutmalı sistem göz önüne alınmıştır. I. sistemde sadece soğutucu sistem ve PV panel grubu çifti üzerine çalışılmıştır. II. ve III. sistemlerde enerji depolama ile tüm gün çalışma öngörülmüştür. II. sistemde elektrolizör, hidrojen tankı ve yakıt hücresi enerji depolama sistemi olarak, III. sistemde ise motor-pompa, rezervuar ve türbin jeneratör üniteleri (hidrolik enerji depolama) I. Sisteme adapte edilmiştir. Tüm konfigürasyonlar için hesaplamalar EES (Engineering Equation Solver) programı yardımıyla yapılmıştır. Buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde R152a, R134a, R600a, R12, R22, R410a, R1234yf, R290 soğutucu akışkanları karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. Her üç sistem için referans

sıcaklığı, basınç oranı, evaporatör sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti değişimi, PV panel alanı etkileri araştırılmış olup, ekserji ve enerji verimleri, soğutma tesir katsayıları ($COP_{en} - COP_{ex}$) ifadeleri performans göstergeleri olarak incelenmiştir. Aynı zamanda sistem için gerekli bileşenlerin ekonomik analizi termodinamik analiz sonuçları baz alınarak değerlendirilmiştir.

Analiz sonuçlarında referans alınan sistemin enerjetik ve ekserjetik COP değerleri sırasıyla 1.34 ve 0.42 olarak hesaplanmış, gerekli PV panel alanı 15 m^2 elde edilmiştir. Hidrojen depolama opsiyonu göz önüne alındığında 10 saatlik güneşlenme varsayımı ile 2.269 kg H_2 depolama ihtiyacına karşılık, gerekli PV panel alanı 104 m^2 olarak hesaplanmış, karşılık gelen enerjetik ve ekserjetik COP değerleri sırasıyla 0.21 ve 0.018 bulunmuştur. Bu sistem için performans hesaplamalarında üretilen H_2 gece kullanılacağı için enerji çıktısı olarak düşünülmemiştir. Hidrolik enerji depolama sistemi %58 verimle çalışabilmekte, ve yüksek enerji dönüşüm performansı sayesinde gerekli panel alanı 44 m^2 'ye kadar düşmektedir. Enerji depolama için ihtiyaç olan rezervuar alanları, çalışılan sistemin seyyarlığı göz önüne alındığında makul görülmemektedir. Komponent maliyetleri göz önüne alındığında I. sistem yaklaşık 10840\$ iken, H_2 depolamalı sistem maliyeti 58738\$ ve hidrolik depolamalı sistem maliyeti 220000\$'dir. Artan PV panel alanına bağlı olarak panel maliyeti toplam maliyet üzerinde kayda değer bir etki göstermektedir. Suriye'nin Halep kenti için de bir örnek model çalışması yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Acil durum bölgeleri, güneş enerjili soğutma, enerji depolama, termodinamik performans, ekonomik analiz.

Bilim Kodu : 914.1.233

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THERMOECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR BASED PORTABLE COOLING SYSTEMS FOR EMERGENCY REGIONS

Ümit Deniz AKYAVUZ

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

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Hasan ÖZCAN

December 2016, 100 pages

This thesis study aims to compensate the power requirement of an Evergreen brand portable container rated as ~11 kW using solar photovoltaic (PV) panels in order to conserve medical supplies at off-grid and emergency areas. Three systems are considered and modeled by taking energy storage into account by using a vapor compression refrigeration (VCR) system. The first system integrates only the VCR and the PV systems, while the second system uses H₂ storage by electrolysis of water and production of electricity using the produced H₂ from electrolysis, leading to overcoming of intermittent nature of solar energy availability. The third system uses the pump-hydro energy storage with a pump-turbine couple adapted to lower and upper reservoirs. All configurations are modeled and analysed using the Engineering Equation solver (EES) software package. For an optimized VCR unit, many refrigerants such as R152a, R134a, R600a, R12, R22, R410a, R1234yf, R290 are comparatively taken into account. Parametric studies are conducted using reference

temperature, VCR pressure ratio, evaporator temperature, solar irradiation, solar PV area parameters; energy and exergy assessments, as well as energetic and exergetic COP (coefficient of performance) evaluations are conducted. Additionally, thermodynamic analysis results are used to make a rough cost estimation of considered configurations.

Analysis results indicate that the reference system presents energetic and exergetic COP values of 1.34 and 0.42, respectively with a required solar panel area of 15 m². Considering the H₂ storage option, with the assumption of 10 hours of sunbathing, 2.269 kg H₂ storage is required, and the necessary PV panel area to run this system is around 104 m². The energetic and exergetic COP values result in 0.21 and 0.018, respectively. Produced H₂ from this system is not taken into account as an energy output since this agent is used as an input for the system at night time. The hydro-pump storage unit itself shows 58% efficiency which is significantly higher than that of the H₂ storage, bringing down the required PV panel area down to 44 m². It is also observed that the required reservoir volumes for water storage are too high that may jeopardize the portability of the considered system. Component costs are taken into account to make a rough estimate on system costs. The system with no energy storage costs \$ 10840, while the systems with H₂ and hydro-pump storage are \$ 58738, and \$ 220000, respectively. Increasing PV area has a significant effect on overall system costs. A case study is also considered for the city of Aleppo in Syria as an emergency region.

Key Word : Emergency regions, solar based cooling, energy storage, thermodynamic performance, economic analysis.

Science Code : 914.1.233

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan ÖZCAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu proje Karabük Üniversitesi BAP Birimi tarafından KBU-BAP-16/2-YL-091 nolu proje kapsamında finansal olarak desteklenmiőtir.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim. Biricik eőtme çalıőmam sırasında göstermiőt olduğu sabrından dolayı ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. SOĞUK DEPOLAR	5
1.1.1. Muhafaza Teknikleri Ve Soğutma	5
1.1.2. Soğuk Hava Deposu Tasarımı Ve Projelendirme Esasları	8
1.1.3. Bir Soğuk Depo Isı Kazancı İçin Bilinmesi Gerekenler	9
1.2. GÜNEŞ ENERJİSİ	10
1.2.1. Fotovoltaik Etki	11
1.2.2. Fotovoltaik Sınıflandırma	12
1.2.3. Güneş Pili Sistemleri	14
1.3. ELEKTROLİZÖR VE YAKIT PİLLERİ	16
1.3.1. Elektrolizörler	16
1.3.2. Yakıt Pilleri	17
1.4. POMPALI HİDRO DEPOLAMA	20
1.5. ACİL DURUM BÖLGELERİ	21
1.5.1. İlk Yardım Ve Sağlık Malzemeleri	21
1.5.2. Gıda Ürünleri	22

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 2	24
LİTERATÜR TARAMASI.....	24
2.1. TERMODİNAMİK ANALİZ	24
2.2. HVAC SİSTEMLERİ.....	25
2.3. PV TEMELLİ ENERJİ ÜRETİMİ.....	30
2.4. PEM YAKIT HÜCRELERİ VE ELEKTROLİZ ÜNİTELERİ.....	31
2.5. HİDROLİK ENERJİ DEPOLAMA	32
BÖLÜM 3	34
MOTİVASYON VE AMAÇLAR.....	34
BÖLÜM 4	37
SİSTEMLERİN TANITIMI VE MODELLENMESİ	37
4.1. GENEL TERMODİNAMİK BAĞINTILAR	40
4.2. SOĞUTUCU SİSTEM VE EŞİTLİKLER.....	42
4.3. PV HÜCRE VE MODELLENMESİ.....	45
4.4. HİDROJEN VE DEPOLANMASI.....	50
4.5. SU ELEKTROLİZİ	52
4.6. YAKIT HÜCRESİ.....	54
4.7. POMPALI HİDRO DEPOLAMA SİSTEMİ.....	59
4.8. EKONOMİK ANALİZ.....	60
BÖLÜM 5	64
ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	64
5.1. SİSTEM I SONUÇLARI	64
5.1.1. Termodinamik Analiz Sonuçları.....	64
5.1.2. Ekonomik Analiz Sonuçları.....	71
5.2. SİSTEM II SONUÇLARI.....	72
5.2.1. Termodinamik Analiz Sonuçları.....	72
5.2.2. Ekonomik Analiz Sonuçları.....	77
5.3. SİSTEM III SONUÇLARI.....	79
5.3.1. Termodinamik Analiz Sonuçları.....	79

	<u>Sayfa</u>
5.3.2. Ekonomik Analiz Sonuçları.....	82
5.4. SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	84
5.4.1. Performans Karşılaştırması.....	84
5.4.2. Maliyet Karşılaştırması	85
5.5. HALEP KENTİ ÖRNEK ÇALIŞMA.....	86
BÖLÜM 6	89
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Nüfus ve birincil enerji talebi projeksiyonları	4
Şekil 1.2. Dünya birincil enerji talebinin sektörlere ve kaynaklara göre dağılımı	4
Şekil 1.3. Tek kademeli soğutma sistemi.....	6
Şekil 1.4. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı dengesi.....	11
Şekil 1.5. Güneş pili çalışma prensibi.....	12
Şekil 1.6. Fotovoltaik pil, panel, dizi	12
Şekil 1.7. Solar modüller için yıllık PV üretimi	13
Şekil 1.8. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem.....	15
Şekil 1.9. Düşü, güç ve debiye göre türbin seçimi.	20
Şekil 4.1. Sistem I şeması	37
Şekil 4.2. Sistem II şeması	38
Şekil 4.3. Sistem III şeması	39
Şekil 4.4. Soğutma sistemi	42
Şekil 4.5. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi için basit log P-h diyagramı.....	43
Şekil 4.6. Eşdeğer ve basit fotovoltaik devre.	45
Şekil 4.7. PV dizgisi güç maksimizasyonunu için tipik akım-gerilim karakteristiği	47
Şekil 4.8. Global güneş radyasyonuna göre güneş pili için akım-gerilim karakteristiği	48
Şekil 4.9. PEM yakıt hücresi için bipolar düzen	55
Şekil 5.1. Güneş ışınım şiddetine ve ortam referans sıcaklığına göre PV ekserji verimi değişimi.....	65
Şekil 5.2. Çeşitli soğutucu akışkanlara göre basınç oranı - PV yüzey alanı değişimi.....	66
Şekil 5.3. Açık devre geriliminin PV verimine etkisi.....	66
Şekil 5.4. Basınç oranına göre soğutma tesir katsayısı (COP) değişimi.....	67
Şekil 5.5. Evaporatör sıcaklığına göre sistem I ve PV panel ekserji verimi değişimi.....	67
Şekil 5.6. Soğutucu akışkana göre güneş ışınım şiddeti ile sistem I ekserji verimi değişimi.....	68

Sayfa

Şekil 5.7. Soğutucu akışkana göre referans sıcaklığı ile sistem I ekserji verimi ve soğutma tesir katsayısı değişimi	69
Şekil 5.8. Soğutucu akışkana göre referans sıcaklığı ile sistem I ekserji yıkımı değişimi	69
Şekil 5.9. Soğutucu akışkana göre güneş ışınım şiddeti ile sistem I ekserji yıkımı değişim.....	70
Şekil 5.10. Sistem I maliyet karşılaştırması	72
Şekil 5.11. Yakıt pili sıcaklığının ekserji verimi ve elektrolizör depolama güç ihtiyacına etkisi	74
Şekil 5.12. Yakıt kullanım oranına göre verim ve elektrolizör için depolama güç ihtiyacı.	75
Şekil 5.13. Yakıt pili sıcaklığının ve yakıt kullanım oranının hidrojen tank hacmine etkisi	75
Şekil 5.14. Akım yoğunluğunun elektriksel potansiyel kayıplara etkisi	76
Şekil 5.15. Açık akım voltajının sistem II ekserji verimine ve soğutma tesir katsayısına etkisi	77
Şekil 5.16. Sistem II maliyet karşılaştırması	78
Şekil 5.17. Rezervuar yüksekliğine göre tank çapı ve hacmi değişimi	80
Şekil 5.18. Rezervuar yüksekliğine göre pompa güç ihtiyacı ve toplam depolama verimi değişimi	81
Şekil 5.19. Rezervuar yüksekliğine göre PV alanı ve tank çapı değişimi.	82
Şekil 5.20. Sistem III maliyet karşılaştırması.....	83
Şekil 5.21. Sistemlerin COP ve ekserji karşılaştırması.....	84
Şekil 5.22. Sistemlerin PV panel ve toplam maliyetlerinin karşılaştırılması.....	86
Şekil 5.23. Halep kenti için aylara göre yıllık güneş ışınım şiddeti.	86
Şekil 5.24. Güneş ışınımına göre Halep kenti için sistem I COP ve ekserji verimi.....	87
Şekil 5.25. Güneş ışınımına göre Halep kenti için sistem II COP ve ekserji verimi.....	87
Şekil 5.26. Güneş ışınımına göre Halep kenti için sistem III COP ve ekserji verimi.....	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Enerji ve ekserji karşılaştırması	2
Çizelge 1.2. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	3
Çizelge 1.3. Solar güç üretim sistemleri	11
Çizelge 1.4. PV materyal türleri	13
Çizelge 1.5. Hidrojen üretimi için elektroliz sistemleri	16
Çizelge 1.6. Alternatif enerjiler kullanarak H ₂ üretim kapasitesi ve verimliliği	17
Çizelge 1.7. Yakıt hücresi türleri ve işlem sıcaklıkları	19
Çizelge 1.8. Kullanım alanına ve gücüne göre yakıt pilleri	19
Çizelge 1.9. Öncelikli aşuların ve serumların saklama koşulları	22
Çizelge 4.1. Konteyner parametreleri	37
Çizelge 4.2. Fotovoltaik sistem bileşenlerinin verimleri	49
Çizelge 4.3. Üretici firmalara göre PV hücrelerin performans parametreleri	49
Çizelge 4.4. Hidrojenin termofiziksel özellikleri	50
Çizelge 5.1. Sistem I modellemesi için giriş parametreleri	65
Çizelge 5.2. Sistem I ekonomik analizi için girdiler	71
Çizelge 5.3. Sistem II giriş parametreleri	73
Çizelge 5.4. Sistem II ekonomik analizi için girdiler	78
Çizelge 5.5. Sistem III modellemesi için giriş parametreleri	79
Çizelge 5.6. Sistem III ekonomik analizi için girdiler	83
Çizelge 5.7. Sistem bileşenleri ve toplam maliyet	85

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- A, a : alan, membran su aktivitesi
AUX : maliyet güvenlik faktörü
BO : basınç oranı
C : maliyet
E, V : gerilim
Ex : ekserji
e : elektron yükü
F : faraday sabiti
g : yerçekimi ivmesi
H : hidrolik düşü
h : entalpi, yükseklik
I : akım
I_T : güneş ışınım şiddeti
J : akım yoğunluğu
K : ısı geçiş katsayısı
k : boltzmann sabiti
K_{eq} : denge sabiti
m : kütle
n : mol oranı
P : basınç
P : güç
Q : ısı enerjisi
R : direnç
R : gaz sabiti
S, s : entropi
St_h : depolanan hidrojen tüketim süresi

- SF : güvenlik faktörü
T : sıcaklık
U : kullanım oranı, ısı değişim faktörü, iç enerji
V : hacim
v : hız, özgül hacim
W : mekanik enerji
x : kuruluk derecesi
y : molar fraksiyon
z : elektron sayısı, yükseklik

YUNAN SİMGELERİ

- \mathcal{A} : üstel faktör
 η : enerji verimi
 ψ : ekserji verimi
 σ : membran kalınlığı
 α : yük transfer katsayısı
 γ : konsantrasyon aşırı gerilim üssü, molar fraksiyon
 β : konstrasyon aşırı gerilim faktörü
 ω : membran nem faktörü
 ρ : yoğunluk
 ΔT : sıcaklık farkı

ALT SİMGELER

- a : anot
act : aktivasyon
b : sınır
c : kompresör
cat : katot
cell : hücre
ch : kimyasal
conc : konsantrasyon

cond	: kondenser
cont	: konteyner
D	: yıkım
elec	: elektrolizör
en	: enerjetik
eva	: evaporatör
ex	: ekserjetik
f	: yakıt
FC	: yakıt pili
gen	: üretim
gv	: genişleme valfi
in	: giriş
is	: izentropik
kin	: kinetik
L	: limit
m, max	: maksimum
matter	: madde
nf	: non-flow
o	: referans
oc	: açık devre
ohm	: direnç
out	: çıkış
ph	: fiziksel
pot	: potansiyel
pump	: pompa
ref	: soğutucu akışkan
rev	: tersinir
REZ	: rezervuar
sat	: doygunluk
t	: türbin
tot	: toplam
w	: su

KISALTMALAR

- AC : Alternative Current (Alternatif Akım)
- AE : Alkaline Electrolyser (Alkalin Elektrolizör)
- BO : Basınç Oranı
- COP : Coefficient Of Performance (Soğutma Tesir Katsayısı)
- CSP : Concentrated Solar Power (Konsantre Güneş Enerjisi)
- DC : Direct Current (Doğru Akım)
- EES : Engineer Equation Solver (Mühendislik Denklem Çözücü)
- FC : Fuel Cell (Yakıt Pili)
- FF : Fill Factor (Dolgu Faktörü)
- HHV : Higher Heating Value (Üst Isıl Değer)
- HTSE : High-Temperature Steam Electrolysis (Yüksek Sıcaklık Buhar Elektrolizörü)
- LHV : Lower Heating Value (Alt Isıl Değer)
- OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
- ORC : Organic Rankine Cycle (Organik Rankine Çevrimi)
- OTEC : Ocean Thermal Energy Conversion (Okyanus Termal Enerji Dönüşümü)
- PV : Photovoltaic (Fotovoltaik)
- PEME : Proton Exchange Membrane Electrolyser (Proton Değişim Membranlı Elektrolizör)
- PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayi devrimi sonrası kapital sistem etkisiyle, hammadde işlenerek ürüne dönüştürmek için her türlü eylem yapılabilir görülmüştür. Bu eylemler yapılırken genel olarak eylemin niceliği dikkate alınmıştır. Bir süre iş ya da iş üretme kabiliyeti olarak adlandırılan enerji niceliği, faydalı iş söz konusu olmaya başladıktan sonra her türlü hareket ve hareket üretme kabiliyeti olarak değişime uğramıştır. Gerçek iş ya da iş üretme kabiliyeti ise faydalı iş olarak ekserji adıyla tanımlanır hale gelmiştir.

Enerji ve ekserji kavramları Çizelge 1.1' de karşılaştırdıktan sonra ekserji analizi yapılmasının önemi aşağıdaki gibi sıralanabilir (Dinçer, 2002):

- Enerji kaynakları kullanımının çevreye olan etkilerinin en iyi şekilde belirlenmesinde ana bir araçtır.
- Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için termodinamiğin ikinci yasası ile birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.
- Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerlerini, tiplerini ve gerçek büyüklüklerini ortaya çıkararak, daha fazla verimli kaynak kullanılma amacını destekleyen uygun bir tekniktir.
- Daha verimli enerji sistemlerini tasarlamamanın mümkün olabileceğini mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak gösteren etkin bir tekniktir.
- Sürdürülebilir gelişmenin elde edilmesinde anahtar bir bileşendir.
- Enerji politikalarının oluşturulmasında kullanılacak önemli bir araçtır.

Çizelge 1.1. Enerji ve ekserji karşılaştırması (Dinçer, 2002).

Enerji	Ekserji
Sadece madde ya da enerji akış parametrelerine bağlıdır ve çevresel parametrelere bağlı değildir.	Madde veya enerji akışı ve çevresel parametrelerin her ikisine bağlıdır.
Sıfırdan farklı değerleri vardır. (Einstein'a göre mc^2 ye eşittir)	Sıfıra eşittir (Çevre ile dengede olarak ölü hal durumunda)
Tüm prosesler için termodinamiğin 1. Yasası ile gösterilir	Sadece tersinir prosesler için termodinamiğin 1. Yasası ile gösterilir. (Tersinmez proseslerde kısmen veya tamamen yok)
Tüm prosesler için termodinamiğin 2. Yasası ile sınırlıdır. (Tersinir olanlar dahil)	Termodinamiğin 2. Yasası nedeniyle tersinir prosesler için sınırlı değildir.
Hareket ya da hareketi üretme kabiliyetidir.	İş ya da iş üretme kabiliyetidir.
Bir proseste her zaman korunur. Ne vardan yok olur ne de yoktan var edilir.	Tersinir proseslerde her zaman korunur, ama tersinmez proseslerde her zaman tüketilir.
Miktarın (niceliğin) bir ölçüsüdür.	Niceliğin ve entropi nedeniyle niteliğin (kalitenin) bir ölçüsüdür.

Fosil yakıtların faydalı iş üretimi için yaygın olarak kullanılması, kısa vadede enerji ihtiyaçlarının giderilmesi için bir alternatif oluşturmuş olsa da; yüksek miktardaki zararlı emisyonların varlığı ve kullanım kısıtları, uzun vadede fosil yakıtlara bir alternatif bulunması zorunluluğunu getirmiştir.

Günümüzde özellikle gıdalarda arz-talep dengesizliğine bir çare olarak soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Soğutma sistemleri genel olarak elektrik enerjisi tüketimiyle Carnot Çevrimi mantığına dayanan sistemlerdir. Ortam havasının şartlandırılmasını gerçekleştiren bu mekanik sistemler, genellikle kondenser, evaporatör, genleşme vanası ve kompresör komponentlerinden oluşmaktadır. Bu sistemlerin çalışması için en önemli girdi elektrik enerjisi olduğundan, kullanım alanları elektrik enerjisinin var olduğu yerlerle kısıtlıdır. Seyyar uygulamalarda ise araçlardaki içten yanmalı motorlardan elde edilen mekanik enerjinin bir kısmının elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle gerekli girdi elde edilir. Elektrik enerjisine, elektrik hatlarına ulaşmanın vs. mümkün olmadığı durumlarda gerekli soğutmayı sağlayabilmek için alternatif fiziksel sistemlere ihtiyaç duyulur. Bu ihtiyaç, soğutmanın yapılacağı bölgenin durumuna bağlı olarak, ilgili yenilebilir enerji kaynağı ile giderilebilir.

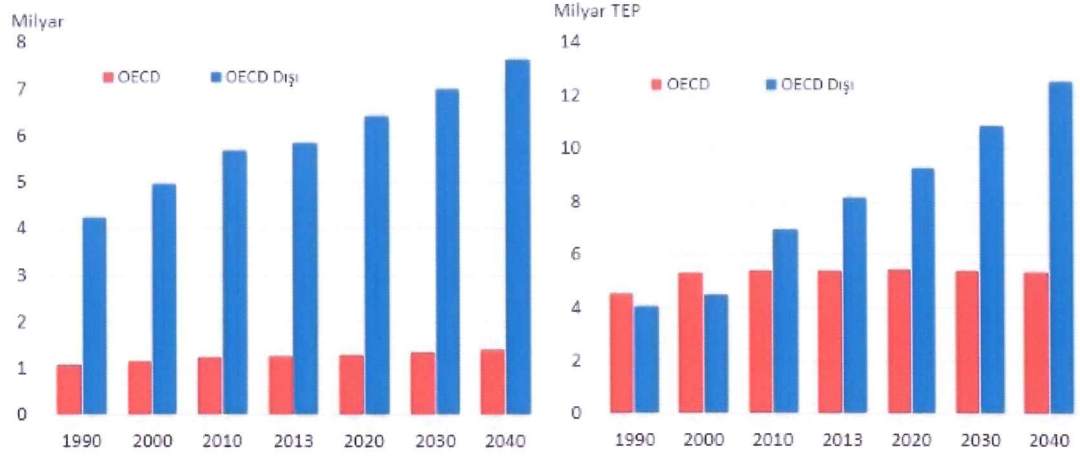
İş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji, mekanik, ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi değişik türlerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle bir türden diğerine dönüştürülebilmektedir. Sınıflandırma durumunda enerjii kullanışlarına göre yenilenebilir ve yenilenemez; dönüştürülebilirliklerine göre de primer ve sekonder olarak ayırabiliriz (Çizelge 1.2). Yenilenebilir enerji; hidrolik, güneş, biokütle, rüzgar, jeotermal, dalga, gel-git ve hidrojen'dir. Yenilenemez enerjiler ise kömür, petrol, doğalgaz ve çekirdek kaynaklı uranyum ve toryumdur (Koç ve Şenel, 2013).

Çizelge 1.2. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2013).

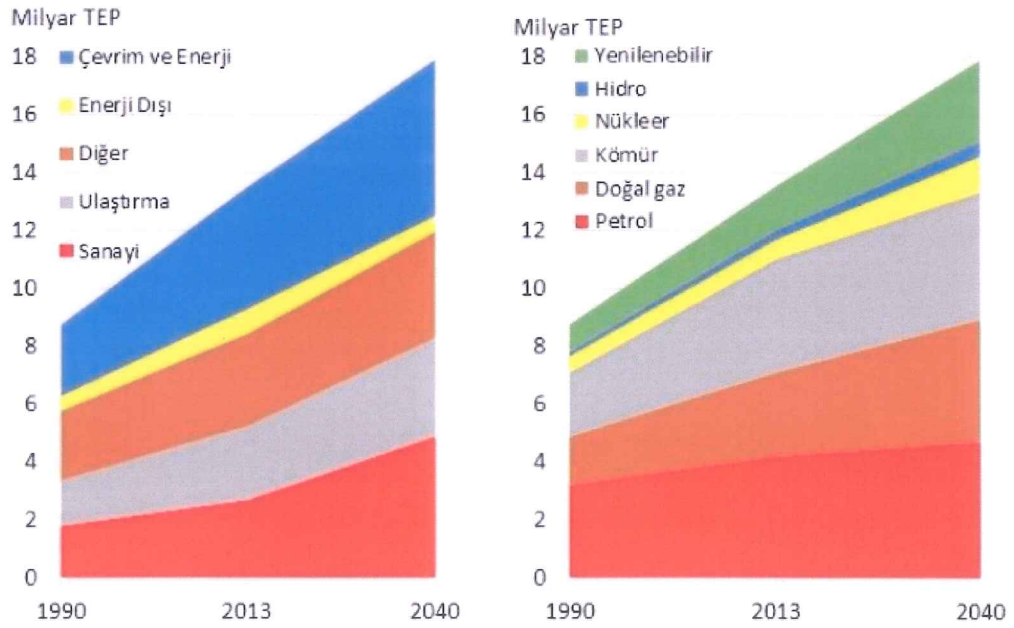
Enerji Kaynakları			
Kullanışlarına Göre		Dönüştürülebilirliklerine Göre	
Yenilenemez (Tükenir)	Yenilenebilir (Tükenmez)	Birincil (Primer)	İkincil (Sekonder)
Fosil Kaynaklı	- Hidrolik	- Kömür	- Elektrik
- Kömür	- Güneş	- Petrol	- Benzin
- Petrol	- Biokütle	- Doğalgaz	- Motorin
- Doğalgaz	- Rüzgar	- Nükleer	- İkincil Kömür
Çekirdek Kaynaklı	- Jeotermal	- Biokütle	- Kok, Petrokok
- Uranyum	- Dalga, Gel-Git	- Hidrolik	- Hava Gazı
- Toryum	- Hidrojen	- Güneş	- Lit Petrol Gazı
		- Rüzgar	
		- Dalga, Gel-Git	

Sanayileşmenin getirdiği ihtiyaçların çeşitlilik göstermesi sonucu, artan nüfusun refah düzeyine ve teknolojik gelişmişliğine paralel olarak enerji her alanda kullanılmaktadır. Fosil yakıtları olan kömür, petrol ve doğalgazın alternatifi olarak düşünülen yenilenebilir enerjilerin dünyadaki kapasitesi coğrafi konum ve jeolojik yapıya göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle ülkelerin yenilenebilir enerjilerde izlediği/izleyeceği politikalarda farklılıklar gösterir (Açıkgöz vd., 2015).

Nüfus ve gelir artışı enerji tüketiminin artmasında başlıca etkenlerden olup, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Strateji Geliştirme Başkanlığı'nın raporuna göre 2040 yılında dünya nüfusunun 9 milyara yükseleceği, nüfus artışının çoğunun OECD dışı ülkelere kaynaklanacağı öngörülmektedir. OECD dışı ülkelerin sanayi ve kentleşmelerine bağlı olarak birincil enerji talepleri artış gösterecektir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Nüfus ve birincil enerji talebi projeksiyonları (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016).



Şekil 1.2. Dünya Birincil Enerji Talebinin Sektörlere ve Kaynaklara Göre Dağılımı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016).

Aynı rapora göre dünya birincil enerji talebinin sektör ve kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.2' de verilmiştir.

1.1. SOĞUK DEPOLAR

İnsanların yaşamı için hayati önem taşıyan birincil ihtiyaç malzemeleri temin edilmelidir. Hatta temin etmenin yeterli olmayıp, muhafazasının yapılması gereklidir.

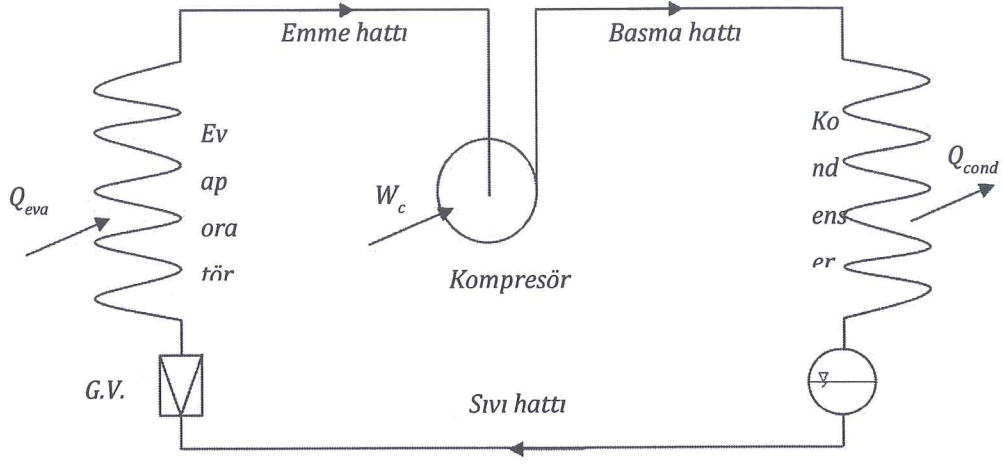
1.1.1. Muhafaza Teknikleri Ve Soğutma

Ticari hayatta soğuk depoculuk,soğuk muhafaza ve donmuş muhafaza olmak üzere iki şekilde yapılır. Gıda maddelerinin özelliğine ve muhafaza sürelerine göre soğuk muhafazalar $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında yapılır. Kısa süreli muhafaza tekniğidir. Et ve mamulleri, süt ve süt mamulleri, kümes hayvanları, su ürünleri, konserveler, meyveler ve sebzeler bu kategoride gün veya hafta ile sınırlı olarak muhafaza edilirler. Donmuş muhafazalar emtianın özellik ve muhafaza süresine göre $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında yapılır. Donmuş muhafaza yapılacak olan emtia, önce ön soğutma ile $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar soğutulur, sonra cinsine göre $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar şok soğutmaya uğratarak dondurulur. En son olarak da yine özelliklerine göre $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında donmuş muhafaza edilir. Uzun süreli muhafaza tekniğidir. Ürünlerin en az 2 ay, en fazla 12 ay muhafaza edilir (Savaş, 2002).

Bilinen başlıca soğutma sistemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma sistemi
- Absorbsiyonlu soğutma sistemi
- Adsorbsiyonlu soğutma sistemi
- Buhar-jet (ejektör) soğutma sistemi
- Hava soğutma sistemi
- Termoelektrik soğutma sistemi
- Vorteks tüpü
- Paramagnetik soğutma
- Siterling soğutma sistemi

Mekanik soğutma sistemlerine giriş yapılırken tek kademeli soğutma devresinin ele alınması daha uygundur. Basit bir şema halinde Şekil 1.3' te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Tek kademeli soğutma sistemi (Savaş, 1987).

Tek kademeli soğutma devresi, sekiz ayrı üniteden oluşmaktadır. Bu ünitelerden her birinin soğutma devresindeki görevi aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır (Savaş, 1987).

Soğutucu

Belirli bir ısı transfer yüzeyinde olup, soğutulan mekandan gerekli ısı transferini sağlayarak sirkülasyon halindeki soğutucu akışkanı buharlaştırır. Bu işlem sırasında soğutulan mekan havasının ısı tutumu azalır, soğutucu akışkanın ise ısı tutumu artar. Sonuç olarak, ısı tutumu azalan mekan havasının sıcaklığı azalır ve işlemin devamı halinde soğutma olayı gerçekleşir.

Emme Hattı

Soğutucu üniteye buharlaşan düşük basınçlı soğuk soğutucu akışkan buharının kompresör emişine taşınma yoludur.

Kompresör

Soğutucu üniteye buharlaşan düşük basınçlı soğuk soğutucu akışkan buharını emerek yüksek basınç ve sıcaklık altında kondensere basar. Kompresör bu görevini yaparken emme ve basma tulumba (pompa) gibi rol oynar.

Basma Hattı

Kompresörün emip bastığı yüksek basınç ve sıcaklık altındaki soğutucu akışkan kızgın buharının kondensere sevk yoludur.

Kondenser

Soğutucu üniteye olduğu gibi belirli bir ısı transfer yüzeyinde olup, ancak soğutucu üniteye olan işlemin aksine; yüksek basınçlı sıcak soğutucu akışkan buharından kondens ortamına, yani; yoğuşma ortamına ısı transferini sağlar. Yoğuşma ortamı su veya atmosfer havasıdır. Yoğuşma sırasında ısı tutumu kaybı olan yüksek basınçlı sıcak soğutucu akışkan buharı, önce kızgın buhar durumundan doymuş buhar durumuna, daha sonra da sıvı durumuna dönüşür.

Sıvı Tankı

Kondenserde yoğuşan sıvı soğutucu akışkan, sıvı tankında toplanır. Sıvı tankında daimi olarak sıvı soğutucu akışkan stoku bulunması, soğutucu ünitenin ihtiyacı soğutucu akışkanın emniyet altında beslenmesini sağlar. Sıvı tankında herhangi bir sıvı soğutucu akışkan birikintisi olmaması halinde soğutucu ünitenin ihtiyacı soğutucu akışkanın beslenmesinde kesilmeler veya ara vermeler olur. Bu durum ise soğutma düzenini ciddi şekilde bozar. Bu durumda daha çok soğutma devresinde yeter miktarda soğutucu akışkan bulunsa dahi soğutma devresinde sıvı tankı bulunmazsa aynı düzensiz soğutma devam eder. Bu sebeple düzenli bir soğutma işlemi için bir soğutma devresinde bir sıvı tankının bulunması zorunluluktur.

Sıvı Hattı

Kondenserde yoğuşarak sıvı tankında sınırlı miktarda toplanan sıvı soğutucu akışkanın genişleme valfine veya genişleme kılcal borusuna taşınması yoludur.

Genleşme Valfi

Genleşme valfinde sıvı soğutucu akışkan aniden genişleşip, soğutucu üniteye yayılırken kısmen buharlaşır. Bu ani genişleşme sırasında kısmen buharlaşan soğutucu akışkanın basıncı, dolayısı ile, sıcaklığı düşer. Genleşme çok ani olduğu için soğutucu akışkanın ısı tutumunda herhangi bir değişiklik olmadığı kabul edilir. Genleşme valflerinin elle kumandalı, şamandıralı, termostatik duyarlı ve kapasite ayarlı türleri olduğu gibi, elektronik kumandalı türleri de geliştirilmiştir. Ancak, ev ve ticari buzdolapları ile, küçük boyutlu soğutucularda maliyet indirimi ve sadelik amacı ile, kılcal borular da genişleşme valfi yerine kullanılabilir.

1.1.2. Soğuk Hava Deposu Tasarımı Ve Projelendirme Esasları

- Besin maddelerini doğal durumlarında saklayabilmek, besin maddelerinin cinsine göre belirlenmiş uygun düşük bir sıcaklık ve bağıl nemde tutulması ile sağlanabilir. Bu nedenle, öncelikle soğutulacak maddenin cinsi ve buna bağlı olarak soğuk odanın iç sıcaklık ve bağıl nemi belirlenir.
- Konulacak ürün cinsine ve ürün kapasitesine göre, odanın büyüklüğü tespit edilir. Oda boyutları belirlenirken, ürünler etrafındaki iç hava hareketleri düşünülmeli, seçilecek buharlaştırıcıya uygun olmalı.
- Soğuk odanın yapılacağı yere ait dış hava şartları belirlenir. Isı kazançlarını azaltmak için mümkün ise odanın güneşe göre konumu konumunda düzeltmeler yapılmalıdır.
- Döşeme, yan hacim, çatı sıcaklıkları belirlendikten sonra, iç ve dış hava şartları göz önünde tutularak, odanın konstrüksiyonu ile en ekonomik yalıtım malzemesi ve kalınlığı belirlenir.
- Soğutma yükünü meydana getiren ısı kazançları belirlenir. Bunun için ısı kazançları dört grupta toplanır.

1. Transmisyon ısısı olarak bilinen, soğutulan hacmi çevreleyen duvar, döşeme ve tavandan iletim ve taşınım yoluyla geçen ısı kazançları.
2. Soğutulan hacme dışarıdan daha yüksek ısı tutumundaki havanın girmesiyle gelen ısı kazancıdır ki, infiltrasyon ısısı olarak bilinir.
3. Soğutulan hacme konulan malların ısısı olup, sebze ve meyvelerin oluşturduğu olgunlaşma ısısı da dahildir.
4. Soğutulan hacmin içerisindeki ışıklardan, insanlardan, motorlardan, vb. ortaya çıkan ısı kazancı.

1.1.3. Bir Soğuk Depo Isı Kazancı İçin Bilinmesi Gerekenler

- Soğuk odanın bulunacağı dış hava şartları
- Soğuk odanın hizmet vereceği kategori (soğuk muhafaza, donmuş muhafaza, şoklama)

Bu ısıl durumlara göre sistemin çalışma şartları için, evaporasyon ve kondensasyon şartları dikkate alınır. Evaporasyon şartı daima iç oda sıcaklığının 10 °C altı olmalıdır. İdeali budur, ancak zor şartlarda bu fark 7 °C' ye kadar çekilebilir. Yani 0 °C' lik bir odada $T_{eva} = -10$ °C olmalıdır. Kondensasyon şartı da daima dış hava sıcaklığının meteorolojik olarak saptanmış ve kitaplara geçmiş en yüksek dış hava sıcaklığından 10 °C fazlası olmalıdır. Yani $T_{eva,dış} = +35$ °C ise $T_{kond} = +45$ °C olmalıdır (Savaş, 2002).

- Yapı elemanlarında K (ısı iletim kat sayısı) için ideal olan yapı elemanı belirlenmelidir. Pratikte vakit fazla değilse, soğutma durumunda ve ele alınan dış ısı maksimum ise;

$$K_{dış\ duvar} = 0,25 - 0,30 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

$$K_{iç\ duvar} = 0,20 - 0,25 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

$$K_{\text{tavan}} = 0,25 - 0,30 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

$$K_{\text{döşeme}} = 0,15 - 0,25 \text{ kcal/hm}^2\text{°C}$$

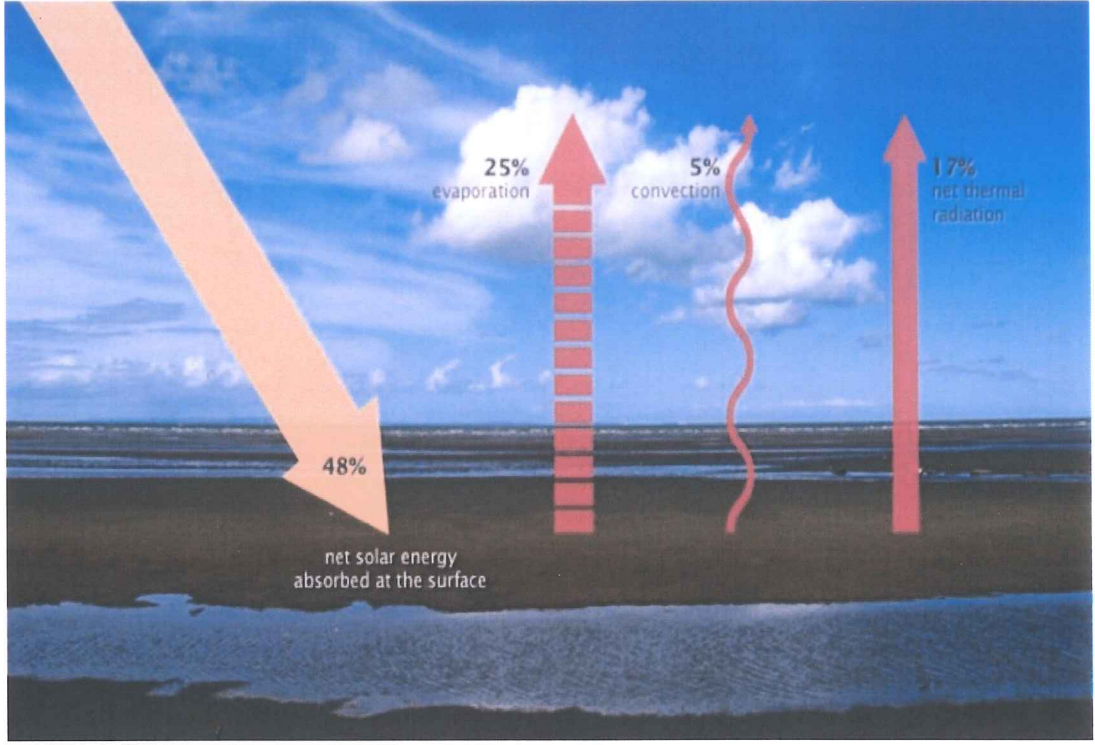
olarak alınabilir.

- Odanın bulunduğu bitişik nizam mahal, duvar, tavan, döşeme, toprak sıcaklıkları da eğer elde proje varsa oradan, avan projeden çalışılıyorsa maksimum sıcaklık altında çalıştığımızı düşünerek yan iç mahallerin ve tavanların dış hava sıcaklığında 5 – 7 °C düşük, döşemelerin 10 °C düşük, toprak sıcaklığının 15 °C düşük kabulü ile hesaplara gidilebilir.

1.2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin yaydığı ve güneş çekirdeğindeki füzyon sonucu açığa çıkan ışınım enerjisidir. Bu enerjinin 150 milyon km uzaklıktan dünya atmosferi dışındaki ulaşabildiği değer 1360 W/m²’ dir. Dünya atmosferi bu ışınım enerjisinin %29 unu yansıtır, %23 ü atmosfer gazları tarafından absorbe edilir. Geriye kalan %48 ise dünya yüzeyine ulaşır. Yüzeğe ulaşabilen bu %48 lik ışınım enerjisinin %25 i buharlaşma, %5 i konveksiyon, %17 si termal radyasyon ile dengelenir (Şekil 1.4). %1 i ise bitkiler, fotosentez için kullanılır (Nasa, 2016).

Güneş enerji sistemleri, fotovoltaik güneş teknolojisi ve ısı güneş teknolojisi olarak çalışma alanı bulur (Çizelge 1.3). Isıl güneş teknolojileri, akışkan ısıtılmasına dayalı güneş enerjisinden yararlanırken, fotovoltaik güneş teknolojileri, üzerine düşen güneş ışınımını direk elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerden yararlanır.



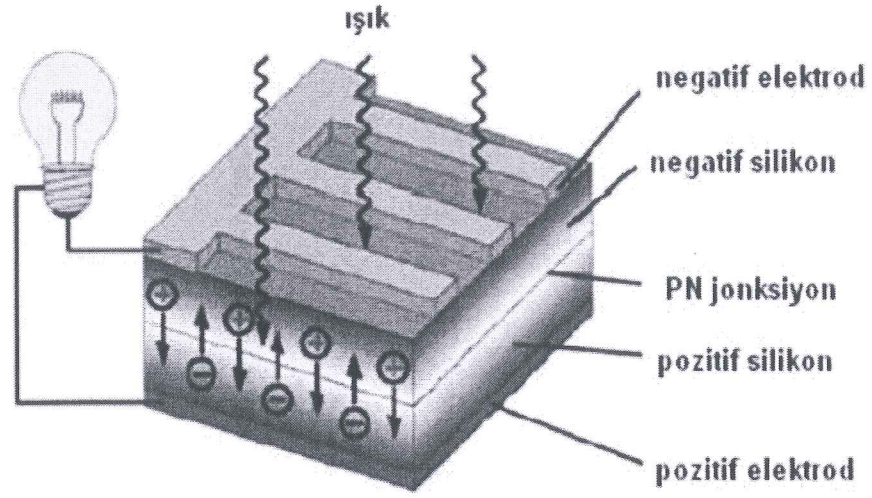
Şekil 1.4. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı dengesi.

Çizelge 1.3. Solar güç üretim sistemleri.

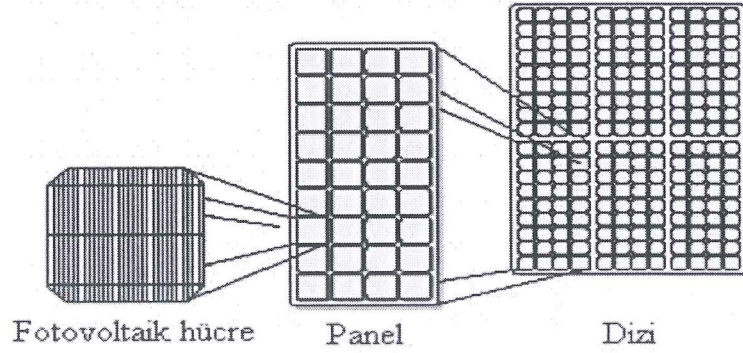
Fotovoltaik sistemler	Solar ısı sistemler
Yoğunlaşmış (C-PV)	Düşük sıcaklık (<150 °C)
Yoğunlaşmamış	Bileşik parabolik yoğunlaştırıcı ve ORC
	Orta sıcaklık (200-400 °C)
	Solar alanlar ve ORC ya da buhar Rankine çevrimi
	Yüksek sıcaklık (500-800 °C)
	Rankine veya Brayton çevrimli güneş kulesi ve heliostat
	Çok yüksek sıcaklık (1000-1500 °C)
	Stirling veya Brayton çevrimli solar çanaklar

1.2.1. Fotovoltaik Etki

FV etki 1839 yılında Fransız fizikçi Becquerel tarafından keşfedilmiştir (Patel, 2005). Güneş pili basit olarak ince yarı iletken katmanlardan imal edilen bir p-n birleşimi olarak ifade edilebilir (Şekil 1.5) (Tsai vd., 2008).



Şekil 1.5. Güneş pili çalışma prensibi (Nayar vd., 2001; Yılmaz H. E., 2010).



Şekil 1.6. Fotovoltaik pil, panel, dizi (Kulaksız, 2007).

FV piller seri veya paralel bağlanarak Şekil 1.6'da görüldüğü gibi bir paneli oluştururlar. Panellerin seri veya paralel bağlanması ile ise diziler elde edilmektedir (Kulaksız, 2007).

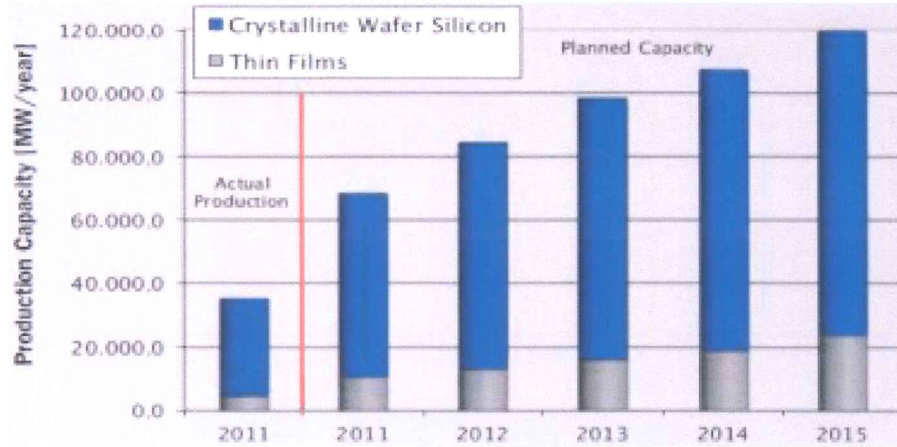
1.2.2. Fotovoltaik Sınıflandırma

PV malzemeler, güneş pili adıyla piyasada bulunmaktadır. Bu malzemelerin araştırmalar sonucu elde edilen farklı türleri Çizelge 1.4' te verilmiştir.

Çizelge 1.4. PV materyal türleri.

Kristal silikon	İnce film	Organik polimer	Hibrid PV hücre	Duyarlı boya
Monokristal	Amorf silikon			
Polikristal	Tekli bağlantı			
GaAs	Çiftli bağlantı			
	Üçlü bağlantı			
	CdS / CdTe			
	CIS / CIGS			

Verimlilik ve gelişen teknoloji nedeniyle silikon esaslı güneş pilleri günümüzde pazar payında lider konumdadır (Şekil 1.7). Her geçen günde PV üretimi dünyada artmaktadır. Üretimde Çin'in liderliğini Tayvan ve Japonya izlemektedir (Jäger-Waldau, 2014). Yarı iletken kristaller olan Si ve GaAs en yüksek performansa sahiptir. Daha az saf olan Polikristal, amorf inorganik, organik veya kombinasyonlarının, maliyeti gibi performansları da düşüktür (Nayak vd., 2012).



Şekil 1.7. Solar modüller için yıllık PV üretimi.

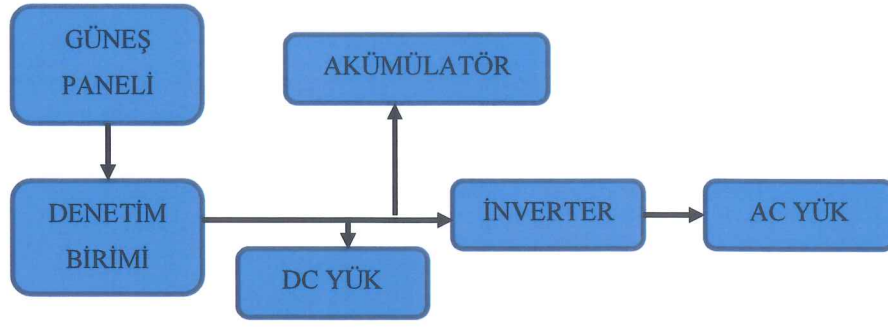
Monokristal ve polikristal güneş pilleri ile karşılaştırıldığında hafifliği ve düşük maliyet, ince film teknolojisini potansiyel teknoloji kılar. Ancak düşük verim bilim dünyasında hala endişe nedenidir (McCann vd., 2001). İnce film teknolojisinde verimi arttırmak için birçok deneysel çalışma dünyada yapılmaktadır (El Chaar ve El Zein, 2011).

1.2.3. Güneş Pili Sistemleri

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser.

Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.' lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur. Şekil 1.8' de şebekeden bağımsız (off-grid) bir güneş pili enerji sisteminin şeması verilmektedir (EİE, 2016). Bataryalı sistemlerde büyük miktarlarda enerji depolamanın maliyeti çok yüksek olduğu gibi, uzun süreli (örneğin mevsimlik) depolama mümkün değildir. Klasik (örneğin araçlarda kullanılan basit çevrimli) bataryalardan oluşmuş bir sistemde depolanan enerjinin sadece %20-30 kısmı çekilebilmekte ve batarya ömrü çok kısa (1- 2 yıl) olmaktadır. Özel olarak tasarlanmış genişletilmiş çevrime sahip bataryalarda çalışma ömrü daha uzun (yaklaşık 5 yıl) ve enerji çekilme oranı daha yüksek (yaklaşık %80) olmasına karşın, maliyet çok yükselmektedir (Radovic ve Schobert, 1997).



Şekil 1.8. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem.

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi, daha çok görülen uygulaması, binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır (EİE, 2016).

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma

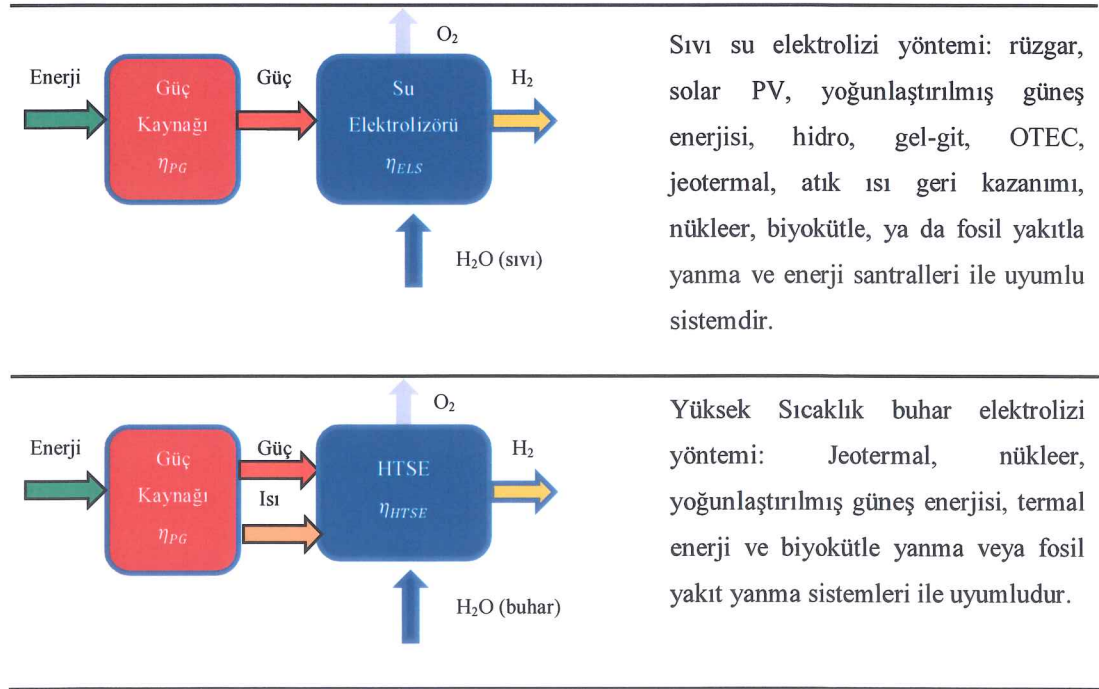
1.3. ELEKTROLİZÖR VE YAKIT PİLLERİ

Elektrolizörlerde elde edilen hidrojen gazı, sonrasında yakıt pillerinde kullanılarak enerjiye dönüştürülür.

1.3.1. Elektrolizörler

Elektroliz 1800 yıllarının başında bulunmuş olup, Faraday kanununa göre formüle edilmiştir. Elektroliz reaksiyondaki elektrotların elektrik akımı ile orantılıdır. Günümüzde su elektrolizörleri üç temel teknoloji kullanılır: Alkalın elektrolizörleri (AE), katı oksit yüksek sıcaklıktaki buhar elektrolizörleri (HTSE) ve proton değişim membran elektrolizörleri (PEMEs). Prensipde suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi için iki işlem vardır. Bunlar Çizelge 1.5' te verilmiştir (Dinçer ve Zamfirescu, 2014).

Çizelge 1.5. Hidrojen üretimi için elektroliz sistemleri (Dinçer ve Zamfirescu, 2014).



Günümüzde en çok kullanılan elektrolizör alkalın tipte olındır. HTSE sağlık alanında kullanılmaktadır. Alkalın elektrolizörlerin çalışma sıcaklıkları 353-475 K olup yüksek kapasiteli ticari amaçlar için kullanılır (Günde 750,000 N/m³). Katı oksit HTSE' lerin çalışma sıcaklıkları 1000 K civarında olup oldukça yüksektir. Avantajı hidrojen

elektrolizi için kullanılan gerilimin düşük sıcaklıktakilere göre daha az olmasıdır. PEME'ler düzlemsel elektrot yığınlarından ve asidik elektrolitten oluşan oturmuş bir teknolojidir. Çalışma sıcaklıkları 325-353 K olup diğer teknolojilere göre günlük hidrojen üretimi daha azdır (Günde 1500 N/ m³). Bu nedenle düşük kapasiteli amaçlar için daha uygun olacaktır.

Çizelge 1.6 Yeşil (Rüzgar, hydro, gel-git, termal okyanus [OTEC], solar PV, yoğunlaştırılmış güneş [CSP], nükleer, jeotermal, atık ısı) enerjiler kullanarak elektroliz yöntemleri ile H₂ üretim kapasitelerini ve verimliliklerini vermektedir (Dincer ve Zamfirescu, 2012).

Çizelge 1.6. Alternatif enerjiler kullanarak H₂ üretim kapasitesi ve verimliliği.

Teknoloji	η (%)	ψ (%)	\dot{E} (MW)
Rüzgar Türbini + AE/PEME	22-40	21-39	0,01-400
Hidro/gel-git + AE	60-65	58-63	0,1-1000
OTEC + AE	4-5	45-50	30-300
Solar PV + PEME	4-6	3-5	0,001-0,1
CSP + AE/PEME	11-31	11-30	25-300
Jeotermal Rankine + AE	10-15	20-30	10-300
Nükleer + AE	19-32	17-29	100-1000
Atık Isı (Rankine ile) + AE/PEME	4-15	10-35	0,001-0,1
Jeotermal + HTSE	11-16	22-32	10-300
CSP + HTSE	12-32	12-31	25-300
Nükleer + HTSE	22-35	20-33	100-1000

1.3.2. Yakıt Pilleri

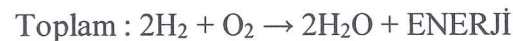
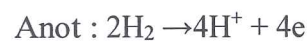
Yakıt pili elektrik ve ısı formundaki kullanılabilir enerjiyi, yakıt ve elektrokimyasal reaksiyonun gerçekleşmesinde gerekli olan oksitleyicinin kimyasal enerjisinden sağlayan güç üretim elemanıdır. İlk kullanım yeri olarak 1958 yılında NASA'nın uzay programında kullanılan Apollo, Gemini, ve Space Shuttle uzay gemilerine dayanmaktadır.

Yakıt pillerinde kullanılan yakıtın fiyatı, kullanılabilirliği, enerji içeriği, çevresel etkileri, depolama-taşıma-kullanım kolaylığı göz önüne alınarak uygun yakıt seçiminin yapılması gereklidir. Yakıt beslemesi doğrudan ve dolaylı olarak gerçekleştirilmektedir. Hidrojen, metan, doğal gaz, hava gazı, LPG, hidrazin yakıt piline doğrudan beslenerek kullanılabilir. Bir ön işlem uygulanması gereken yakıtın dolaylı olarak beslenmesine örnek olarak kömür, metanol, etanol, amonyak ve hidrokarbonlar kullanan yakıt pilleri verilebilir.

Bir yakıt pili anot (negatif, hidrojen elektrotu), katot (pozitif, oksijen elektrotu) ve elektrolit çözeltisinden oluşur. Hava katot yüzeyi üzerinden geçerken hidrojen veya hidrojen zengin gaz da anot yüzeyinden geçer. Elektronlar katoda doğru bir dış devre yoluyla taşınırken, hidrojen iyonları da elektrolit yoluyla oksijen elektroda göç eder. Katotta oksijen ve hidrojen iyonları ile elektronların reaksiyona girmesiyle su elde edilir. Elektronların dış devre yoluyla akışı elektrik üretir. Hidrojen veya diğer yakıtları kullanarak elektrik enerjisi elde edilen yakıt hücrelerinin sekiz ana türü vardır. Bunlar Çizelge 1.7' de uygulama sıcaklıklarına göre verilmiştir (Dinçer ve Zamfirescu, 2014).

PEM yakıt pillerinde, elektrotlar karbon yapıları olup, kullanılan elektrolit ise ince bir polimer membrandır. Bu ince polimer tabakadan protonlar kolayca diğer tarafa geçebilirken, elektronların geçişi mümkün değildir. Hidrojen anot üzerine akarken, elektrot yüzeyinde hidrojen iyonlarına (proton) ve elektronlarına ayrılır. Oluşan hidrojen iyonları ince membrandan katoda doğru ilerlerken, geçişi engellenen elektronlar dış devreden geçerek güç oluştururlar. Havadan sağlanan oksijen katot üzerinde hidrojen iyonları ve dış devreden gelen elektronlar ile birleşerek suyun oluşmasını sağlar (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2003).

PEM yakıt pili elektrotları üzerinde gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;



Çizelge 1.7. Yakıt hücresi türleri ve işlem sıcaklıkları.

Hücre Tipi	İşlem Sıcaklığı
Proton Değişim Membranlı (PEM)	60-140 °C
Alkalın (AFC)	150-200°C
Fosforik Asit (PAFC)	150-200°C
Erimiş Karbonat (MCFC)	600-700°C
Proton İletimli Katı Oksit (SOFC+)	200-700°C
Oksijen İyonu İletimli Katı Oksit (SOFC-)	1000-1200°C
Direk Metanol (DMFC)	30-80 °C
Direk Amonyak (DAFC)	400-700 °C

Yakıt pili uygulamaları ticari konut ya da güç santrallerinde kullanılabilir. Uygulama büyüklüğü, yeri ve kullanılan yakıt pili türüne göre Çizelge 1.8' de verilmiştir (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2003).

Çizelge 1.8. Kullanım alanına ve gücüne göre yakıt pilleri.

Düşük Güçlü	< 5 kW	Mikro uygulama veya konut	PEM, SOFC
	5-10 kW	Konut veya site	
Orta Güçlü	10-100 kW	Site	AFC, PEM
	50-300 kW	Ticari	SOFC, PAFC, MCFC
Büyük Güçlü	250 kW-10 MW	Güç Santralleri	PAFC, MCFC, SOFC

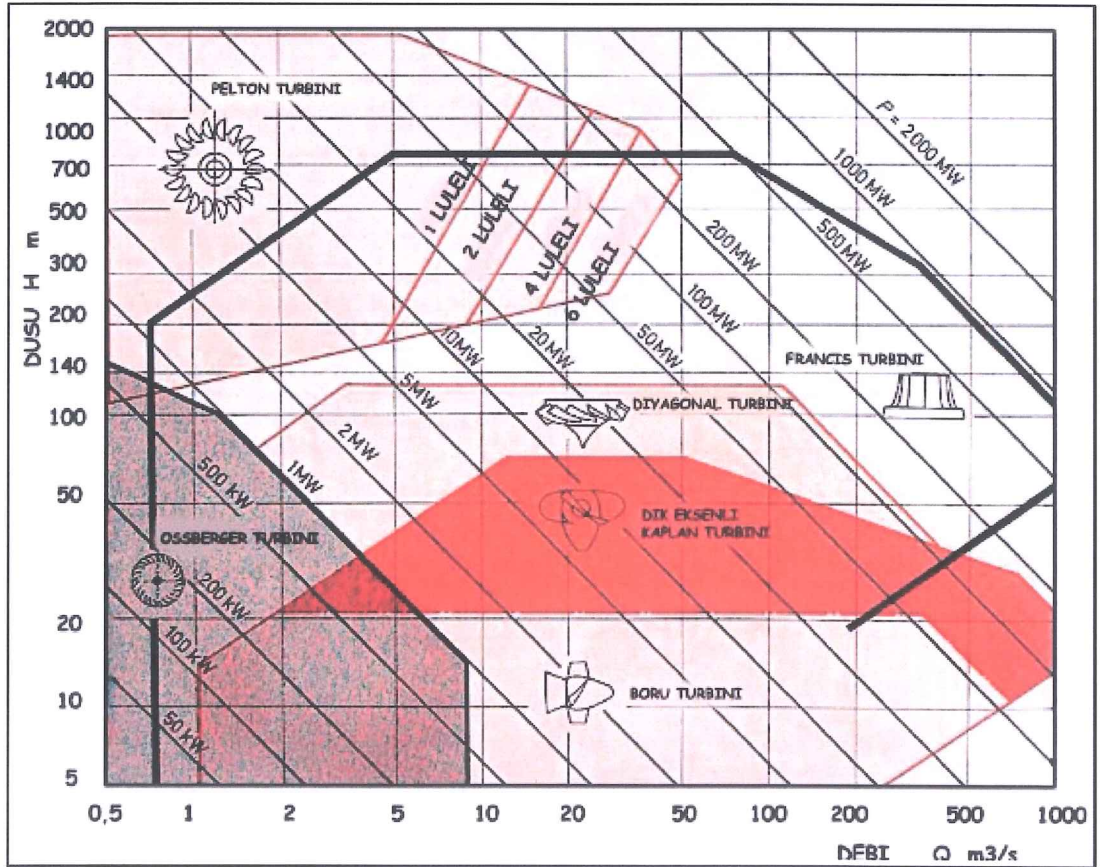
Yakıt pili uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Uzay Çalışmaları/Askeri Uygulamalar
- Eysel Uygulamalar
- Sabit Güç Üretim Sistemi/Yüksek Güç Üretim Sistemi Uygulamaları
- Taşınabilir Güç Kaynağı Uygulamaları
- Atık/Atık Su Uygulamaları
- Taşıtlar Uygulamaları

1.4. POMPALI HİDRO DEPOLAMA

Hidroelektrik santraller (HES) suyun enerjisinden faydalanarak elektrik üreten yapılardır. HES, suyun potansiyel enerjisinin mekanik enerjiye ve mekanik enerjinin de elektrik enerjisine dönüştürüldüğü tesislerdir. Elde edilecek elektrik gücü, başlıca suyun akış hacmine ve düşüş yüksekliğine bağlıdır. Pompa beslemeli hidroelektrik santral (PHES), bir çeşit HES olup, sistemin amacı güç talebinin düşük olduğu zamanlarda suyu yüksekte bir rezervuarda depolamak ve biriktirilen sudan elektrik enerjisi talebinin fazla olduğu zamanlarda hidroelektrik enerji elde etmektir. PHES’de alt ve üst olmak üzere iki rezervuar olup, rezervuarlar inşa edilecek havuzlar dışında nehir, doğal göl, mevcut baraj rezervuarı veya deniz olabilmektedir (Özarıan, 2012).

Şekil 1.9’ da türbin seçim grafiğı verilmiştir. Bu grafiğı göre Francis türbinler en geniş çalışma aralıklarına sahiptir.



Şekil 1.9. Düşü, güç ve debiye göre türbin seçimi (Tekno Tasarım, 2016).

1.5. ACİL DURUM BÖLGELERİ

Toplumun tamamının veya belli kesimlerinin normal hayat ve faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan ve acil müdahaleyi gerektiren olaylar ve bu olayların oluşturduğu kriz haline acil durum denilmektedir. Afet ise fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan doğal, teknolojik veya insan kaynaklı olaylardır (Afad, 2013).

Hızlı müdahalenin insan hayatını kurtarmada son derece önemli olduğu afet anları ve sonrası sürekli hazır olunmayı gerektirir (Erkal ve Değerliyurt, 2009). Afetler doğal olabildiği gibi insan kaynaklı da olabilmektedir (Ergünay, 2002). Kökenlerine göre afetleri Şahin ve Sipahioğlu (2002), ve Özey 2006 sınıflandırmışlardır. Buna göre sosyal afet kategorisine alınan açlık, kıtlık, bulaşıcı hastalıklar ve salgınlar, savaşlar ve göçlerde acil durum bölgelerinin oluşturulması gerekmektedir (Şahin ve Sipahioğlu, 2002; Özey, 2006). Geçici iskan, güvenlik ve haberleşmenin sağlandığı acil durum bölgelerindeki birincil hizmetler ilk yardım ve sağlık, elektrik, beslenmedir (Aydın, 2009).

1.5.1. İlk Yardım Ve Sağlık Malzemeleri

Aşılar, hastalığa neden olan mikroorganizmaların antijenlerini içermektedir. Zayıflatılmış canlı mikroorganizma içeren aşilar ısı ve ışığa karşı duyarlıdır. Ölü mikroorganizma, antijen veya toksinini içeren aşilar da donmaya karşı duyarlıdır. Bu nedenle üretildiği yerden son tüketiciye ulaşincaya kadar aşilar; ısı, don ve ışıktan soğuk zincir uygulayarak korunmalıdır (Dirican, 1990).

Merkez ve bölge depolarında canlı aşilar -15 °C ile -25 °C' de, diğer aşilar 0 °C ile 8 °C arasında saklanır. Tüketiciye ulaştırıldığı uç birimlerde ise ayırım yapılmaksızın tüm aşilar 2 °C ile 8 °C arasında saklanır (Çizelge 1.9) (Buğdaycı vd., 2004).

Çizelge 1.9. Öncelikli aşıların ve serumların saklama koşulları.

	Merkez Depo	Bölge Depoları		Sağlık Ocağı	Sağlık Evi	Gezici Ekip
		Bölge	İl merkezi			
	6 ay	3 ay	3 ay	1 ay	1 hafta	Günlük ihtiyaç
Oral polio	-15 °C ile -25 °C		+2 °C ile +8 °C arası			
Kızamık	Liyofilize aşıları dondurarak saklamak şart değildir.					
BCG	Dondurmak zararlı olmamakla birlikte +2 °C ile +8 °C arası muhafaza edilmelidir.					
DT	+2 °C ile +8 °C arası					
DBT						
Hepatit b						
Td						
TT						
Kuduz Aşısı						
Kuduz Antiserum						
Yılan Antiserum						
Akrep Antiserum						
PPD						

1.5.2. Gıda Ürünleri

Bugün yeryüzünde yaşayan insanların en az üçte birinin açlıkla karşı karşıya olup yeter derece de beslenememekte, insanlığın besin ihtiyacı için üretilen gıdalar da tüketilemeden bozulmakta, çürümekte ve çöpe atılmaktadır. Bugün insanlığın besin ihtiyacı için üretilen tüm gıda maddeleri bozulmadan ve çürümeden tüketime sağlıklı koşullarda sunulabilmiş olsa, hiç kimse açlıkla karşı karşıya kalmayacak ve hatta yeterli derecede beslenebilecektir.

Ticari hayatta soğuk depoculuk; soğuk muhafaza ve donmuş muhafaza olarak iki şekilde yapılır. Gıda maddelerinin özelliğine ve muhafaza sürelerine göre yapılan soğuk muhafazalar -5 °C ile +15 °C arasında kısa süreli muhafaza tekniğidir. Et ve

mamulleri, süt ve süt mamulleri, kümes hayvanları, su ürünleri, konserveler, meyveler ve sebzeler gün veya hafta ile sınırlı olarak muhafaza edilirler.

Donmuş muhafazalar malın özellik ve muhafaza süresine göre -12 °C ile -25 °C arasında yapılır. Donmuş muhafaza yapılacak olan mal, önce ön soğutma ile 0 °C' ye kadar soğutulur, sonra cinsine göre -35 °C' ye kadar şok soğutmaya uğratılarak dondurulur. En son olarak da yine özelliklerine göre -12 °C ile -25 °C arasında donmuş muhafaza edilir. Uzun süreli muhafaza tekniğidir. rnler en az 2 ay, en fazla 12 ay muhafaza edilir (Kantarman, 2003).

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

2.1. TERMODİNAMİK ANALİZ

“The law of entropy and the economic process” isimli kitapta Roegen (1971), entropinin ekonomiyle bağlantısını irdelemiştir. Ekserji ekonomi araştırmacısı Tsatsaronis (1987) ekserji-ekonomi yöntemlerini dört ana grupta toplamıştır (El-Sayed ve Gaggioli, 1989).

Bunlar;

- Ekserji-ekonomi maliyet hesabı
- Ekserji-ekonomi hesap analizi
- Ekserji-ekonomi benzerlik sayısı
- Üretim/maliyet verimlilik diyagramları

T.J. Kotas (1985)’ a ait olan “The Exergy Method of Thermal Plant Analysis” kitabı da önemli çalışmalardan biridir. Çevre faktörünün de ele alınmaya başlanmasından sonra ekserji konusu yaygın çalışma alanı bulmuştur. Enerji verimliliği araştırmalarının sistemlerin optimum tasarlanmasında yetersiz kalması ekonomik maliyet analizleri ile ekserji konusunun çalışıldığı araştırmalara yön vermiştir.

Erduranlı (1997) tez çalışmasında herhangi bir enerji santralinden alınan gerçek işletme verilerini kullanarak enerji ve ekserji analizleri uygulamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda en büyük enerji kaybının kondenserde, en büyük ekserji kaybının ise kazanda olduğu tespit edilmiştir. Verim artışı için iyileştirme çalışmalarının kazanda yapılması neticesine varılmıştır.

Bor Şeker Fabrikası'nda üretilen proses buharının kullanıldığı bütün üretim birimlerinde ekserjetik yönden inceleme yapılan çalışmada Nurveren (2001), süreçlerdeki verimsizliğin nedenlerini açıklayarak, verimi arttırmak için faydalı tanılar ortaya koymuştur. Arpacı (2002), enerji denge denklemleri yardımı ile termal sistemin ana parçalarının formüle edildiği doğalgazlı kojenerasyon sisteminde, termal sistemin içinde ekserji akışına, entropi üretim akışına, kullanılabilir iş gibi ekserji oranı terimlerine tez çalışmasında yer vermiştir.

Eryener (2003) çalışmasında, türbülanslı cebri konveksiyonla ısı geçişi sağlayan ısı sistemler arasında en çok kullanılan ısı değiştiricilerinin ekserji analizi ve ekserji-ekonomik optimizasyonunu yapmıştır. Atatürk Üniversitesi kampüsünde iki ayrı lojman binasından birinin dıştan yalıtımının yapıldığı çalışmada diğer bina ile enerji tüketimi kıyaslanmıştır (Akyol, 2006).

Ankara ilinde bulunan bir bina için yapılan çalışmada ekonomik yalıtım kalınlığı ekserji-ekonomik yöntem yardımı ile belirlenmiştir (Oymak, 2007). 6250 kg/h yağ işleme kapasitesine sahip bir zeytinyağı rafineri tesisi için enerji ve ekserji analizlerinin gerçek verilere göre yapıldığı çalışmada, tesisteki her bir ekipmanın ekserji yok oluşu ve ekserji verim değerleri referans (ölü hal durumu) sıcaklığı 25 °C alınarak hesaplanmıştır (Bozoğlan, 2008).

2.2. HVAC SİSTEMLERİ

Mroz ve Dutka (2015), bir mekanik havalandırma sistemi için ısı geri kazanım değerlendirmesine yeni yaklaşım sunduğu çalışmalarında değerlendirme ölçütü olarak, harekete geçiren ekserji, geri ödeme süresi ve yatırım maliyeti önermişlerdir. Birleşik ısı-güç çevriminin termodinamik, eksergo-ekonomik ve çevresel değerlendirilmesini yapan Khaljani vd. (2015), birinci ve ikinci yasa verimliliğini ve sistemin toplam maliyet oranlarını dikkate almıştır.

Özgener ve Hepbaşı (2003), mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak daha verimli enerji sistemleri tasarlanmasının mümkün olup olmayacağını açığa kavuşturmak için önemli bir araç olarak kullanılan ekserji analizini, HVAC sistemlerinin

performansının değerlendirilmesinde alışlagelmiş olan enerji denklığının yerini almasını öngörmüşlerdir.

İklimlendirme sistemlerinde ekserji çözümlemesinin başlangıcı sayılabilecek Wepfer vd., (1979) ile Moran (1982) tarafından yapılan çalışmalarda, nemli havanın ekserjisini ifade eden bağıntılara yer verilmiş, denge denklemi temel psikrometrik işlemlere uygulanmıştır (Derbentli, 2011).

Nemli havanın özgül hacim, entalpi ve entropisini, doymuş havanın özelliklerini, nem oranlarını kullanarak hesaplayan bağıntıların geliştirildiği bir çalışmada, bu bağıntıların gerçek değerlere $\pm\%0,2$ mertebesinde yakın olduğu belirtilerek özeli bağıntıları ile ilgili yapılmış diğer araştırmalara da atıfta bulunulmuştur (Perez Galindo ve Payan Rodriguez, 2008).

Soğutma tekniklerinin düşük ekserji verimlerine işaret edildikten sonra, iklimlendirme sistemlerinin çözümlemesi için temel bağıntılar olan ekserji bilançosu ve nemli havanın ekserji ifadesinin verilerek, üç farklı iklimlendirme sistemi için ekserji çözümlemesi yapılan çalışmada hava şartlandırma ünitesi tarafından beslenen tek hava kanallı, iki hava kanallı ve “fan coil” li sistemler ele alınıp hava şartlandırma ünitelerinin ekserji verimleri bu üç sistem için sırasıyla %28.4, %26.7 ve %19.5 olarak bulunmuştur. Çözümlemede en fazla ekserji kaybının soğutma ve nem alma işlemlerinde olduğu gösterilmiştir (Marletta, 2010).

Kütle, enerji, entropi ve ekserji bilançolarını veren denklemleri yazdıktan sonra, bu denklemleri temel psikrometrik işlemler olan duyulur ısıtma, soğutma-nem alma, nemlendirme ve buharlaşmalı soğutma için sadeleştirip, ele alınan temel işlemlerin her biri için ekserji veriminin tanımlandığı çalışmada Kanoğlu vd. (2007), ekserji çözümlemesinin önemine değinmiş olup, bu çözümlemeden iklimlendirme sistemlerinin tasarımında nasıl yararlanılacağını açıklamışlardır.

Bir bina ve iklimlendirme sisteminin ekserji çözümlemesi için bir yöntem öneren Sakulpipatsin vd. (2010) binanın ısı kazanç ve kayıplarını hesapladıktan sonra, bu değerleri kullanarak ekserji giriş çıkışlarını bulmakta ve ekserji bilançosunu

yapmaktadır. Yöntem Hollanda' da bir ofis binasına uygulanmış, binanın soğutulması ve ısıtılması için ekserji verimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elektrikle yapılan soğutmada ekserji veriminin düşük (%6 mertebesinde) olduğu gözlenmiştir. Ayrıca binadan dışarı olan ekserji akışı dikkate alınmıştır. Bu yöntemle değişik ısıtma-soğutma sistemlerinin karşılaştırılması yapılarak sistem optimizasyonuna gidilmiştir.

Pu vd. (2010), "Birikimli ekserji tüketimi" (Cumulative exergy consumption) tanımını kullanarak bir ofis binası için değişik iklimlendirme sistemlerini karşılaştırmıştır. "Birikimli ekserji tüketimi" tanımı bir ürünün (burada soğutma, iklimlendirme) temel malzemelerden ve kaynaklardan başlayarak oluşturulmasındaki tüm aşamaları göz önüne alarak tükettiği toplam ekserjiyi belirtmektedir. Bunların arasında elektrikle veya gaz türbini ile çalıştırılan, pistonlu, vidalı veya aksel kompresörlere sahip, soğutma çevrimleri vardır. Sonuçlarda su ile soğutulan yoğunlaştırıcıları olan ve gaz türbini ile çalıştırılan soğutma sistemlerinin daha uygun olduğunu göstermiştir. Birikimli ekserji tüketimi yöntemi, sistemleri sadece ekonomik anlamda değil, çevresel etkiler bakımından karşılaştırmakta yararlı bir yöntem olabilir. Bununla birlikte geriye doğru bir hesaplama içerdiğinden hem belirsizlikler hem de zorluklar içermektedir.

Wei ve Zmeureanu (2009) bir ofis binası için değişken hava debili (VAV) iklimlendirme sisteminin iki farklı çalışma koşulu için ekserji çözümlemesini yapmıştır. Sistemin tümü elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Çalışmada önce iklimlendirme sisteminin enerji ve ekserjiye dayalı matematiksel modelleri oluşturulmuş, yıllık bazda sistemin etkinlik katsayıları (COP) ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Sonuçlar iklimlendirme sistemi için ekserji veriminin %2 ile %3 arasında değiştiğini, sistemin sabit çıkış sıcaklığı yerine, en yüksek soğutma yükünün bulunduğu birime göre belirlenen bir çıkış sıcaklığı ile çalıştırılması durumunda ekserji veriminin %26 oranında arttığını göstermiştir. Elektrik yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumunda ekserji veriminin artacağı vurgulanmıştır. Bu çalışmanın enerji çözümlemesi ile elde edilemeyecek sonucu, iklimlendirme sistemlerinde doğal kaynakların kullanımı bakımından iyileştirmelere büyük bir yer olduğudur.

Nemli havanın ekserjisini veren bağıntıları yeniden ortaya koyan bir çalışma gerçekleştiren Chengqin vd.(2002), ekserjinin çevre (referans) haline göre değişimini incelemiş, Wepfer vd. nin' sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Çalışmada bir iklimlendirme sisteminin elemanları sınıflandırılarak, her bir grup için ekserji verimi ayrı ayrı tanımlanmıştır. Ayrıca ekserjinin ısı, mekanik ve kimyasal olarak üç bileşeni tanımlanmış ve değişik buharlaşmalı soğutma (evaporative cooling) yöntemlerinin ekserji çözümü yapmıştır.

Alpuche vd.(2005), sıcak ve nemli iklimlerde ısı konforun, havayı soğutan nem alma sistemleriyle en ekonomik biçimde nasıl sağlanabileceğini araştırmışlar, bu amaçla ekserji çözümü ve simülasyon için PowerDOE programını kullanmışlardır.

Franconi ve Brandemuehl (1999) sabit ve değişken debili hava dağıtım sistemleri için birinci ve ikinci yasaları kullanarak karşılaştırmışlardır. Bu amaçla TRNSYS simülasyon programını bazı eklemelerle kullanmışlardır. Değişken debili dağıtım sistemlerinde tersinmezliklerin sabit debili sistemlere göre daha az olduğunu belirlemişlerdir. İkinci yasa çözümlemesinin tasarımı iyileştirme, yapılan tasarım iyileştirmelerini değerlendirme, kurulu bir sistemin performansını ölçme ve sistem hatalarını belirleme bakımından yararlı olduğunu göstermişlerdir.

Montreal yakınlarındaki bir konutun sıcak sulu veya havalı bir sistem ile ısıtılması durumlarını ele alan Yang vd. (2008), her bir durum için ekonomik ömür boyunca (life cycle) enerji tüketimini, birikimli ekserji tüketimini, sera gazı emisyonunu, enerji ve ekserji verimini hesaplamışlardır. Karşılaştırma sonucunda ömür boyu enerji tüketimi ve birikimli ekserji tüketimi bakımından, sıcak sulu ısıtma sisteminin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmada gerek konut yapı elemanları gerekse tesisat elemanlarının üretimi için gerekli enerjiye (embodied energy) ilişkin bilgiler ve karşılaştırmalar verilmiştir.

Tozer vd. (1999), iklimlendirme sistemlerini termoeconomik açıdan incelemişlerdir. Termoeconomik inceleme sistemde ekserji akılarının hesaplanmasını ve yatırım maliyetlerini de göz önüne alarak, maliyet akılarının bulunmasını gerektirmektedir. Böylece sistem ürünlerinin birim ekserji maliyetleri hesaplanabildiği gibi, ekserji

veriminden yola çıkarak, ömür boyu sistem maliyetlerinin hesaplanabilmesi ve değişik sistemlerin karşılaştırılması mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada su ve hava dağıtımli dört ayrı sistem ele alınmış, sistemlerin bileşenlerinde tasarım değişikliklerine gidilerek, sistemler ayrı ayrı iyileştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar sistem ömür boyu maliyetlerinde %20 kadar bir iyileşmenin sağlanabildiğini göstermiştir.

Güneş enerjili absorpsiyonlu bir iklimlendirme ünitesinin geliştirilmesine yönelik çalışmada Akdemir ve Güngör (2001), LiBr-H₂O akışkan çifti kullanılan tek kademeli absorpsiyonlu bir sistemin detaylı termodinamik analizini yapmış olup, güneş enerjisinin absorpsiyonlu sistemlerde kullanımını ele almış ve sonuçları vermiştir.

Chengqin vd. (2002) yaptığı çalışmada, HVAC sistemleri için ekserji analizi prensipleri bazı ilgili eserlerin analitik incelenmesi ile tartışılmıştır. Ekserji analizi ile sistemin ya da bileşenlerinin performansını değerlendirmeye yardımcı olmak için fonksiyonel bir sınıflandırma öneren yazarlar, enerji akımlarını enerji akışı ve enerji akış hizmetleri olacak şekilde işlevlerine göre ayırmıştır. Evaporatif soğutma prosesinin değerlendirilmesinde nemli havanın ekserjisi analiz edilmiş ve termal, mekanik, kimyasal olmak üzere üç unsura indirgenmiştir. HVAC uygulamalarının çeşitli koşul ve ortam durumlarına uygulanan özel geliştirilmiş diyagramla evaporatif soğutma süreci analiz edilmiş; rejeneratif (yenileyici) evaporatif soğutmada rejeneratif durumun, ekserji verimliliği oranının artırılmasında büyük önem taşıyacağı görülmüştür.

Ankara' daki 80,000 m² lik alış-veriş merkezinin ısıtma soğutma ihtiyacının 3 yıllık verilerini kullanan Ergün (2010), enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Perez vd. (2011) HVAC sistemlerinin son kullanıcı tarafından binalarda kullanımının enerji haritasını çıkarmış ve enerji kullanım politikası üzerine öneriler yapmıştır.

Arcaklıoğlu (2002), R12, R22, R502 soğutucu sıvıları ile yaptığı çalışmada klasik ve emme/sıvı hattı ısı değiştiricili buhar sıkıştırmalı iki farklı soğutma sistemi için, farklı

soğutucu akışkanlar ve karışımlar kullanarak termodinamiğin 1. ve 2. Yasasına dayalı olarak performans analizi yapmıştır.

Akdoğan (2007), özel imal edilmiş üç farklı kapasitede su soğutmalı kondenseri bulunan buhar sıkıştırırmalı bir soğutma çevrimi için enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Gomri ve Hakimi (2008) çalışmasında çift etkili lityum-bromür/su emilimli absorpsiyonlu soğutma sistemine yer vermiştir. Bu sistem bir bilgisayar yardımı ile simüle edilerek sistemin her bir bileşeni için ekserji analizi yapılmıştır. Sonuçlara göre alçak basınç jeneratörü sıcaklığı yükselmesi ile sistemin performansı yükselir, ancak yüksek basınç jeneratörü sıcaklığı yükselmesi ile azalır. En yüksek ekserji kaybı absorberde ve yüksek basınç jeneratöründe gerçekleşir. Sunulan ekserji analizi sonuçları, çift etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminin termoeconomik optimizasyonu için kullanılabilirliği muhtemeldir.

Önal (2011) çalışmasında endüstriyel atık akış debisini ve sıcaklığını sabit alarak basit organik Rankine çevrimi, rejeneratif (geliştirilmiş) organik Rankine çevrimli kojenerasyon sistemi çevrimlerinde organik iş akışkanı olarak izopentan, izobütan, R134a, R123, R245fa, R22, R13 propan ve R600 akışkanlarını incelemiştir.

Su soğutmalı bir ısı pompasında gerçekleştirilen deneysel çalışmada soğutucu akışkan olarak R290, R600, R600a ve R1270 akışkanlarının karışımları ve R134a ile hidrokarbonların belli oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışımları kullanan Özcan (2011), performans hesaplamaları için deneysel çalışmalarda 3 farklı soğutma suyu debisini ve her su debisi için 3 farklı fan hızı ile 9 farklı durumda ele almıştır.

2.3. PV TEMELLİ ENERJİ ÜRETİMİ

Chauan ve Saini (2015), şebeke dışı bölgelerde farklı alternatif enerji kaynakları kullanımıyla elektrik enerji üretimi üzerine, ve bu yöntemlerin kısıtları, sorunları ve uygun çözümleri üzerine kapsamlı bir literatür taraması yürütmüştür. Abdin vd. (2015), şebeke dışı bölgelerde güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisini kullanarak hidrojen elektroliz yöntemiyle enerji depolama üzerine yapılan çalışmaları gözden geçirmişlerdir. Yenilenebilir enerji depolama opsiyonu da göz önüne

alındığında maliyeti yüksek bir teknoloji olmasına rağmen şebeke dışı taşra bölgeleri için ciddi bir potansiyele sahiptir.

Aris ve Shabani (2015), şebeke dışı baz istasyonlarının elektrifikasyonu için sürdürülebilir güç arz sistemleri üzerine araştırma yapmış ve fotovoltaik yakıt hücresi ikili sistemlerinin sürdürülebilir alternatiflerden olduğunu belirtmiştir. Chowdhury ve Moursed (2016) şebeke dışı bölgelerdeki evler için güneş evi sistemleri (solar home systems) konseptini tanıtmış, uzun vade avantajları, sınırları ve sorunları üzerine istişare etmişlerdir. Beitelmal ve Fabris (2015), seyyar bir güneş enerjili deniz suyu desalinasyon sistemini modelleyerek düşük maliyetli ve enerji verimli bir seyyar sistemin dizaynını yapmışlardır.

2.4. PEM YAKIT HÜCRELERİ VE ELEKTROLİZ ÜNİTELERİ

Organik Rankine çevrimli (ORC) helyum reaktörlü gaz türbinli sisteme bağlı proton membran değişimli elektrolizörle (PEME) hidrojen üretiminin enerji ve ekserji analizlerinin yapıldığı çalışmada Nami ve arkadaşları, sistemdeki bazı değişkenlerin etkisini araştırmışlardır. Bu değişken parametreler kompresör basınç oranı, türbin giriş sıcaklığı, evaporatör sıcaklığı, ORC türbin girişindeki ısınma derecesi olup çözüm için EES yazılım programı kullanılarak sistem maksimum ekserji verimliliği için optimize edilmiştir. Sonuçta üretilen hidrojen miktarının türbin giriş sıcaklığı ile doğru orantılı olduğu ve evaporatör sıcaklığındaki değişimle maksimum değeri aldığı bulunmuştur. Optimize edilmiş koşullar altında sistemin ekserji verimi %49,21, üretilen hidrojen miktarı 56,2 kg/h, sürdürülebilirlik endeksi 1,972 olarak hesaplanmıştır (Nami vd., 2016).

Genetik algoritma metodu kullanılarak jeotermal güçten sağlanan enerji ile alkalın su elektroliz ünitesindeki hidrojen üretiminin termoeekonomik optimizasyonu yapılan sistem çalışmasında Yılmaz (2017), sistemden elde edilen elektrik ve hidrojen üretiminin maliyetini düşürmeyi amaçlamıştır. Optimum değerler ürün maliyet akışı için 2412 \$/h, yakıt maliyet akışı için 289,4 \$/h, elektrik birim maliyeti 0,01066 \$/kWh ve hidrojen üretimi birim maliyeti 1,088 \$/kg olarak hesaplanmıştır.

Poura vd. (2015) güneş enerjisi, yakıt hücresi ve elektrolizden oluşan hibrit enerji temelli sistemin kapsamlı termodinamik analizini TRNSYS dinamik simülasyon yazılımından yararlanıp, Kanada' nın Toronto şehrinin iklim verilerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yakıt hücresi akım yoğunluğunun, ekserji verimi, elektrik üretimi ve ekserji yıkımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçta hibrit sistem için enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla %29 ve %36 olarak bulunmuştur. Evlerde mikro kojenerasyon uygulaması için PV panel, PEM yakıt hücresi ve elektroliz ünitesi içeren hibrit sistem çalışmasında yakıt hücresinin fazla ısısı evi ısıtmada kullanılmış olup, elektrik enerjisi bataryalarda depo edilmiştir. Elektrolizör ve yakıt hücresi sisteminin analizi yapılarak çeşitli kojenerasyon sistemlerinin tasarımı için PV modül, PEMFC ve PEME boyutlandırılmıştır.

2.5. HİDROLİK ENERJİ DEPOLAMA

Hong Kong' ta uzak bir adada elektrik enerjisi sağlamak üzere rüzgar güneş hibrit enerjiden yararlanmak ve sürekli enerji, sağlamak için pompalı su depolama (PHS-Pumped hydro storage) tekniğinin kullanıldığı çalışmada hibrit sistemin matematiksel bir modeli geliştirilmiş ve çalışma prensibi tanıtılmıştır. Bu sistem uzak yerleşkelerde %100 enerji özerkliği elde etmek için ideal bir çözüm olduğu gösterilmiştir (Ma vd., 2014a). PV panelin sağladığı güçle suyun pompalanarak depo edildiği sistemler için bir boyutlandırma modelinin önerildiği çalışmada ise sistem toplam maliyetini optimize etmek için genetik algoritma kullanmışlardır. Optimizasyon sürecinde değişken parametreleri PV modül sayısı, su pompası boyutu, alt ve üst rezervuar boyutu olup, geliştirilen modelle teknik ve ekonomik olarak bir güç kaynağı çözümü yapılmıştır (Ma vd., 2014b). Yaklaşık bir yıl sonra Ma vd. (2015), elektrik şebekesinden uzak küçük bölgeler için güneş enerjisinden yararlanarak pompalama ile hidro depolama sisteminin önerildiği çalışmada ana bileşenler için optimizasyon kıyaslamasını, matematiksel modeller geliştirerek sistem güvenilirliği ve ekonomik kriterler yönünden tartışmışlardır. Önerilen metodoloji gerçek uzak bir adada uygulanmıştır.

1970 li yıllardan beri uygulanabilirliği ve ekonomikliği araştırılan güneş enerjisi ile pompalamalı su depo sistemlerinin literatür taramalarını içeren çalışmada Sontake ve

Kalamkar (2016), sistem performansını, verimliliğini ve ekonomisini etkileyen farklı türde pompalar ve motorlar ile PV panel derecelendirilmesini yapmıştır.

BÖLÜM 3

MOTİVASYON VE AMAÇLAR

3.1. MOTİVASYON VE AMAÇLAR

Enerjinin insan ihtiyaçlarını karşılamadaki gerekliliği vazgeçilmezdir. Bu ihtiyaçların başında beslenme ve sağlık gelir. Besin maddelerinin ve sağlık için kullanılan aşı ve serumların temin edilmesi kadar uygun ortam ve şartlarda muhafazası da gereklidir.

Doğal afet durumlarının yanı sıra, insan kaynaklı savaş ve olağan dışı göç durumları da acil durum bölgesi kapsamına girmektedir. Bu gibi bölgelerde elektrik enerjisine daha çok ihtiyaç duyulur. Fosil yakıtların bir gün tükenebilecek olması, yenilenebilir enerjilerin kullanımında gün geçtikçe artış göstermektedir. Bundan dolayı elektrik enerjisini karşılamak için şebekenin olmadığı ya da ulaştırmada güçlük olan bu yerlerde, PV panel kullanılarak enerji ihtiyacı karşılanabilir. Fakat güneş enerjisinden faydalanamadığımız, gece boyunca ihtiyaca karşılık gelen elektrik enerjisini depo etmemiz gerekecektir. Elektrik depolaması, akü grupları ile sağlanabileceği gibi enerjinin dönüştürülebilirliğinden yararlanarak yakıt hücreleri de kullanılabilir.

Bu çalışmada savaş bölgesi olan Suriye' nin mevcut durumu ve sonrası için inşa durumu göz önüne alınarak, insan sağlığında kullanılan aşı ve serumların soğuk muhafazası için yalıtımlı bir depo seçilmiş, soğutmada gerekli enerjinin termodinamik analizi, sadece gündüz ve tüm gün olmak üzere ayrı ayrı iki sistem için yapılmıştır. Sadece gündüz çalışan sistem için PV panel ve DC-AC dönüştürücü kullanılmasına karşın, tüm gün elektrik ihtiyacı karşılanacak sistemin gece çalışmasındaki enerji ihtiyacı, gündüz depolaması ile aşılmıştır. Depolama işlemi için iki durum incelenmiştir. Birincisi suyun elektrolizi ile hidrojen gazı elde edilip, gerekli elektrik enerjisi gece boyunca yakıt hücresi ile karşılanmıştır. İkinci olarak hidro depolama yöntemi öngörülmüştür. Bu çalışmada sırasıyla aşağıdaki yöntemler takip edilmiştir:

- İlaç depolama için gerekli soğuk depo sisteminin seçimi ve modellenmesi.
- Soğuk depo sistemi için yüksek performanslı soğutucu akışkan seçimi.
- Soğuk depo sistemi için gerekli enerji ihtiyacını karşılayacak olan PV sisteminin modellenmesi.
- Entegre PV-soğutma ünitesinin performans analizi.
- Güneş olmadığı vakitlerde sistemin çalışabilmesi için hidrojen enerjisi depolama ve hidrolik enerji depolama sistemlerinin araştırılması.
- Hidrojen depolama ve kullanımı için PEM tipi elektroliz ve yakıt hücresi sisteminin geliştirilmesi ve modellenmesi.
- Entegre PV-depolama-soğutma sistemlerinin performans analizi.
- Parametrik çalışmalar yardımıyla sistemlerin optimizasyonu.
- Termodinamik sonuçların ekonomik modele adapte edilmesi ve maliyet analizi.
- Termodinamik ve ekonomik analizler üzerine fizibilite analizi ve sonuçların istişaresi.

Termodinamik analizi yapılan bu sistemlerin daha sonraki çalışmalarda termo ekonomik yönden incelenmesi, depolama yöntemlerinin karşılaştırılması ve ekolojik etkilerinin araştırılması için kaynak niteliği taşıması düşünülmüştür.

3.2. TEZ DÜZENİ

Soğuk depolar, soğutma sistemlerinin enerji kaynakları, medikal ve gıda malzemelerinin depolanma koşulları üzerine kaynak bilgisi giriş kısmında verilmiştir.

Tez çalışması ikinci bölümde ilgili literatür çalışmalarının ayrıntılı sunumu ile devam etmiş, çalışmanın amaçları da üçüncü bölümde verilmiştir. Çalışılan sistemlerin tanıtımı, temel kavramlar, sistemlerin modellenmesi ve ilgili varsayımlar ayrıntılı olarak dördüncü bölümde işlenmiş, araştırma sonuçları ve durum çalışmaları beşinci bölümde sunulmuş ve sonuçlar bölümü ile tez çalışması sonlandırılmıştır.

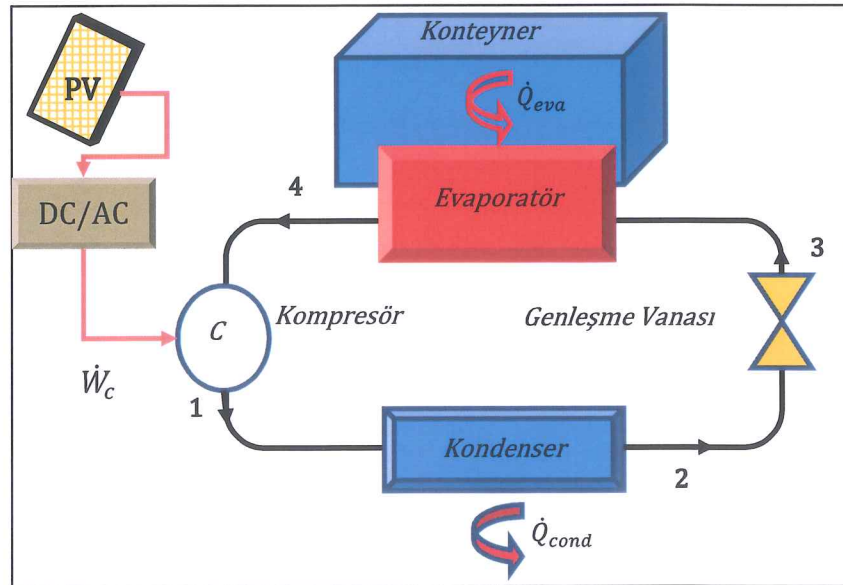
BÖLÜM 4

SİSTEMLERİN TANITIMI VE MODELLENMESİ

Aşı ve serumların genel olarak soğuk muhafazası için gerekli sıcaklık +2 ile +8 °C aralığıdır. Soğuk muhafaza yapılacak mobil olarak Evergreen Marine firmasına ait konteyner alınmıştır. Konteyner özellikleri Çizelge 4.1' de belirtilmiş olup, yaklaşık 2 °C sıcaklıkta depolama yapmak için soğutma yükü 11 kW' tır (Evergreen, 2016).

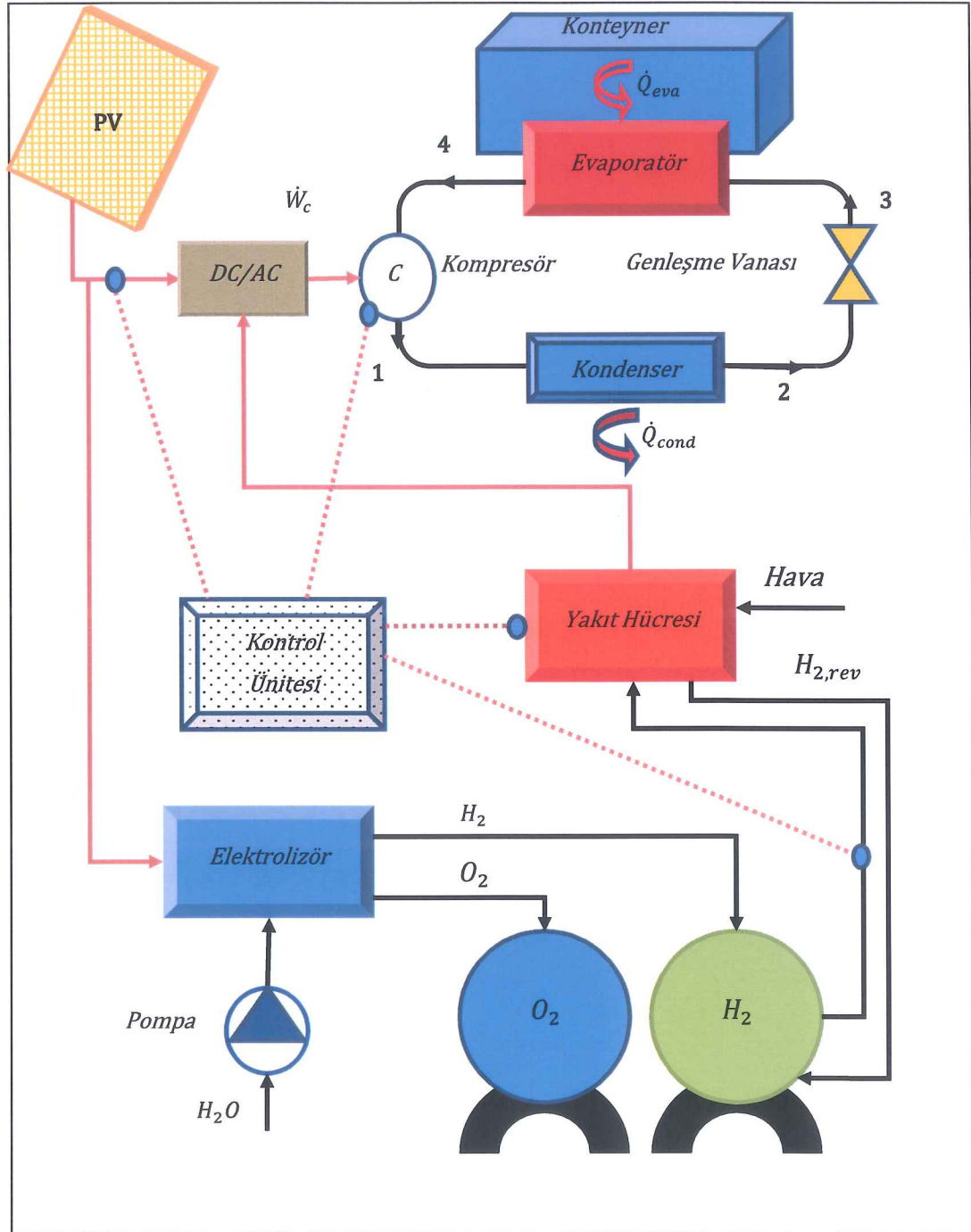
Çizelge 4.1. Konteyner parametreleri.

Dış Uzunluklar (m)		
En	Boy	Yükseklik
2.438	6.058	2.591
İç Uzunluklar (m)		
En	Boy	Yükseklik
2.298	5.500	2.276
Soğutma Yükü (kW)		
11 kW (1.7 °C de soğutma için)		



Şekil 4.1. Sistem I şeması.

Soğutma yüküne 24 saat ihtiyaç olması nedeniyle çalışacak sistem üç farklı modelleme yapılarak incelenmiştir.

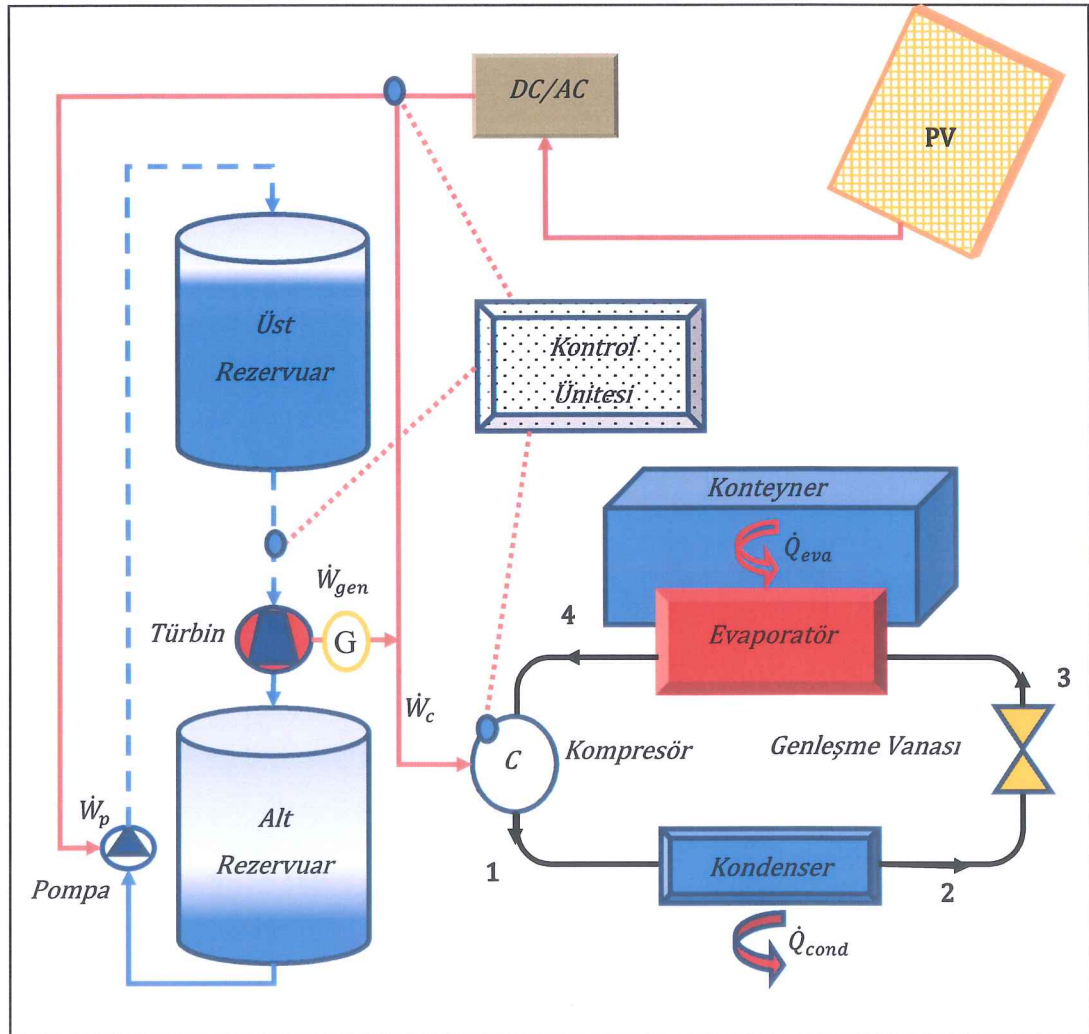


Şekil 4.2. Sistem II şeması.

Sistem I sadece gündüz PV panelden alınan elektrik enerjisini kullanırken, Sistem II' de PV panelin hem gündüz soğutma yüküne karşılık gelen elektrik enerjisini üretmesi,

hem de gece boyunca elektrik ihtiyacını karşılamak üzere hidrojen depolaması düşünülmüştür. Sistem III' te gece boyunca elektrik ihtiyacını karşılamak üzere alt ve üst rezervuarlı su depolaması ile yapılması modellenmiştir. Bu sayede soğutma sistemi 24 saat kesintisiz çalışabilecektir. Hidrojen depolaması ve bunun elektriğe dönüştürülmesi için elektrolizör ve yakıt hücresinden, su depolaması ve elektriğe dönüştürülmesi içinse motor-pompa, türbin ve jeneratörden yararlanılmıştır.

Sistem I, Sistem II ve Sistem III şeması sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.3. Sistem III şeması.

4.1. GENEL TERMODİNAMİK BAĞINTILAR

Isı girişini ve çıkışını, entropi oluşum oranını, ekserji yıkımını, enerji verimini ve ekserji verimini belirlemek için yapılması gereken ilk adım kütle, enerji, ekserji ve entropi denge denkliklerini belirlemektir (Dinçer ve Zamfirescu, 2014). Kararlı bir durum için kütle denge denkliği aşağıda verilmiştir:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} + \frac{dm_{cv}}{dt} \quad (4.1)$$

Akış sabit olduğunda sağ taraftaki ikinci terim dikkate alınmaz. Bir sistemin enerji denkliği, o sistem içindeki tüm enerjiler dikkate alınarak ifade edilebilir.

$$\Delta E_{sys} = m \Delta e_{sys} = m \left[\left(u_{out} + \frac{1}{2} v_{out}^2 + g z_{out} \right) - \left(u_{in} + \frac{1}{2} v_{in}^2 + g z_{in} \right) \right] \quad (4.2)$$

Burada u iç enerjiyi, v karşılık gelen hızı, g yerçekimini, z yüksekliği ifade eder. Akış olmaması durumunda termodinamik sistemin enerjisi şu şekilde tanımlanır:

$$e = u + \frac{1}{2} v^2 + g z \quad (4.3)$$

Akış halindeki bir maddenin toplam enerjisi, durgun hal enerjisi ile akış enerjisinin toplamı ile ifade edilir:

$$\theta = e + P v \quad (4.4)$$

Açık sistemin enerji denkliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\sum_{in} \dot{m} \theta + \sum \dot{Q}_{in} + \sum \dot{W}_{in} = \sum_{out} \dot{m} \theta + \sum \dot{Q}_{out} + \sum \dot{W}_{out} + \left[\frac{d(m\theta)}{dt} \right]_{sys} \quad (4.5)$$

Eşitliğin sağ tarafındaki dördüncü terim, akış sabit olduğunda iptal edilir. Kinetik ve potansiyel enerjiler hesaba dahil edilmediği durumda iç enerji ve akış enerjisinin toplamı, bireysel akışın entalpisine karşılık gelir.

Açık bir sistemin entropi dengesi, toplam giren entropi ile üretilen entropi toplamının, toplam çıkan entropi ile kontrol hacminin entropi değişimi toplamına eşitliği olarak ifade edilir.

$$\sum \dot{S}_{in} + \dot{S}_{gen} = \sum \dot{S}_{out} + \frac{ds_{sys}}{dt} \quad (4.6)$$

Eğer kontrol hacmi boyunca ısı transferi varsa Eşitlik 4.6 şu hali alır.

$$\sum_{in} \dot{m}s + \sum_{in} \int \frac{d\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = \sum_{out} \dot{m}s + \sum_{out} \int \frac{d\dot{Q}}{T} + \left[\frac{ds}{dt} \right]_{CV} \quad (4.7)$$

Kararlı ve adyabatik süreç dikkate alındığında Eşitlik 4.6 aşağıdaki gibi basitleştirilir.

$$\sum_{in} \dot{m}s + \dot{S}_{gen} = \sum_{out} \dot{m}s \quad (4.8)$$

Akış olmayan (non-flow) bir sistemin ekserjisi tüm ekserji formlarının toplamına eşittir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Ex_{nf} = Ex_{ph} + Ex_{kin} + Ex_{pot} + Ex_{ch} \quad (4.9)$$

Akış olması halinde basınç ve hacim durumu söz konusudur.

$$Ex_f = Ex_{nf} + (P - P_0)V \quad (4.10)$$

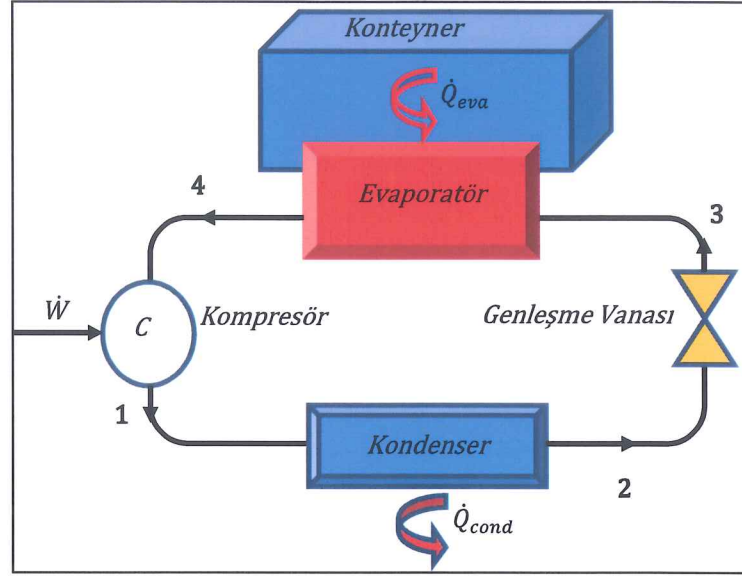
Her hangi bir akışın fiziksel ekserjisi ise

$$Ex_{ph} = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (4.11)$$

şeklinde tanımlanır. Burada U, V ve S , iç enerji, hacim ve entropiyi temsil etmektedir. Kinetik ve potansiyel enerjiler kontrol hacmi giriş ve çıkış durumlarında eşit olduğu için ihmal edilmektedir.

4.2. SOĞUTUCU SİSTEM VE EŞİTLİKLER

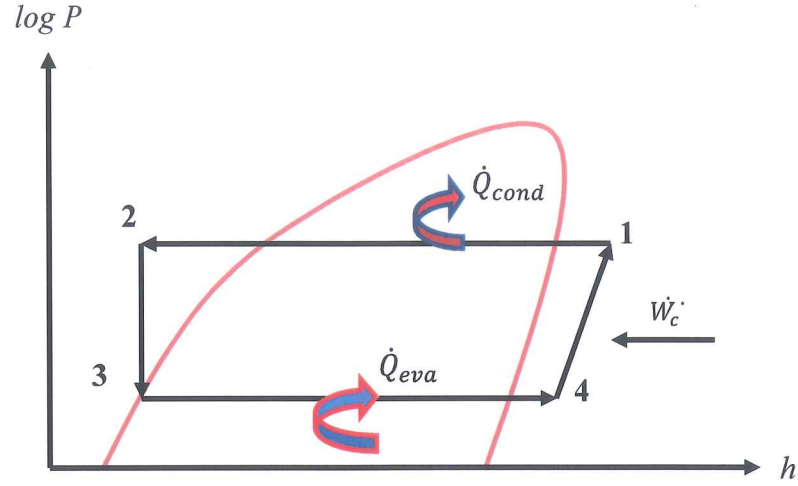
Soğutma sistemi olarak hava soğutmalı sistem öngörölmüş ve soğutucu akışkan seçimi yapılmıştır. Şekil 4.4' de basit bir diyagramla gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Soğutma sistemi.

Carnot prensibine göre çalışan soğutucu sistemde kompresörde sıkıştırılan akışkanın basıncı ve sıcaklığı artırılır. Çevre sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta olan akışkan kondenserden geçerken yoğuşturularak sıcaklığı düşürülür. Yüksek basınçtaki yoğuşmuş akışkan, genleşme vanasından geçtiği sırada bir yandan basıncı düşerken bir yandan da soğuyacaktır. Soğuk akışkan geçmiş olduğu hacim içerisinde ısı olarak buharlaşır ve kompresöre geri döner. Bu döngü bu şekilde devam eder.

Basınç oranını (BO) 3 olarak kabul ettiğimiz sistemde, soğutma yükü ($\dot{Q}_{cont} = \dot{Q}_{eva}$) 11 kW olup, konteyner iç sıcaklığı (T_{cont}) +2 ile +8 °C arasında tutulması gerektiği için evaporatör çıkış sıcaklığı (T_{eva}) en fazla +2 °C, dış hava sıcaklığı (T_0) 25 °C, ortam basıncı (P_0) 100 kPa alınmıştır. Soğutucu akışkan olarak R134a ve R152a kullanımı öngörölmüştür. Kompresör isentropik verimi (η_{is}) 0,85 kabul edilmiştir. Sistemi oluşturan her bir komponentin giriş ve çıkış şartlarını belirlemek için sıcaklık, basınç ve kuruluk derecelerinden faydalanılır. Buhar sıkıştırımlı soğutma ünitesinin basit logP-h diyagramı Şekil 4.5' te verilmiştir.



Şekil 4.5. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi için basit log P-h diyagramı.

Kompresör giriş-çıkış özelliklerini belirlemede isentropik kompresör verimi ve basınç oranı kullanılır. Basınç oranı genişleme vanası denklemlerinde de hesaba katılır $[(P_1 = P_4 \times B.O.), (P_3 = P_2/B.O.)]$. Evaporatör çıkışında soğutucu akışkanın tamamen buhar, yani kuruluk derecesi $x_4 = 1$, kondenser çıkışı yoğuşmadan sonra ise tamamen sıvı, yani $x_2 = 0$ olduğu kabul edilir.

Her bir komponentin enerji denkliği; akışkanın entalpisi (h) ve kütleli debisi (\dot{m}_{ref}) kullanılarak aşağıdaki gibi yazılır (Dinçer ve Zamfirescu, 2014):

$$\dot{W}_c = \dot{m}_{ref} \times (h_1 - h_4) \quad (4.12)$$

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{Q}_{cont} = \dot{m}_{ref} \times (h_4 - h_3) \quad (4.13)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{ref} \times (h_1 - h_2) \quad (4.14)$$

Kompresör isentropik denkliği (η_{is}) ifadesi aşağıdaki gibidir;

$$\eta_{is} = \frac{h_{s1} - h_4}{h_1 - h_4} \quad (4.15)$$

Birim ekserji (ex) denklemleri dış çevre koşulları için aşağıdaki gibi yazılır:

$$ex_1 = h_1 - h_0 - T_0(s_1 - s_0) \quad (4.16.a)$$

$$ex_2 = h_2 - h_0 - T_0(s_2 - s_0) \quad (4.16.b)$$

$$ex_3 = h_3 - h_0 - T_0(s_3 - s_0) \quad (4.16.c)$$

$$ex_4 = h_4 - h_0 - T_0(s_4 - s_0) \quad (4.16.d)$$

Soğutma tesir katsayısı (COP) enerji ve ekserji denkleğinden yararlanarak aşağıdaki gibi yazılır:

$$COP_{en} = \frac{\dot{Q}_{cont}}{\dot{W}_c} \quad (4.17)$$

$$COP_{ex} = \frac{\dot{E}x_{cont}}{\dot{W}_c}$$

Konteyner ekserjisi ($\dot{E}x_{cont}$) için ifade şu biçimdedir:

$$\dot{E}x_{cont} = \dot{Q}_{cont} \times \left(\frac{T_{eva}}{T_0} \right) \quad (4.18)$$

Ekserji yıkımı ($\dot{E}x_D$) her bir komponent için;

$$\dot{E}x_{D,eva} = \dot{m}_{ref} \times ex_3 + \dot{E}x_{cont} - \dot{m}_{ref} \times ex_4 \quad (4.19)$$

$$\dot{E}x_{D,C} = \dot{W}_c + \dot{m}_{ref} \times ex_4 - \dot{m}_{ref} \times ex_1 \quad (4.20)$$

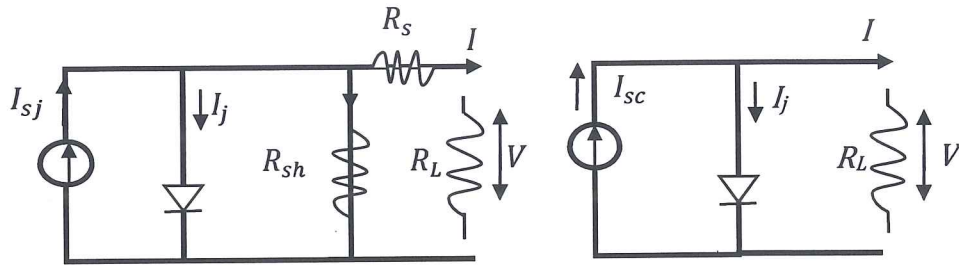
$$\dot{E}x_{D,cond} = \dot{m}_{ref} \times ex_1 - \dot{m}_{ref} \times ex_2 \quad (4.21)$$

$$\dot{E}x_{D,GV} = \dot{m}_{ref} \times ex_2 - \dot{m}_{ref} \times ex_3 \quad (4.22)$$

eşitlikleri yazılır.

4.3. PV HÜCRE VE MODELLENMESİ

Bir hücrenin performansını analiz etmek için onun eşdeğer devresi Şekil 4.6' da çizilmiştir. Devre bir akım kaynağı (I_{sc}) içerir. R_{sh} iç paralel direnç, R_s seri dirençtir. I_j p-n bağlantısındaki bağlantı akımıdır. I_{sh} iç paralel direnç akımıdır. I yük direncinden (R_L) geçen akım olup, karşılık gelen gerilim düşümü volt olarak gösterilir. Genellikle paralel direnç, çıkış yükü direncinden daha büyüktür. Böylece akım doğrudan yüke geçer. Yine iç seri direnç yük direncinden daha azdır. Bu nedenle içten harcanan gücün bir miktarı ihmal edilebilir. Bu devredeki yük akımı, sabit sıcaklık ve güneş radyasyonu değerlerinde gerilime bağlı olarak ifade edilir. Önemli parametreler aşağıdaki eşitliklerle verilmiştir (Sukhatme ve Nayak, 2008).



Şekil 4.6. Eşdeğer ve basit fotovoltaik devre (Sukhatme ve Nayak, 2008).

$$I = I_{sc} - I_o(\exp(eV/kT) - 1) \quad (4.23)$$

Burada;

I_o = Ters koyuluk (doygunluk) ya da karanlık (gizli) akım

e = Elektron yükü = 1.602×10^{-19} J/V

k = Boltzmann sabiti = 1.381×10^{-23} J/K

T = Mutlak sıcaklık

Eşitlik 4.23 sıfıra eşitlenerek düzenlenirse;

$$\frac{I_{sc}}{I_o} = (\exp(eV_{oc}/kT) - 1) \text{ ya da } V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_o} + 1 \right) \quad (4.24)$$

halini alır. Burada V_{oc} açık devre gerilimidir.

Fotovoltaik hücredeki güç (P) ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$P = IV = \left(I_{sc} - I_o \left(\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right) \right) V \quad (4.25)$$

Maksimum değeri elde etmek için Eşitlik 4.25' te $V \rightarrow V_m$ yapılarak türevi sıfıra eşitlenirse;

$$\left(1 + \frac{eV_m}{kT} \right) \exp \left(\frac{eV_m}{kT} \right) = 1 + \frac{I_{sc}}{I_o} \quad (4.26)$$

ifadesi elde edilir.

Buradaki V_m , maksimum güçteki gerilimdir.

Eşitlik 4.23 ve 4.26 düzenlenirse birim hücre alanı (A_c) başına maksimum güce karşılık gelen yük akımı (I_m/A_c);

$$I_m/A_c = \frac{(eV_m/kT)}{(1+eV_m/kT)} (I_{sc} + I_o)/A_c \quad (4.27)$$

ve maksimum güç çıkışı birim hücre alanı başına (P_m/A_c);

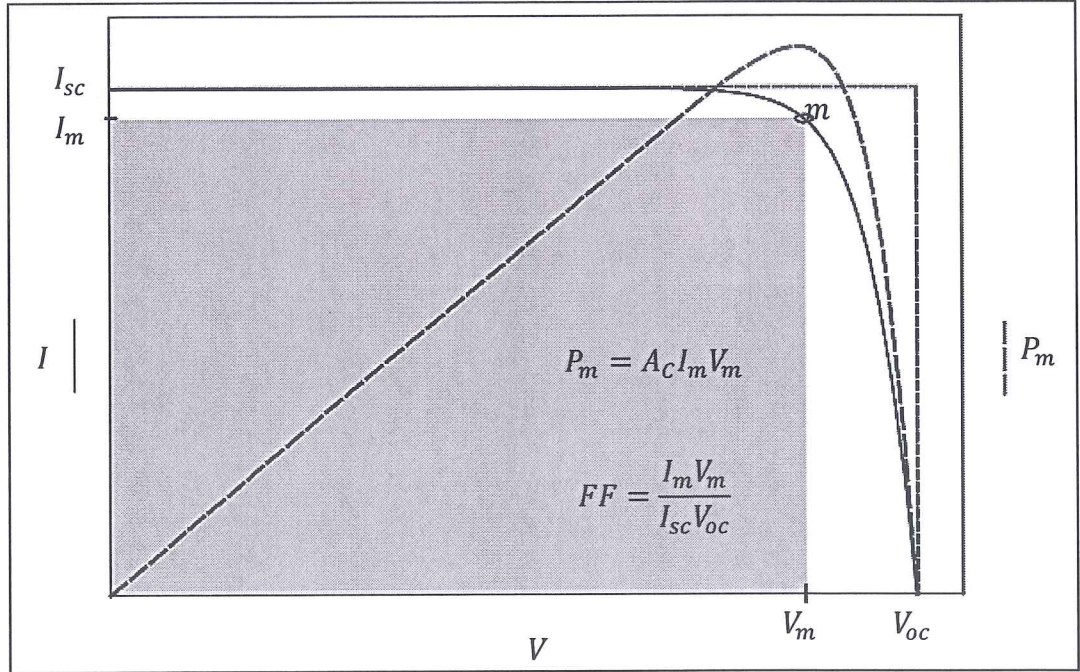
$$P_m/A_c = \frac{\left(\frac{eV_m^2}{kT} \right)}{\left(1 + \frac{eV_m}{kT} \right)} (I_{sc} + I_o)/A_c \quad (4.28)$$

olur. Açık devre ve kısa devre ekstrem durumlar olup, yüke iletilen güç sıfırdır. Ancak belirli bir yükte güç maksimum değere sahiptir. Bu da optimal akım yoğunluğuna (I_m) ve optimal hücre gerilimine (V_m) karşılık gelir. Maksimum güç, $V_m \times I_m$ şeklinde verilir. Eğer hücrenin $I - V$ karakteristiğinde $I = I_{sc}$ ise $V_{oc} \times I_{sc}$ ideal maksimum gücü ifade eder. PV dizisinde maksimum çıkış gücünü (P_m) belirlemede dolgu faktörü de (*fill factor* – FF) yardımcı olur (Şekil 4.7).

Maksimum çalışma için enerji ve ekserji verimleri tahmin değerlerdir. Bu nedenle enerji verimi maksimum gücün solar enerji girişine bölümü, ekserji verimi ise maksimum gücün solar ekserji girişine bölümüdür. Maksimum güç, dolgu faktörü, açık devre gerilimi ve kısa devre akımı ile hesaplanarak aşağıdaki gibi formülde yerine yazılırsa enerji ve ekserji verimleri hesaplanır. Maksimum değişim etkinliği (η_{max}) ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\eta_{max} = \frac{I_m V_m}{I_N} = \frac{(FF) I_c V_{oc}}{I_N} \quad (4.29)$$

Burada I_N toplam alana düşen ışınım olup $I_N = I_T \times A_c$ ile ifade edilir.



Şekil 4.7. PV dizgisi güç maksimizasyonunu için tipik akım-gerilim karakteristiği (Sukhatme ve Nayak, 2008).

PV yüzeyine dik gelen ışınımın ekserjisi ($\dot{E}x_{solar}$) değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$\dot{E}x_{solar} = \left(1 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{sun}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{sun}} \right)^4 \right) I_N \quad (4.30)$$

olup, T_0 referans sıcaklık, T_{sun} güneş yüzey sıcaklığıdır.

Ekserji verimi (ψ) aşağıdaki gibi hesaplanır:

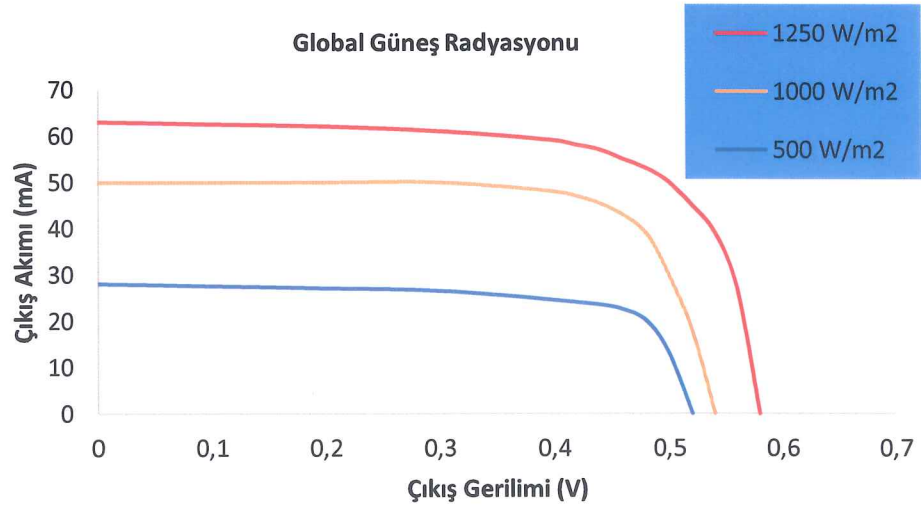
$$\psi = \frac{I_m V_m}{\dot{E}x_{solar}} = \frac{FF V_{oc} I_{sc}}{\dot{E}x_{solar}} \quad (4.31)$$

Enerji veriminin ekserji verimine oranı;

$$\dot{E}x_{solar} = \left(1 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{sun}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{sun}} \right)^4 \right) \quad (4.32)$$

şeklinde ifade edilir.

şekil 4.8 güneş ışınım değerine göre çıkış geriliminin ve akımının karakteristiğini göstermektedir.



şekil 4.8. Global güneş radyasyonuna göre güneş pili için akım-gerilim karakteristiği (Sukhatme ve Nayak, 2008).

Çizelge 4.2'de fotovoltaiik sistemi oluşturan bileşenlerin verim büyüklükleri sırasıyla verilmiştir. Elektrik depolama için iki durum kabul edilmiştir: Ak grubu piller veya geri dönüşümlü yakıt hücrelerinde elektrik eldesi için kullanmak üzere hidrojen ve oksijen depolama.

Çizelge 4.2. Fotovoltaik sistem bileşenlerinin verimleri (Dinçer ve Zamfirescu, 2014).

Bileşen	Enerji Verimi	Ekserji Verimi
PV dizi	Birim alana düşen güneş ışınımı ile şebekeye teslim edilen aylık güç üretimi %11,2-12,4	Birim alana düşen güneş ekserjisi ile şebekeye teslim edilen aylık güç üretimi %9,8-11,5
Şarj Regülatörü	DC güç girişi üzerinden DC güç çıkışı %85-90	DC güç girişi üzerinden DC güç çıkışı %85-90
İnverter	DC güç girişi başına şebekeye teslim edilen AC güç %85-90	DC güç girişi başına şebekeye teslim edilen AC güç %85-90
Elektrik Depolama (Batarya, Geri dönüşümlü yakıt hücresi)	Depolanmış enerjinin dönüştürülmesi (Geri dönüşümlü yakıt hidrojen depolama ortamıdır) %25	Depolanan ekserji başına alınan ekserji %23

Çizelge 4.3. Üretici firmalara göre PV hücrelerin performans parametreleri (Green vd., 2012).

Üretici Firma	Hücre Teknolojisi	V_{oc} (V)	I_{sc} (A/cm ²)	FF	η
Sharp	Monolitik tandem GaInP/GaAs/GaInAs	3.006	14.05	87.5	36.9
AZUR	Monolitik 3 bağlantılı GaInP/GaInAs/Ge	2.691	14.70	86.0	34.1
Alta Devices	GaAs ince film	1.107	29.47	86.7	28.3
UNSW	Kristal Slikon (C-Si)	0.706	42.7	82.8	25.0
PERL					
Sun Power	n-tip geniş kristal slikon	0.721	40.5	82.9	24.2
Sanyo	n-tip geniş kristal slikon	0.745	39.38	80.9	23.7
Kaneka	Çift bağlantı ince film a-Si/nc-Si	1.365	12.3	69.4	12.3
NIMS	Boyaya duyarlı solar hücre	0.743	21.34	72.2	11.3
Sharp	Boyaya duyarlı solar hücre	0.714	21.93	70.3	11.0
Mitsubishi Chemical	Organik ince film	0.899	16.75	66.1	10.0

Çizelge 4.3' de bazı PV hücre üreticisi firmalara ait PV hücre performans parametreleri verilmiştir.

4.4. HİDROJEN VE DEPOLANMASI

Atom numarası 1 olan hidrojen, doğada en çok bulunan elementtir. Çok kararlı bir yapıya sahip olmamasından dolayı diğer elementlerle çok kolay bileşik oluşturabilir. O nedenle genellikle bileşik halinde bulunur. Su (H_2O) hidrojenin en çok bulunduğu kaynak olup, fosil yakıtlar ve biokütle de hidrojenin bileşik olarak bulunduğu kimyasal bileşenlerdir. Jeotermal kaynaklarda ve denizlerde de kükürtle bileşik oluşturarak doğada hidrojen sülfür H_2S formunda bulunabilir. Gazlar içerisinde moleküler ağırlığına göre en yüksek ısıl değere ve ısıl iletkenliğe sahiptir ve viskozitesi düşüktür.

Moleküler hidrojen (H_2) orto ve para olmak üzere iki izomer formda bulunması nedeniyle, depolanması önemli teknik zorluklar oluşturur. Orto-hidrojen formda iki proton paralel, para-hidrojen formda iki proton zıt spin atmaktadır.

Çizelge 4.4. Hidrojenin termofiziksel özellikleri (Dinçer ve Zamfirescu, 2014).

Özellik	Tanım	Özellik	Tanım
Yoğunluk	0,1 kg/m ³ 1 atm / 298 K sıcaklıkta (gaz) 1,34 kg/m ³ 1 atm / 20,3 K sıcaklıkta (buhar) 70,79 kg/m ³ 1 atm / 20,3 K sıcaklıkta (sıvı) 11,69 kg/m ³ 350 atm / 298 K sıcaklıkta (gaz)	Kritik nokta	32,97 K, 12,9 bar
Bileşimi	%75 orto, %25 para, 298,15 K sıcaklıkta, %99,8 üzeri para, kriyojenik H ₂	Kaynama noktası	20,3 K (1 atm), %99,8 para H ₂ + %0,02 orto H ₂
Alt/Üst Değer	Isıl 119,9 / 141,8 MJ/kg	Erime noktası	14,01 K (1 atm)
Ekserji	118,05 MJ/kg (kimyasal)	Sıvı hal enerjisi	14,1 MJ/kg (teorik enerji)
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	850 K	Yayınımı	Havada 0,61 cm/s
Yanıcılık	%4-18 ve %59-75 hava ile karışımında	İletkenlik	0,177 W/Mk
		Patlama	%13-65 hava ile 2 km/s hızda, 1,47 MPa şok dalgası ile
		Alev hızı	2,75 m/s

Standart sıcaklıkta (298,15 K) gaz halinde bulunan hidrojen %25 orto-hidrojen, %75 para-hidrojen olarak bulunmasına rağmen, kriyojenik sıcaklıkta orto-hidrojen form yok denecek kadar azdır (< %0,2).

Hidrojen yakıtı kullanılan güç üretim sistemleri geleneksel yakıt kullananlara göre daha verimlidir. Ayrıca hidrojenin yanması sonucu eksoz gazında sadece su buharı oluşması nedeniyle temiz bir yakıttır. Çizelge 4.4' de hidrojenin termofiziksel özellikleri verilmiştir. Bu çizelgede görüldüğü gibi hidrojenin yoğunluğu depolama koşullarına göre değişkenlik gösterecektir. Bu nedenle hidrojen depolamasında farklı metotlar kullanılır.

Hidrojen depolama metotları aşağıda sıralanmıştır:

- Standart sıcaklıkta, yüksek basınç altında depolama,
- Standart basınçta (1 atm), 20 K sıcaklıkta kriyojenik sıvı olarak depolama,
- Bir katı maddeye hidrojen molekülünün fiziksel bağlanması,
- Daha sonra hidrojeni serbest bırakacak şekilde yoğun bir kimyasal bağlama.

Birim zamandaki H₂ mol miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\dot{n}_{H_2} = \frac{W_{FC}}{2FU_f E_{load}} \quad (4.33)$$

Hidrojen gazının alt ısıl değeri LHV ile gerekli mol miktarı çarpılarak yakıt pili için toplam giriş enerjisi aşağıdaki ifade ile bulunur:

$$E_{in,FC} = \dot{n}_{H_2} \times LHV_{H_2} \quad (4.34)$$

Depolanacak toplam H₂ kütlesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$H_{2,stored} = St_h \times 3600 \times \dot{n}_{H_2} \times 2 \quad (4.35)$$

Bu eşitlikteki 3600 değeri saat-saniye dönüşümünü, St_h güneşlenme olmadan depo çalışma saatini, 2 değeri ise hidrojen gazının mol kütleini ifade eder.

Tank hacmi için hidrojenin depolama şartlarındaki özgül hacminden yararlanılır.

$$V_{tank} = H_{2,stored} \times v \quad (4.36)$$

Hidrojenin özgül hacim değeri, referans sıcaklık ve $P_{tank}=P_{cat}$ depolama basınç koşulları kabul edilerek H_2 çizelgesinden alınır.

4.5. SU ELEKTROLİZİ

PEME'ler düzlemsel elektrot yığınlarından ve asidik elektrolitten oluşan oturmuş bir teknolojidir. Çalışma sıcaklıkları 325-353 K olup diğer teknolojilere göre günlük hidrojen üretimi daha azdır (Günde 1500 N/ m³). Bu nedenle düşük kapasiteli amaçlar için daha uygun olacaktır Elektrolizör modellenmesindeki en önemli matematiksel parametreler aşağıda açıklanmıştır (Dinçer ve Zamfirescu, 2014):

Termo nötr gerilim (E_{th}) (V); tüm reaksiyon entalpisini adyabatik hücreye aktarmak için uygulanan gerilim olup, aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$E_{th} = \frac{\Delta H}{2F} \quad (4.37)$$

Tersinir hücre gerilimi ($E_{rev,elec}$) (V); hücreye uygulanan potansiyel olup, elektrokimyasal reaksiyonun devamlılığı için aktarılması gereken free enerjidir. Ayrıca Nernst denkliği ile de verilir. Bu denklikte denge sabiti ve standart geri dönüşümlü hücre potansiyeli vardır. Standart geri dönüşümlü hücre gerilimi $E^0 = 1.229 V$, denge sabiti $K_{eq} = (P_{H_2} P_{O_2}^{0.5}) / (a_{H_2O} P_0^{1.5})$ olup, $P_0 = 101.325 kPa$, a_{H_2O} ise elektrolit suyun kimyasal aktivite sayısıdır. Aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir:

$$E_{rev,elec} = \frac{\Delta G}{2F} = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln(K_{eq}) \quad (4.38)$$

Değişken akım yoğunluğu (J_0) (A/m^2); tersinir reaksiyona karşılık gelen akım yoğunluğudur. Esas olarak reaksiyona devam etmek için aktarılması gereken minimum enerji, aktivasyon enerjisine ($\Delta G_{ac,elec} = 2FE_{act,elec}$) ve üstel \mathcal{A} faktörüne bağlıdır. Değişken akım yoğunluğu aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$J_0 = zF\mathcal{A} \exp\left(-\frac{2FE_{act,elec}}{RT}\right) \quad (4.39)$$

Akım yoğunluğu (A/m^2); amper cinsinden akımın elektrotların alanına bölünmesiyle bulunur. Butler-Volmer denkliğine göre aktivasyon enerjisine bağlıdır. Burada basit bir formda verilmiş olup, aktivasyon enerjisini azaltmaya yönelik uygulanan elektrik alandaki transfer katsayısı α [0,1] aralığında alınır. Aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\frac{J}{J_0} = \exp\left(\frac{\alpha FE_{act,elec}}{RT}\right) - \exp\left(-\frac{(1-\alpha)FE_{act,elec}}{RT}\right) \quad (4.40)$$

Aktivasyon aşırı gerilimi ($E_{act,elec}$) (V); reaksiyonun devamında aktivasyon enerjisini aşmak için gerekli potansiyeldir. ($\Delta G_{act,elec} = 2FE_{act,elec}$) ile tanımlanır. Küçük elektrot polarizasyonunda J/J_0 ile orantılıdır. Polarize olmuş elektrotlar için Tafel denkliğine göre J' nin logaritmik ifadesi ile orantılıdır:

$$\begin{aligned} E_{act,elec} &= \left(\frac{RT}{F}\right) \ln\left(\frac{J}{J_0}\right), J \approx J_0 \text{ için} \\ E_{act,elec} &= b \ln\left(\frac{J}{J_0}\right), J > J_0 \text{ için} \end{aligned} \quad (4.41)$$

Konsantrasyon aşırı gerilimi ($E_{conc,elec}$) (V); iyonik türlerin olumsuz konsantrasyon eğimi altındaki elektrota elektriksel enerji aktarmak için gerekli aşırı gerilimdir. Elektrotlardaki akım yoğunluğu sınırına bağlıdır (J_L). Akım yoğunluğu değişiminden 10^6 kat daha fazladır. İfadesi aşağıdaki gibidir:

$$E_{conc,elec} = \frac{RT}{zF} \ln\left(\frac{1+\frac{1}{J_L}}{1-\frac{1}{J_L}}\right) \quad (4.42)$$

Toplam elektroliz gerilimi ($E_{tot,elec}$) (V); tersinir hücre gerilimi, aktivasyon aşırı gerilimi ve konsantrasyon aşırı geriliminin toplamına eşittir. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_{tot,elec} = E_{rev,elec} + E_{act,elec} + E_{conc,elec} \quad (4.43)$$

Enerji Verimi (η) (%) eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$\eta = \frac{146.96}{E_{tot,elec}} \quad (4.44)$$

Burada $\frac{HHV}{2F} = 1.4696$ değeri hidrojenin molar yüksek ısı değeri ve onu üretmek için harcanan elektrik enerjisine oranını ifade eder.

Ekserji Verimi ψ (%); hidrojenin molar kimyasal ekserjisi ve onu üretmek için harcanan elektrik enerjisine oranı olan 0.83 değeri ile çarpılmasıyla ifade edilir.

$$\psi = 0.83\eta \quad (4.45)$$

4.6. YAKIT HÜCRESİ

Şekil 4.9' da verilen ve yakıt olarak saf hidrojen ile oksidan olarak oksijen veya hava kullanılan PEM yakıt hücresinde, elektrolit olarak da katı polimer membran kullanır. Hidrojen gazı anot üzerinden geçerken hava da katot üzerinden geçmektedir. Hidrojen yakıt hücresi için enerji, entropi ve ekserji denge denklikleri aşağıda sırasıyla verilmiştir (Dinçer ve Zamfirescu, 2014):

Enerji Denkliği (EBE):

$$(\dot{h})_{H_2,in} + (\dot{h})_{O_2,in} = (\dot{h})_{H_2,out} + (\dot{h})_{H_2O,out} + (\dot{h})_{O_2,out} + \dot{W} + \dot{Q} \quad (4.46)$$

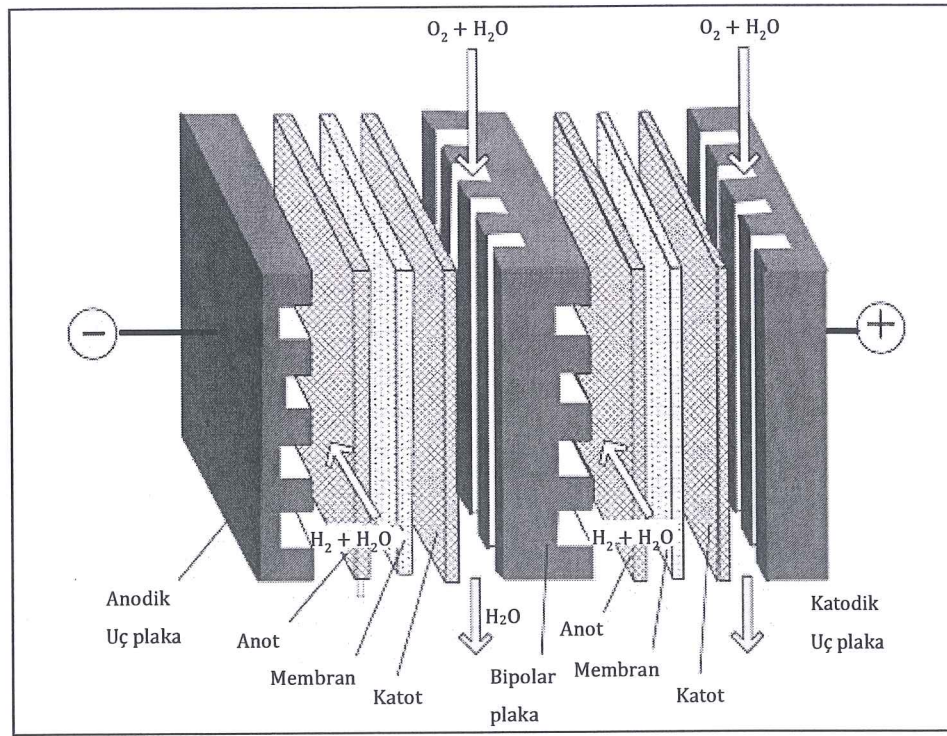
Entropi Denkliği (EnBE):

$$(\dot{n}s)_{H_2,in} + (\dot{n}s)_{O_2,in} + \dot{S}_g = (\dot{n}s)_{H_2,out} + (\dot{n}s)_{H_2O,out} + (\dot{n}s)_{O_2,out} + \frac{\dot{Q}}{T_b} \quad (4.47)$$

Bu ifadelerdeki \dot{n} mol oranını, h entalpiyi, \dot{W} üretilen gücü, \dot{Q} açığa çıkan ısıyı, s entropiyi, T_b sistem sınır sıcaklığını ifade eder.

Ekserji Denkliği (ExBE):

$$\dot{E}x_{matter,in} = \dot{E}x_{matter,out} + \dot{E}x_Q + \dot{E}x_W + \dot{E}x_d \quad (4.48)$$



Şekil 4.9. PEM yakıt hücresi için bipolar düzen (Dinçer ve Zamfirescu, 2014).

$\dot{E}x_Q$, kontrol hacminin dışa verdiği ısıl ekserjidir. $\dot{E}x_{matter,in}$, giren oksidan ve yakıt akışının oluşturduğu ekserjidir. $\dot{E}x_{matter,out}$, çıkan oksidan ve yakıt akışının oluşturduğu ekserjidir. Isı üretimi yoksa $\dot{E}x_W$ net üretilen işe eşit olacaktır ($\dot{E}x_W = \dot{W} = E_{load}I$). Bu durumda yakıt hücresinin ürettiği net iş, yük ve üzerindeki akım ile ifade edilir. $\dot{E}x_d$, ekserji yıkımını ifade eder.

Yakıt hücresi için enerji dengesi denkleğinden yük üzerindeki gerilimler E şeklinde aşığıdaki gibi yazılır:

$$E_{rev}I = E_{load}I + E_{act}I + E_{conc}I + E_{ohm}I \quad (4.49)$$

Ay vd. (2006) PEM tipi yakıt hücrelerinde aktivasyon, yoğunlaşma ve ohmik aşırı gerilim için özel eşitlik ile hesaplaması aşığıdaki gibidir:

$$E_{load} = 1.229 - 8.5 \times 10^{-4}(T - 298.15) + 4.3085 \times 10^{-5}T(\ln P_{H_2} + 0.5 \ln P_{O_2}) - \left(\frac{\alpha_a + \alpha_c}{\alpha_a \alpha_c}\right) \frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{J}{J_0}\right) - \left(\frac{\alpha_a + \alpha_c}{\alpha_a \alpha_c}\right) \frac{RT}{zF} \ln J \left(\beta \frac{J}{J_L}\right)^\gamma - \left(\frac{\alpha_a + \alpha_c}{\alpha_a \alpha_c}\right) \frac{RT}{zF} \ln \frac{J \delta \exp\left(-4.185 \frac{T-303}{T}\right)}{(0.005139\omega - 0.00326)} \quad (4.50)$$

Buradaki 1. Terim tersinir standart açık devre gerilimidir (E_0). 2. Terim işlem sıcaklığında açık devre voltaj değışimidir. 3. Terim çıkış akışlarındaki sıcaklık ve basıncın birleşik etkisinin hesaplamasıdır. Bu üç terim, çalışma koşullarındaki sıcaklık ve basınç için açık devre gerilimini verir (E_{rev}). 4. terim aktivasyon aşırı gerilimi (E_{act}), 5. terim yoğunlaşmış aşırı gerilim (E_{conc}), 6. terim ise ohmik aşırı gerilimi (E_{ohm}). ifade eder. Yük transfer katsayıları (α) anot için 0.5, katot için 1.0 kabul edilebilir. Sınırlayıcı akım yoğunluğu (J_L) 2000 A/m² alınabilir.

Değışken akım yoğunluğu (J_0) sıcaklığın bir fonksiyonu olarak aşığıdaki eşitlikle bulunur:

$$J_0 = 1.08 \times \exp(0.086T_b) \quad (4.51)$$

İşlem sıcaklığı sistemin sınır sıcaklığı kabul edilebilir ($T_b = T$). Yoğunlaşmış aşırı gerilim üssel değeri $\gamma \cong 2.0$ kabul edilebilir. Yoğunlaşmış aşırı gerilim faktörü β PEM tipi yakıt hücreleri için aşığıdaki gibi referans alınabilir:

$$\beta = \begin{cases} (7.16 \times 10^{-4}T_b - 0.622)P_{cat} - 1.45 \times 10^{-3}T_b + 1.68 & P_{cat} < 2 \text{ atm ise} \\ (8.66 \times 10^{-4}T_b - 0.068)P_{cat} - 1.60 \times 10^{-4}T_b + 0.54 & P_{cat} \geq 2 \text{ atm ise} \end{cases} \quad (4.52)$$

Yakıt hücresinin işlem sıcaklığında su buharının doyma basıncı P_{sat} olup, sadece oksijen beslemesi için katot basıncı $P_{cat} = 8.52P_{O_2} + P_{sat}$ ile ifade edilir.

Membran nem faktörü Ay vd. (2006)' ne göre aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$\omega = \begin{cases} 0.043 + 17.8a - 39.85a^2 + 39.85a^3 & 0 \leq a \leq 1 \\ 14 + 1.4(a - 1) & 1 < a \leq 3 \end{cases} \quad (4.53)$$

Burada, membran suyu aktivite katsayısı ($a = y_{H_2O}P/P_{sat}$). P membran basıncı, y_{H_2O} membran suyu molar fraksiyonudur. Anottaki molar fraksiyondan katota doğrusal değişim olduğu kabul edilir ($y_{H_2O,A} = \left(\frac{P_{sat}}{P}\right)_A$), ($y_{H_2O,C} = \left(\frac{P_{sat}}{P}\right)_C$).

Eşitlik 4.50' de hidrojenin ve oksijenin kısmi basınçlarına ihtiyaç vardır (P_{H_2} , P_{O_2}). Beslenen akış içindeki hidrojenin molar fraksiyonu ve anottaki basınç ile anottaki kısmi hidrojen basıncı bulunur ($P_{H_2} = y_{H_2}P_A$). Aynı şekilde katottaki oksijenin kısmi basıncı elde edilir ($P_{O_2} = y_{O_2}P_C$).

Sitokiyometrik katot için aşırı oksijen faktörü (λ_C) ile sitokiyometrik anot için aşırı hidrojen faktörü (λ_A), elektrotlardaki oksijen ve hidrojen molar fraksiyonuna bağlıdır. Genellikle $\lambda_C = 3$, $\lambda_A = 1.5$ alınır. Ayrıca anot ve katottaki beslenen akıştaki yakıtın ve oksijenin kuru molar fraksiyonuna bağlıdır (y_C , y_A). Normalde oksitleyici hava ve saf oksijen kullanıldığından, $y_C = 0.21$, $y_A = 1$ alınır. Oksitleyici ve yakıt için molar fraksiyon hesaplaması, aşağıdaki gibi formüle edilmiştir (Ay vd., 2006):

$$\begin{cases} y_{H_2} = \frac{1 - y_{H_2O,A}}{1 + 0.5y_A(1 + \lambda_A/(\lambda_A - 1))} \\ y_{O_2} = \frac{1 - y_{H_2O,C}}{1 + 0.5y_C(1 + \lambda_C/(\lambda_C - 1))} \end{cases} \quad (4.54)$$

Aşırı hava katsayısı $\lambda_O = U_f/U_O$ şeklinde ifade edilir. Sitokiyometrik olarak girmesi gereken oksijen miktarının normalde giren oksijen miktarına oranıdır.

Açık devre gerilimi E_{oc} ; ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$E_{oc} = E_{cell}^0 - \frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2} P_{O_2}^{0,5}} P_0^{0,5} \right) \quad (4.55)$$

Gerçek hücre voltajı (E); açık devre voltajından omik kayıp, konsantrasyon ve aktivasyon potansiyelleri ayıklandığında ortaya çıkar. Bunun için eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$E = E_{oc} - E_{act} - E_{conc} - E_{ohm} \quad (4.56)$$

Bu durumda hücrenin gerçek gücü \dot{W} ;

$$\dot{W} = E \times I \quad (4.57)$$

olacaktır.

Yakıt hücresinin çıkış gücü (\dot{W}_{FC}) Eşitlik 4.50' den E_{load} çözülür. Yakıt kullanım oranı (U_f) ve yakıt mol miktarından (\dot{n}_f) yararlanarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\dot{W}_{FC} = 2 \times F \times U_f \times E_{load} \times \dot{n}_f \quad (4.58)$$

Enerji verimi η_{cell} , net çıkış gücünün, yakıtın alt ısıl değeri (LHV) ile elde edilen enerjiye oranı olup, ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\eta_{cell} = \frac{\dot{W}_{FC}}{\dot{n}_f LHV} \quad (4.59)$$

Ekserji verimi ψ_{cell} , net çıkış gücünün ve yakıtın oluşması için gereken kimyasal ekserjinin oranı olup, ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\psi_{cell} = \frac{\dot{W}_{FC}}{\dot{n}_f ex_f^ch} \quad (4.60)$$

4.7. POMPALI HİDRO DEPOLAMA SİSTEMİ

Alt ve üst rezervuar arasındaki kot farkından dolayı oluşan suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülerek türbin vasıtasıyla dönme hareketi ve sonrasında da jeneratörle elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibine dayanır. Pompa-motor ve türbin-jeneratör ünitelerini içeren bu sistemde su pompalama katsayısı ve türbin üretim katsayısı iki önemli parametredir. Bunlar sırasıyla c_p ve c_t ile ifade edilir. Su pompalama katsayısının birimi m^3/kWh olup, kullanılacak birim enerjinin depo edeceği su hacmidir. Türbin üretim katsayısının birimi kWh/m^3 olup, birim hacimdeki suyun üreteceği enerji miktarıdır (Schoppe, 2010; Li vd., 2012; Tao vd., 2012).

Pompa-motor ünitesinde güç kaynağı PV paneller olup, pompa ile alt rezervuardan emilen hacimsel su debisi (q_p) aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$q_p(t) = \frac{\eta_p P_{PV \rightarrow p}(t)}{\rho g h} = c_p P_{PV \rightarrow p}(t) \quad (4.61)$$

Burada η_p pompa verimi, ρ su yoğunluğu ($\rho_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3$), g yerçekimi ivmesi ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), h kot yüksekliği (m), $P_{PV \rightarrow p}(t)$ PV panellerden pompaya iletilen gücü (W) ifade eder.

Üst rezervuardan su çekilerek türbin jeneratör ünitesinde elde edilen güç aşağıdaki ifade ile tanımlanır:

$$P_t(t) = \eta_t \rho g h q_t(t) = c_t q_t(t) \quad (4.62)$$

Burada η_t türbin verimi, $q_t(t)$ türbine giren suyun hacimsel debisidir. Hacimsel debinin birimi m^3/s dir.

Üst rezervuar hacmi hesaplanırken genellikle güç kaynağı gün boyunca yeterli olmayacağı durumlar da göz önüne alınarak en az bir günlük rezervuar hacmi öngörülür (Risser ve Post, 1988).

Üst rezervuardaki su yüksekliği depolama tankının şarj durumu (SOC-state of charge) olarak gösterilebilir. Bu rezervuarda depolanan yerçekimi etkisindeki potansiyel enerji ($E_{pot,d}$);

$$E_{pot,d} = n_{gün} E_{load} = \frac{\eta_t \rho V g h}{3,6 \times 10^6} \quad (4.63)$$

Burada $n_{gün}$ gün sayısını, E_{load} günlük tüketilen enerji, V rezervuarın hacimsel depolama kapasitesini ifade eder.

4.8. EKONOMİK ANALİZ

Ekonomik analiz üç sistem için de göz önüne alınmıştır. Burada ana komponentlerin maliyet hesapları, termodinamik analiz sonuçları kullanılarak korelasyonu yapılan denklikler yardımıyla hesap edilmiştir. Soğutucu ünite de bulunan evaporatör, kompresör, kondenser ve genişleme valfi için Eşitlik 4.64-4.69 aralığı Esfahani ve Yoo (2014) ' nun çalışmasından alınmıştır. PV panel maliyeti Eşitlik 4.70' te verilmiş olup, Özden ve Tari (2016)' nin çalışmasından alınmıştır. Ahmadi (2013) çalışmasında elektrolizör ve yakıt pili maliyetlerini hesaplamış olup, Eşitlik 4.71 ve 4.72 'de verilmiştir. Eşitlik 4.73-4.75 aralığında verilen pompalı hidro depolamalı sistemin maliyet hesaplamaları için Ma vd. (2014a, 2014b, 2015) ile Sontake ve Kalamkar (2016)' in çalışmalarından yararlanılmıştır. Rezervuar maliyeti ise 4.76' da verilmiş olup Landmark (2016)' in internet sitesindeki verilere göre iterasyon yapılmıştır.

Evaporatör Maliyeti

Evaporatör birim alan ısı değişim faktörü (U_{eva}), evaporatör giriş-çıkış sıcaklık farkı (ΔT_{eva}) ve soğutma yükünden (\dot{Q}_{eva}) yararlanarak evaporatörün toplam ısı değiştirme alanı (A_{eva}) bulunur. Bulunan alan değerinin üstel fonksiyonu amprik formülde yerine konulmasıyla dolar cinsinden evaporatör maliyeti Eşitlik 4.65 ile hesap edilir:

$$\dot{Q}_{eva} = A_{eva} U_{eva} \Delta T_{eva} \quad (4.64)$$

$$C_{eva} = 309,14 \times A_{eva}^{0,85} \quad (4.65)$$

Kondenser Maliyeti

Kondenser birim alan ısı değişim faktörü (U_{cond}), kondenser giriş-çıkış sıcaklık farkı (ΔT_{cond}) ve soğutma yükünden (\dot{Q}_{cond}) yararlanarak kondenserin toplam ısı değiştirme alanı (A_{cond}) bulunur. Bulunan alan değerinin üstel fonksiyonu amprik formülde yerine konulmasıyla dolar cinsinden kondenser maliyeti Eşitlik 4.67 ile hesap edilir:

$$\dot{Q}_{cond} = A_{cond} U_{cond} \Delta T_{cond} \quad (4.66)$$

$$C_{cond} = 516,62 \times A_{cond}^{0,6} \quad (4.67)$$

Genleşme Valfi Maliyeti

Basınç oranına bağlı olarak dolar cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{gv} = 37 \times BO \times 0,68 \quad (4.68)$$

Kompresör Maliyeti

Kompresör verimi, basınç oranı ve kompresör girişindeki akışkanın özgül hacmi ile amprik olarak dolar cinsinden kompresör maliyeti aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$C_c = 906,5 \times \left(\frac{V_c}{0,9 - \eta_c} \right) BO \times \ln(BO) \quad (4.69)$$

PV Panel Maliyeti

PV panel maliyeti alan yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{PV} = 310 \times A_{PV} \quad (4.70)$$

PEM Yakıt Pili Ve Elektrolizör Maliyeti

Yakıt pili ve elektrolizör maliyet hesaplamaları sırasıyla üretilen ve harcanan elektriksel gücün ifadesi ile Eşitlik 4.71 ve 4.72' den yararlanarak bulunur.

$$C_{FC} = 2400 \times \dot{W}_{FC} \quad (4.71)$$

$$C_{elec,II} = 940 \times \dot{W}_{elec} \quad (4.72)$$

Hidrojen Tankı Maliyeti

Depolanan hidrojen gazı kütlesinin bir ifadesi olan tank maliyeti depolama basıncının da etkideği aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$C_{tank} = 240 \times m_{H_2} \times SF \quad (4.73)$$

Pompa Maliyeti

Gücün ve verimin bir ifadesi olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$C_{pump} = 705 W_p^{0.71} \left(1 + \frac{0.2}{1-\eta_p} \right) \quad (4.74)$$

Türbin-Jeneratör Maliyeti

Avrodan dolara çevirmek için 1,05 katsayısına bölünen ve güç ile dönünün bir fonksiyonu olan Franchis tipi türbin maliyeti aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_{turb} = (25.698 W_t^{0.4399} h^{-0.1272}) / 1.05 \quad (4.75)$$

Rezervuar Maliyeti

Hacim fonksiyonu olarak elde etmek için basit bir yaklaşım uygulanak dolar cinsinden rezervuar maliyeti aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Landmark, 2016):

$$C_{rez} = 89.46V \quad (4.76)$$

Toplam Maliyet

Her bir sistemdeki komponentlerin maliyet toplamı hesaplandıktan sonra %10 toplam maliyet güvenlik faktörü (AUX) ile çarpılır. Üç sistem için toplam maliyetler aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_{total,SYSI} = (C_{PV,I} + C_c + C_{gv} + C_{cond} + C_{eva}) \times AUX \quad (4.77)$$

$$C_{total,SYSII} = (C_{PV,II} + C_c + C_{gv} + C_{cond} + C_{eva} + C_{elec} + C_{FC} + C_{tank}) \times AUX \quad (4.78)$$

$$C_{total,SYSIII} = (C_{PV,III} + C_c + C_{gv} + C_{cond} + C_{eva} + C_{pump} + C_{turb} + C_{rez}) \times AUX \quad (4.79)$$

BÖLÜM 5

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. SİSTEM I SONUÇLARI

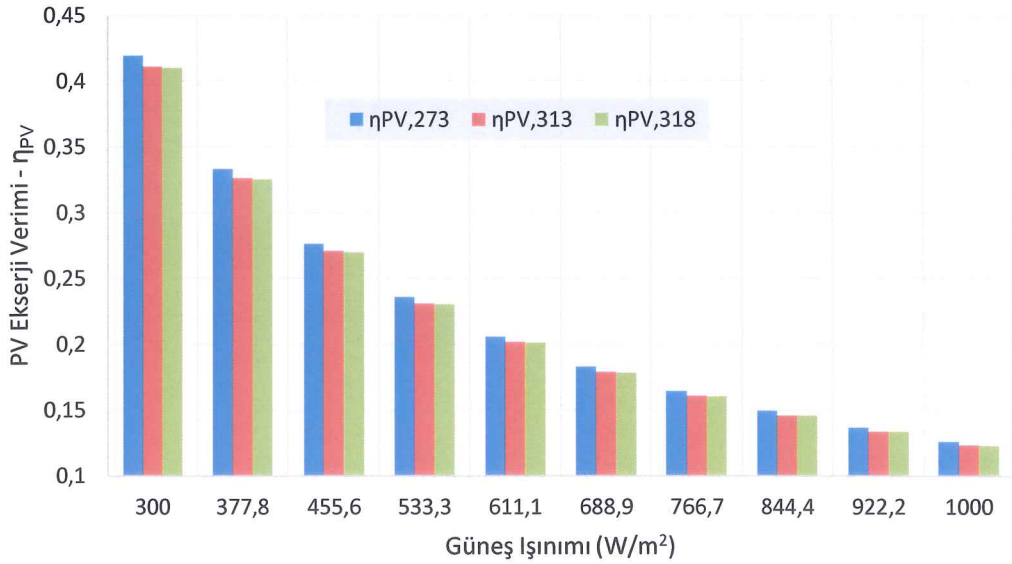
5.1.1. Termodinamik Analiz Sonuçları

Hesaplamalar için soğutmada kullanılacak akışkan olarak R134a seçilmiş olmasına rağmen diğer soğutucu akışkanlar (R134a, R600a, R12, R22, R290, R410a, R152a, R1234yf) için de çözüm oluşturulmuştur. R152a panel alanı yönünden en düşük sonucu vermiştir. Çevre sıcaklığı olarak adlandırdığımız referans sıcaklık değeri 275-323 K aralığında alınmış olup, referans basınç 100 kPa' dır. Evaporatör sıcaklık değeri, soğutucu ünitenin sıcaklık değer aralığı olan 275-281 K alınmıştır. Basınç oranı 2-4 aralığında çalışma durumuna göre incelenmiş olup kompresör verimi 0,85 seçilmiştir. Kondenser çıkışı ve evaporatör çıkışında kuruluk derecesi sırasıyla tamamen sıvı; yani 0, tamamen buhar; yani 1 olarak kabul edilmiştir. PV panel için açık akım voltaj değeri 0,2-0,8 V aralığı, akım yoğunluğu değeri ise 100-400 A/m² aralığı alınmıştır. Güneş ışınım şiddeti olarak 300-1100 W/m² değer aralığında çalışılmıştır. Sistem I modellemesi için kabul edilen parametreler Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Şekil 5.1' de görüldüğü üzere güneş ışınım şiddetinin artış göstermesi PV ekserji verimini düşürmektedir. Ayrıca yüksek referans sıcaklıklarında PV ekserji verimi azalmaktadır. Güneş ışınım şiddeti değeri 300-1000 W/m² aralığında ve referans sıcaklık değerleri 273 K, 313 K, 318 K alınmıştır. 300 W/m² güneş ışınım şiddeti ve 273 K referans sıcaklığında PV ekserji verimi yaklaşık %42 olmasına rağmen, 1000 W/ m² ve 45 °C referans sıcaklığında yaklaşık %12' lere kadar düşmektedir.

Çizelge 5.1. Sistem I modellemesi için giriş parametreleri.

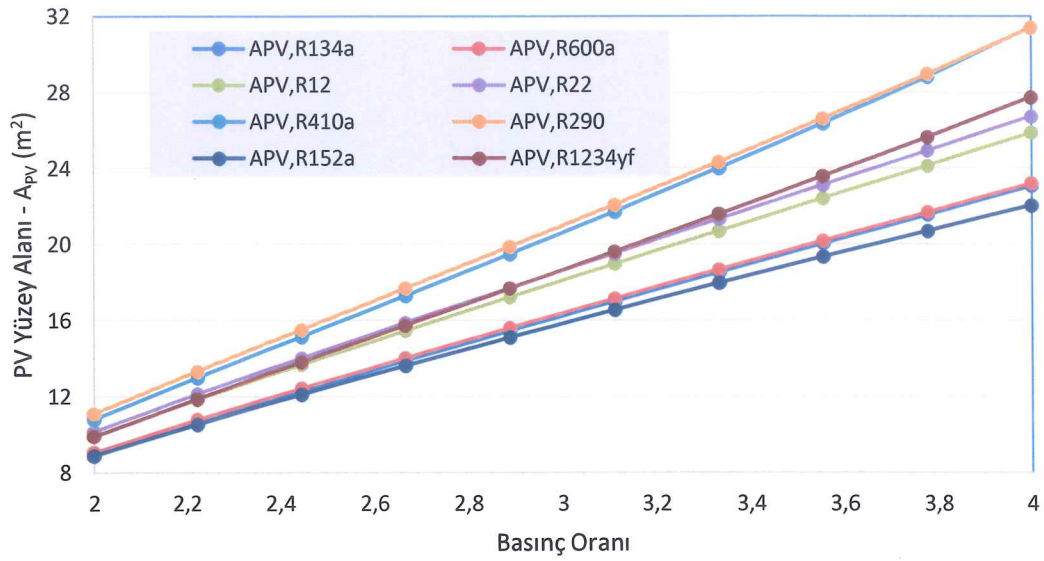
Parametre	Sembol	Birim	Değer aralığı
Soğutucu akışkan	-	-	R134a, R600a, R12, R22, R290, R410a, R152a, R1234yf
Referans sıcaklığı	T_0	K	275-323
Referans basınç	P_0	kPa	100
Evaporatör sıcaklığı	T_{eva}	K	275-281
Basınç oranı	BO	-	2-4
Kompresör verimi	η_{is}	-	0,85
Soğutma yükü	Q_{eva}	kW	11
Kondenser çıkışı kuruluk dercesi	x_2	-	0
Evaporatör çıkışı kuruluk dercesi	x_4	-	1
Açık akım voltajı	V_{oc}	V	0,2-0,8
Akım yoğunluğu	J	A/m ²	100-400
Güneş ışınımı	I_T	W/m ² h	300-1100



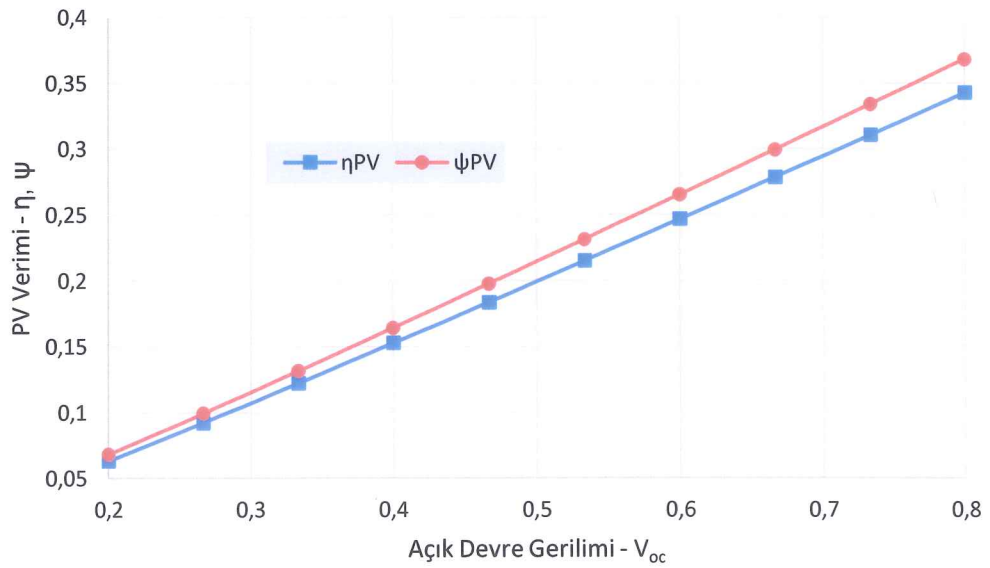
Şekil 5.1. Güneş ışınım şiddetine ve ortam referans sıcaklığına göre PV ekserjji verimi değişimi.

Şekil 5.2'de basınç oranı ile PV yüzey alanı değişimi, farklı soğutucu akışkanlar yönünden incenmiştir. Basınç oranı 2-4 değer aralığında incenmiş olup, soğutucu akışkan türleri olarak R152a, R134a, R600a, R12, R22, R1234yf, R410a, ve R290

alınmıştır. Basınç oranı yükseldikçe ihtiyaç duyulan PV yüzey alanının artış gösterdiği şekilde, en düşük yüzey alanını R152a soğutucu akışkanının verdiği görülmektedir. Bunu sırasıyla R134a, R600a, R12, R22, R1234yf, R410a, ve R290 izlemektedir. Basınç oranı 2 olması halinde ihtiyaç duyulan PV yüzey alanı yaklaşık 9-11 m² aralığında, basınç oranının 4 olması halinde ise yaklaşık 22-32 m² aralığında olduğu Şekil 5.2' den görülmektedir. Basınç oranının artması ile kompresörün soğutucu akışkanı sıkıştırması için gerekli enerji atması nedeniyle PV yüzey alanı artmaktadır.

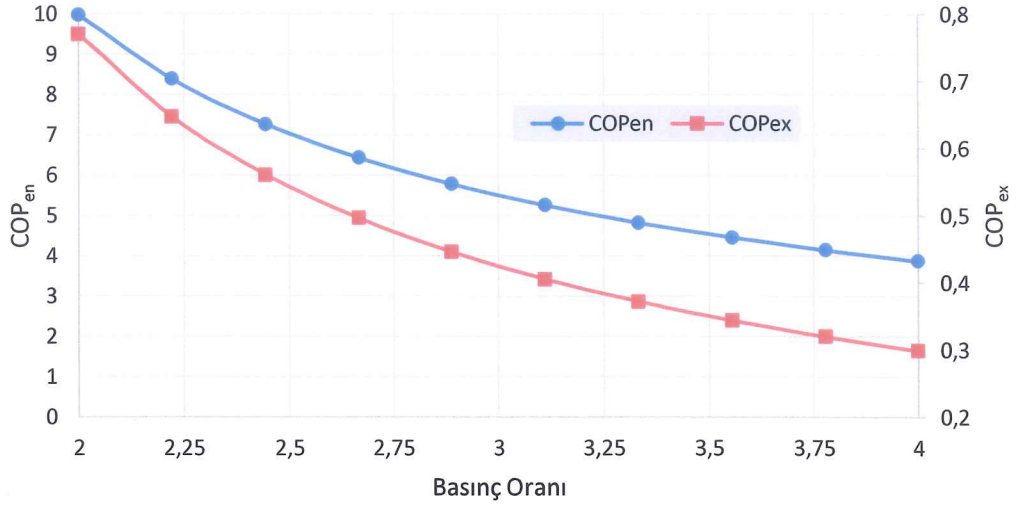


Şekil 5.2. Çeşitli soğutucu akışkanlara göre basınç oranı - PV yüzey alanı değişimi.



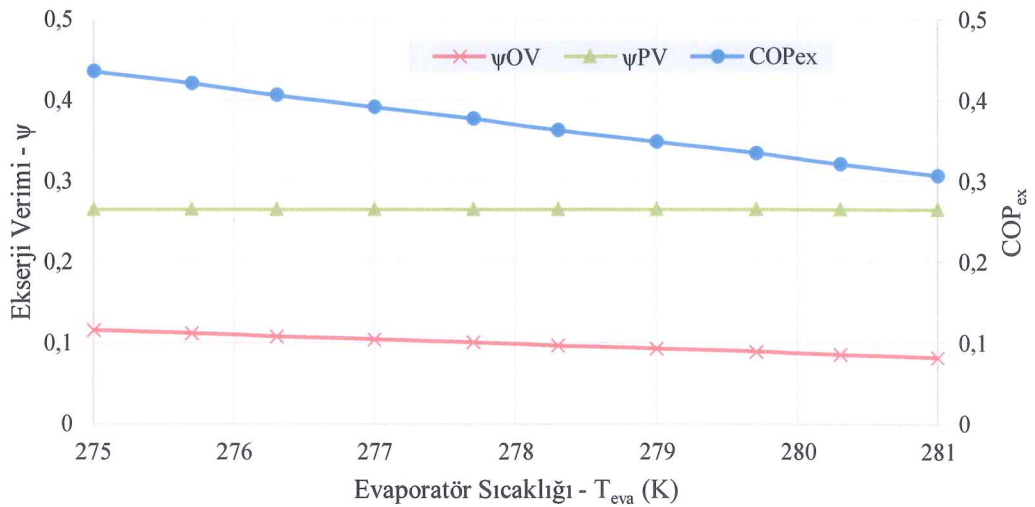
Şekil 5.3. Açık devre geriliminin PV verimine etkisi.

Açık devre geriliminin 0,2-0,8 V aralığında incelendiği Şekil 5.3' de PV ekserji ve enerji verimine etkisi doğrusala yakın bir çizgidedir. Düşük açık devre gerilim değerlerinde verim %10' un altında iken, yüksek değerlerde %35 civarında olduğu görülmektedir.



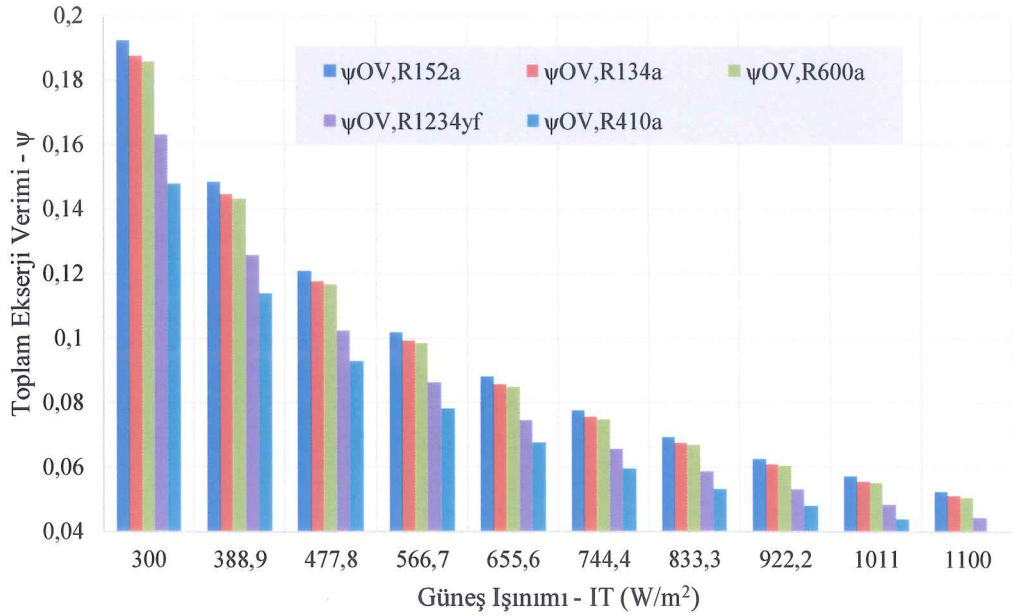
Şekil 5.4. Basınç oranına göre soğutma tesir katsayısı (COP) değişimi.

Basınç oranının 2-4 değer aralığında alındığı Şekil 5.4' de enerjetik ve ekserjetik COP değerleri, düşük basınç oranlarında daha yüksektir. Basınç oranı 2 iken COP_{en} ve COP_{ex} değerleri sırasıyla 9,97 ve 0,77 olduğu; basınç oranı 4 iken COP_{en} ve COP_{ex} değerleri sırasıyla 3,87 ve 0,30 olduğu görülmektedir.



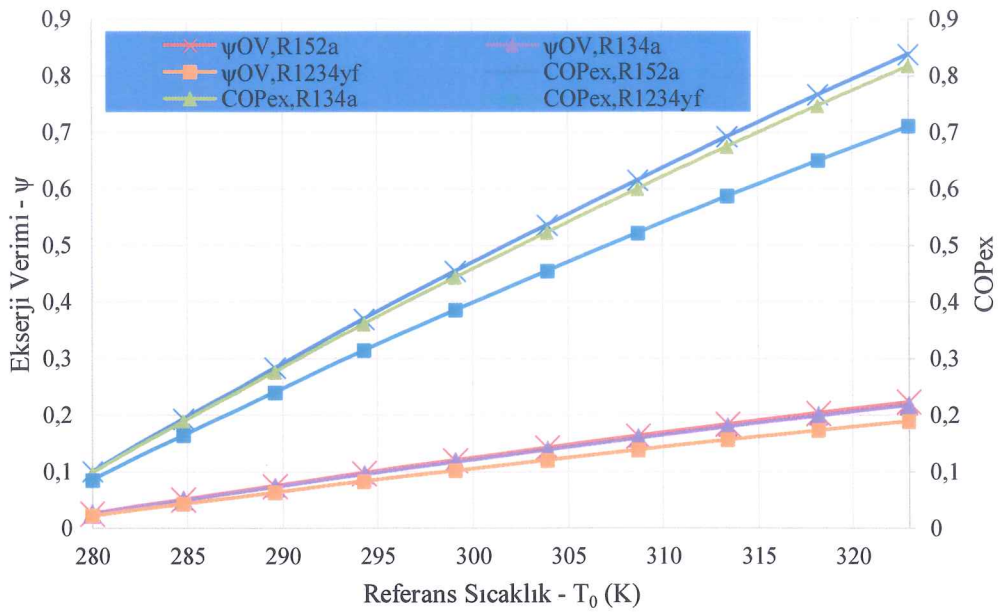
Şekil 5.5. Evaporatör sıcaklığına göre sistem I ve PV panel ekserji verimi değişimi.

Evaporatör sıcaklığının ekserji verimi üzerine etkisinin verildiği Şekil 5.5’ de, evaporatör sıcaklığı olarak soğutucu ünitenin sıcaklık değeri olan 275-281 K dikkate alınmıştır. COP_{ex} ve sistemin genel ekserji verimi yüksek evaporatör sıcaklığında düşmektedir. 275 K evaporatör sıcaklığında COP_{ex} ve sistemin genel ekserji verimi sırasıyla 0,44 ve 0,12, 281 K evaporatör sıcaklığında COP_{ex} ve sistemin genel ekserji verimi ise sırasıyla 0,31 ve 0,08 olmaktadır. PV ekserji veriminin ise tek başına evaporatör sıcaklığına bağlı olmadığı ve değerinin sabit 0,27 olduğu görülmüştür.



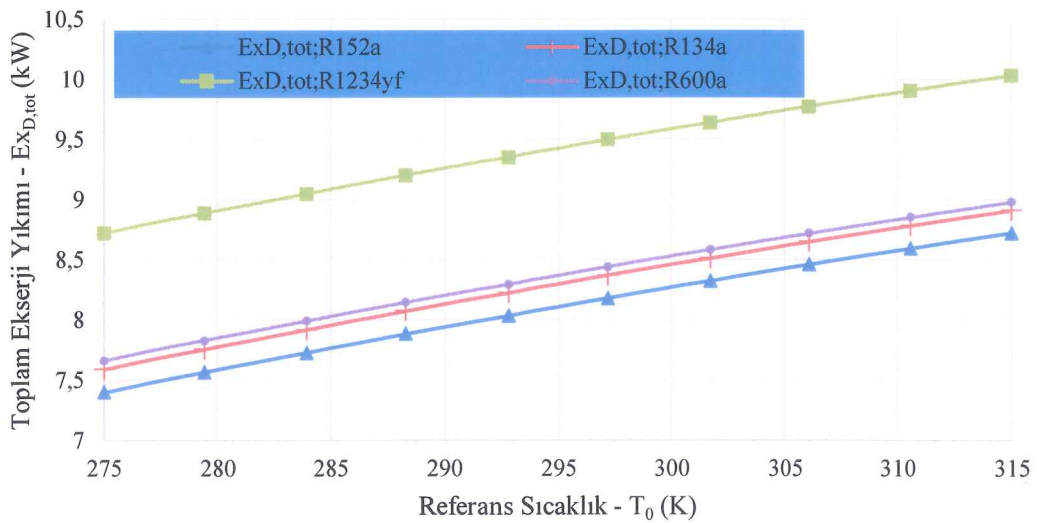
Şekil 5.6. Soğutucu akışkana göre güneş ışınım şiddeti ile sistem I ekserji verimi değişimi.

Güneş ışınım şiddetinin 300-1100 W/m² aralığında incelendiği Şekil 5.6’ da, güneş ışınım şiddeti arttıkça sistem I’ in genel ekserji verimi azalmaktadır. R152a, R134a, R1234yf, R600a ve R410a soğutucu akışkan türleri yönünden ele alınan şekilde en yüksek ekserji verimi R152a kullanılması durumunda verdiği görülmektedir. 300 W/m² ışınım şiddeti için R152a’ nın verdiği toplam ekserji verimi %19 iken 1100 W/m² ışınım şiddetinde %5’ e kadar düşmektedir. Toplam ekserji verimi etkisi yönünden R152a dışında kullanılması uygun olabilecek R134a, R600a, R1234yf ve R410a soğutucu akışkanları sırasıyla en iyi sonucu vermektedir.



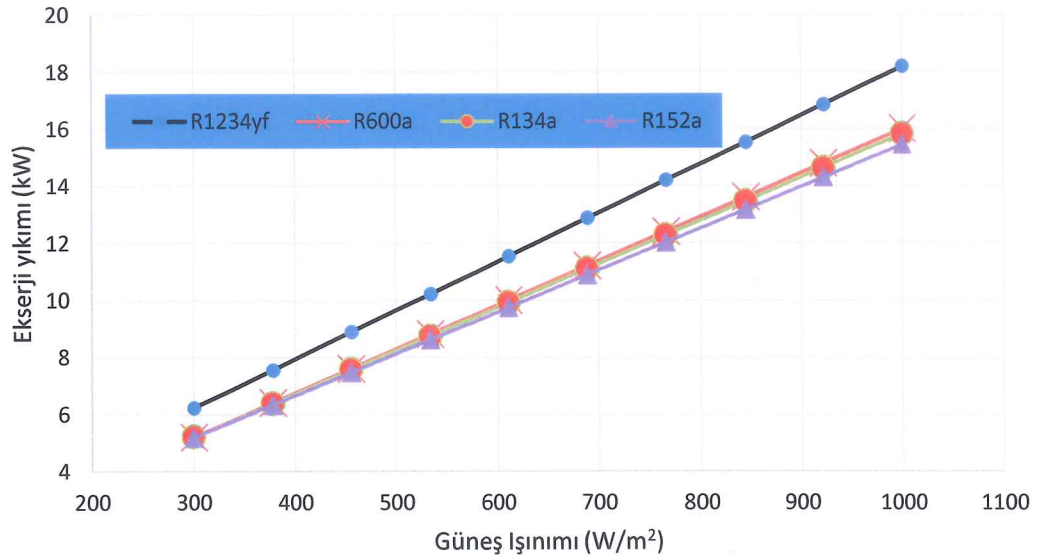
Şekil 5.7. Soğutucu akışkana göre referans sıcaklığı ile sistem I ekserji verimi ve soğutma tesir katsayısı değişimi.

R152a, R134a ve R1234yf soğutucu akışkanlarının ve referans sıcaklığının 280-323 K aralığında baz alındığı Şekil 5.7, sıcaklık artışının sistem I' in COP_{ex} ve ekserji verim değerlerini arttırdığını, en yüksek verim değerini R152a, soğutucu akışkanın sağladığını göstermektedir. 280 K referans sıcaklığında sistem I' in ekserji verimi %2,7, COP_{ex} değeri 0,10 olmasına karşılık, 323 K sıcaklığında sırasıyla %22,4 ve 0,84 değerini almaktadır.



Şekil 5.8. Soğutucu akışkana göre referans sıcaklığı ile sistem I ekserji yıkımı değişimi.

Toplam ekserji yıkımının, referans sıcaklık ve soğutucu akışkan türüne göre irdelendiği Şekil 5.8, ekserji yıkımının soğutucu akışkan türüne göre değiştiğini ve sıcaklık yükselmesinin ekserji yıkımını arttırdığını göstermektedir. Referans sıcaklık değeri 275-315 K aralığında alınan şekilde, R152a, R134a ve R1234yf soğutucu akışkanları kıyaslanmıştır. R152a 'nın verdiği ekserji yıkım değeri 275 K sıcaklığında 7,4 kW, 315 K sıcaklığında ise 8,72 kW olup en az ekserji yıkımı R152a soğutucu akışkanın kullanılması ile sağlanmaktadır En az ekserji yıkımını R152a' dan sonra R134a' nın verdiği görülmektedir.



Şekil 5.9. Soğutucu akışkana göre güneş ışınım şiddeti ile sistem I ekserji yıkımı değişim.

Güneş ışınım şiddetinin 300-1000 W/m² aralığında incelendiği Şekil 5.9; performans açısından en iyi üç ve en kötü olmak üzere R152a, R134a, R600a ve R1234yf soğutucu akışkanlarının ekserji yıkımı etkisini göstermektedir. En az ekserji yıkımını R152a soğutucu akışkan kullanımı ile sağlanabileceği ve bunu sırasıyla R134a, R600a ve R1234yf' nin takip ettiği görülmektedir. Ayrıca ışınım şiddetindeki artışın ekserji yıkımının da artmasına neden olmaktadır. R152a kullanılması halinde ekserji yıkımı, 300 W/m² ışınım şiddeti için yaklaşık 5,4 kW, 1000 W/m² ışınım şiddeti için yaklaşık 15,5 kW olduğu Şekil 5.9' da görülmektedir.

5.1.2. Ekonomik Analiz Sonuçları

Evaporatör, kondenser, genişleme valfi, kompresör ve PV maliyet hesaplamaları için sırasıyla Eşitlik 4.64 ile Eşitlik 4.70 aralığı kullanılmış, toplam maliyet için Eşitlik 4.78' den yararlanılmıştır. Elde edilen maliyet toplamı %10 güvenlik faktörü (AUX) ile çarpılarak toplam maliyet elde edilmiştir

Evaporatör soğutma yükünün 11 kW, ve soğutma sıcaklığı ile evaporatör sıcaklığı arasındaki farkın 5 K alındığı maliyet analizinde, evaporatör birim alan ısı değişim faktörü 0,15 kW/m²K kabul edilerek Eşitlik 4.64 yardımıyla evaporatör alanı hesaplanmıştır.

Kondenser ısı yükünün 13 kW, ve referans sıcaklığı ile evaporatör sıcaklığı arasındaki farkın 15 K alındığı maliyet analizinde, kondenser birim alan ısı değişim faktörü 0,2 kW/m²K kabul edilerek Eşitlik 4.66 yardımıyla kondenser alanı hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2. Sistem I ekonomik analizi için girdiler.

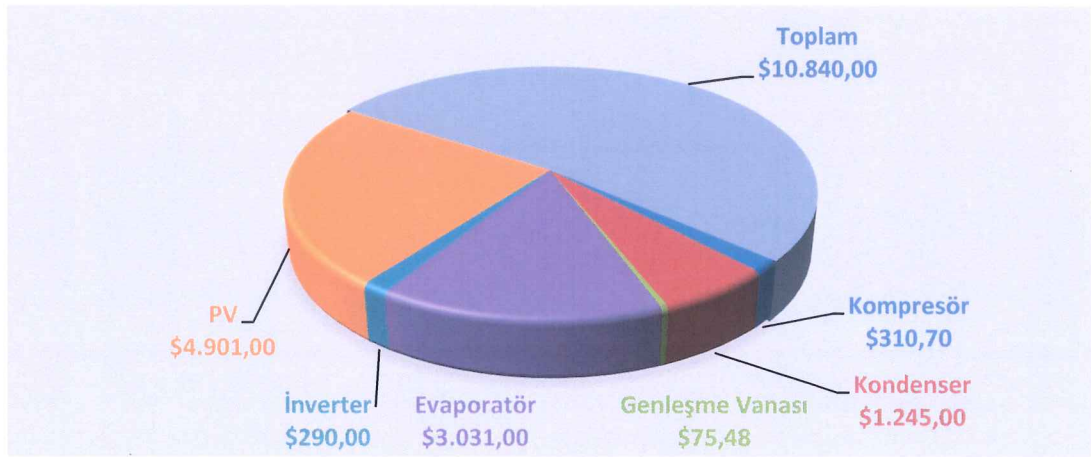
Parametre	Sembol	Birim	Değer
Evaporatör sıcaklık farkı	T_{eva}	K	5
Evaporatör birim alan ısı değişim faktörü	U_{eva}	kW/m ² K	0,15
Evaporatör soğutma yükü	Q_{eva}	kW	11
Evaporatör alanı	A_{eva}	m ²	14,67
Kondenser sıcaklık farkı	T_{cond}	K	15
Kondenser birim alan ısı değişim faktörü	U_{cond}	kW/m ² K	0,2
Kondenser ısı yükü	Q_{cond}	kW	13
Kondenser alanı	A_{cond}	m ²	4,33
Basınç oranı	BO	-	3
Kompresör girişi özgül hacim	v_c	m ³ /kg	0,0052
Kompresör verimi	η_c	-	0,85
PV panel alanı	A_{pv}	m ²	15,81
Maliyet güvenlik faktörü	AUX	-	1,1

Basınç oranının 3 alındığı sistem için kompresör verimi 0,85 kabul edilmiştir. R152a kullanılması halinde kompresör girişinde soğutucu akışkanın özgül hacminin 0,0052

m³/kg, kompresör için gerekli enerjiyi karşılayacak PV panel alanının ise 15,81 m² olarak bulunmuştur.

2300 W AC/DC inverter maliyeti 290 \$ alınmıştır (Voltageconverters, 2016).

Sistem I ekonomik analizi parametre değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.10. Sistem I maliyet karşılaştırması.

Şekil 5.10 sistem I konfirürasyonlarının maliyet değerlerini Dolar cinsinden vermektedir. Toplam maliyet değeri 1,1 güvenlik faktörüyle çarpılarak \$10840 elde edilmiştir. Konfirürasyonlar içinde en yüksek maliyet PV panel için \$4091 olarak sonuçlandırılmıştır. Bunu sırasıyla evaporatör \$3031, kondenser \$1245, kompresör \$310,70, inverter \$290 ve genleşme vanası \$75,48 olarak takip etmektedir. PV panel maliyeti toplam maliyetin yaklaşık %46’ sına karşılık gelmektedir.

5.2. SİSTEM II SONUÇLARI

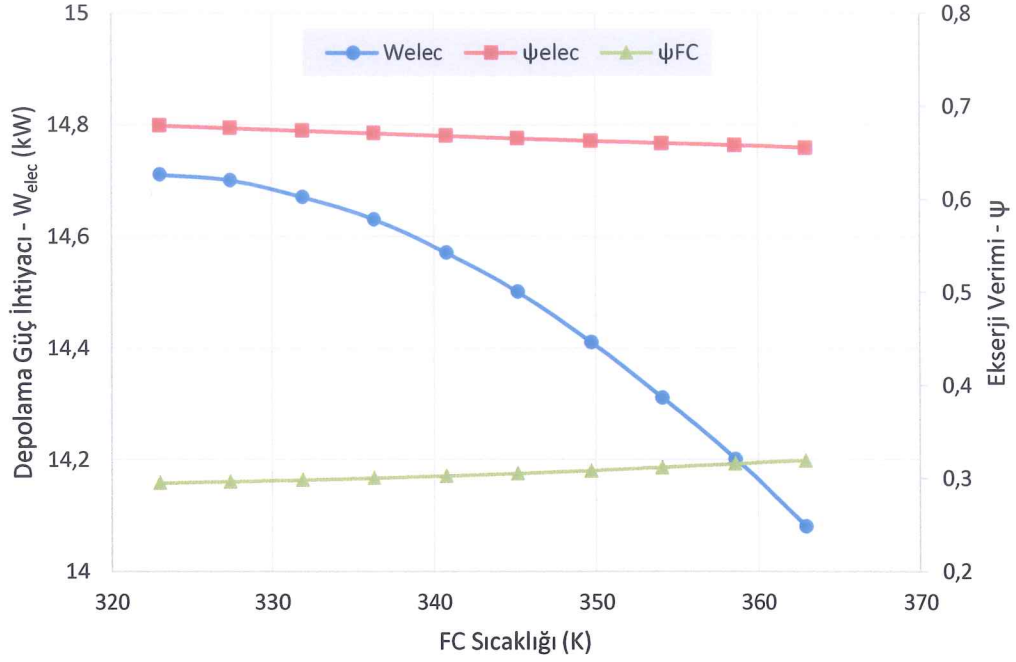
5.2.1. Termodinamik Analiz Sonuçları

Hesaplamalar için soğutmada kullanılacak akışkan olarak sistem I modellemesinden yararlanarak R152 a soğutucu akışkanın kullanılması öngörülmüştür. Çevre sıcaklığı olarak adlandırdığımız referans sıcaklık değeri 275-323 K aralığında alınmış olup, referans basınç 100 kPa’ dır. Evaporatör sıcaklık değeri, soğutucu ünitenin sıcaklık

değer aralığı olan 275-281 K alınmıştır. Basınç oranı 2-4 aralığında çalışma durumuna göre incelenmiş olup kompresör verimi 0,85 seçilmiştir. Kondenser çıkışı ve evaporatör çıkışında kuruluk derecesi sırasıyla tamamen sıvı, yani 0; tamamen buhar, yani 1; olarak kabul edilmiştir. PV panel için açık akım voltaj değeri 0,2-0,8 V aralığı, akım yoğunluğu değeri ise 100-400 A/m² aralığı alınmıştır. Güneş ışınım şiddeti olarak 300-1100 W/m² değer aralığında çalışılmıştır. Yakıt kullanım oranının 0,60 ile 0,99 aralığında alındığı sistem II modellemesinde PEM yakıt pili için çalışma sıcaklığı değer aralığı 323-363 K kabul edilmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Sistem II giriş parametreleri.

Parametre	Sembol	Birim	Değer aralığı
Referans sıcaklığı	T ₀	K	275-323
Referans basınç	P ₀	KPa	100
Evaporatör sıcaklığı	T _{eva}	K	275-281
Basınç oranı	BO	-	2-4
Kompresör verimi	η _{is}	-	0,85
Soğutma yükü	Q _{eva}	kW	11
Kondenser çıkışı kuruluk derecesi	x ₂	-	0
Evaporatör çıkışı kuruluk derecesi	x ₄	-	1
Açık akım voltajı	V _{oc}	V	0,2-0,8
Akım yoğunluğu	J	A/m ²	100-400
Sınırlayıcı akım yoğunluğu	J _{lim}	A/m ²	2000
Yakıt kullanım oranı	U _f	-	0,60-0,99
FC sıcaklığı	T _{FC}	K	323-363
FC membran kalınlığı	σ	mm	0,18
Anot basıncı	P _a	kPa	400
Transfer katsayısı (anot)	α ₁	-	0,5
Transfer katsayısı (katot)	α ₂	-	1,0
Su aktivitesi	a	-	1
Elektron sayısı	z	-	2
Faraday sabiti	F	C/mol	96490
Gaz sabiti	R	J/mol K	8,314
Konsantrasyon aşırı gerilim üssü	γ	-	2
AC/DC inverter verimi	η _{AC/DC}	-	0,95
Su kimyasal aktivitesi	a _w	-	0,99
Hidrojen üst ısıl değer	HHV _{H2}	MJ/kg	283,760
Güneş ışınımı	I _T	W/m ² h	300-1100

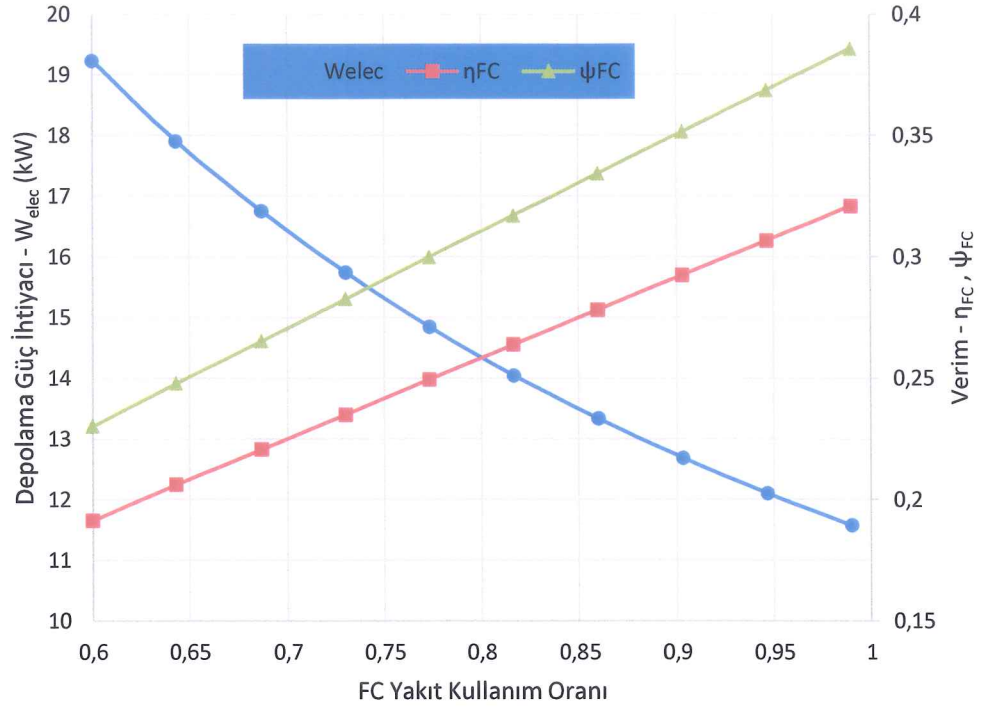


Şekil 5.11. Yakıt pili sıcaklığının ekserji verimi ve elektrolizör depolama güç ihtiyacına etkisi.

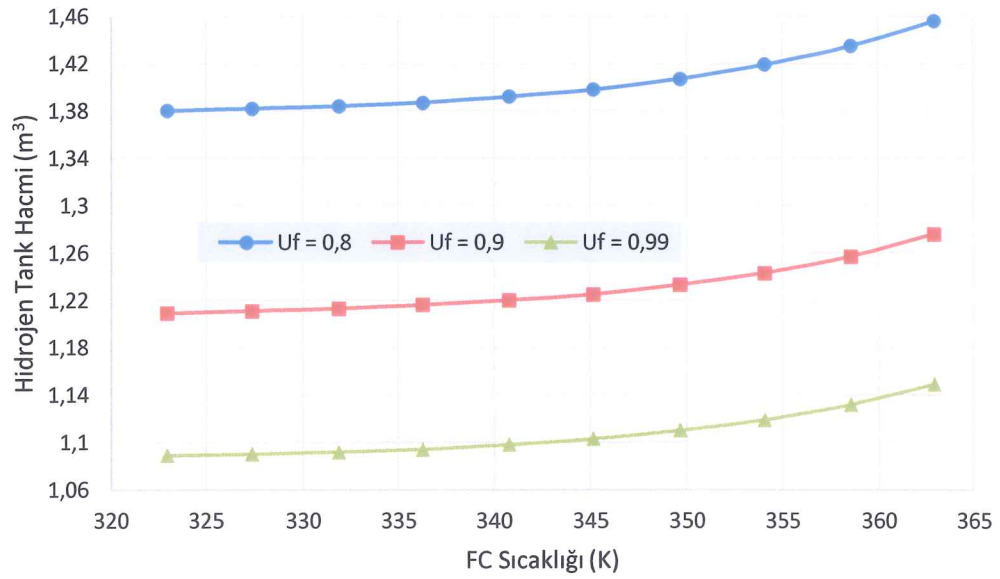
Yakıt pili (FC) çalışma sıcaklığının, elektrolizör ve yakıt pili ekserji verimine etkisi gösterildiği Şekil 5.11’ de, FC verimi yüksek çalışma sıcaklıklarında artış göstermesine rağmen elektrolizör veriminde düşüğe neden olduğu görülmektedir. Buna rağmen yüksek çalışma sıcaklığında depolama için elektrolizör güç ihtiyacını düşürmektedir. FC çalışma sıcaklık aralığı 323-363 K değerleri için irdelenmiştir. FC çalışma sıcaklığı 323 K olması halinde elektrolizör ekserji verimi 0,68, FC ekserji verimi 0,29 olup, hidrojen depolaması için gerekli elektrolizör güç ihtiyacı 14,71 kW olduğu hesaplanmıştır. FC çalışma sıcaklığı 363 K olması halinde ise elektrolizör ekserji verimi 0,66, FC ekserji verimi 0,32 olup, hidrojen depolaması için gerekli elektrolizör güç ihtiyacı 14,08 kW olduğu hesaplanmıştır.

Yakıt pilinde kullanılan yakıtın kullanım oranının etkisinin, depolama için gerekli elektrolizör güç ihtiyacında değişime neden olduğu görülen Şekil 5.12’ de, yakıt kullanım oranı 0,60-0,99 değer aralığında alınmıştır. Yakıt kullanım oranı arttıkça depolama için gerekli elektrolizör gücünün azaldığı ve ayrıca yakıt pili verimini de arttırdığı görülmektedir. Yakıt kullanım oranı 0,60 olması halinde yakıt pilinin enerji ve ekserji verimi sırasıyla 0,19 ve 0,23 olmakla birlikte, elektrolizör güç ihtiyacı 19,23 kW’ tır. Yakıt kullanım oranı 0,99 seviyelerine çıktığında ise yakıt pilinin enerji ve

ekserji verimi sırasıyla 0,32 ve 0,39 olmaktadır. Elektrolizör güç ihtiyacı da kayda değer bir düşüş göstererek 11,57 kW' a kadar gerilemektedir.

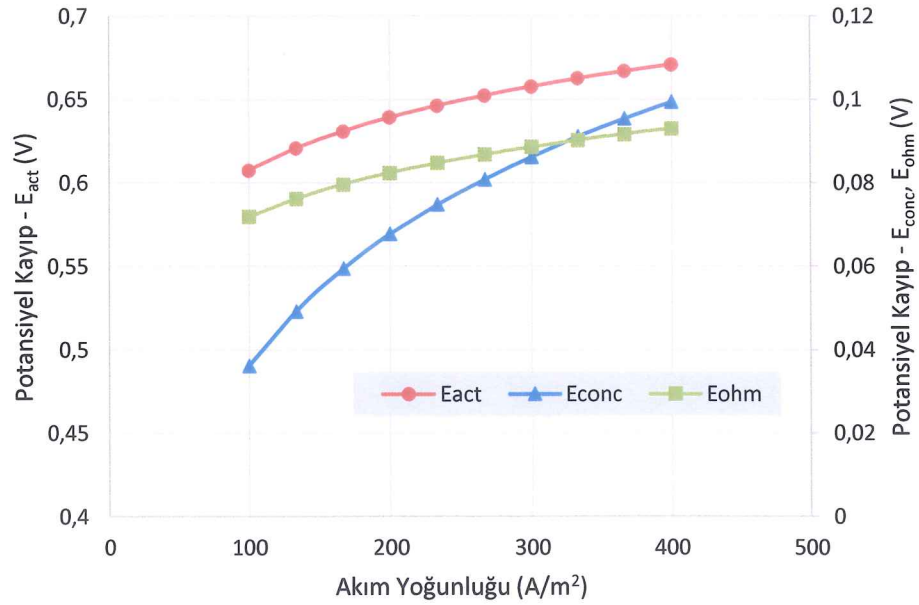


Şekil 5.12. Yakıt kullanım oranına göre verim ve elektrolizör için depolama güç ihtiyacı.



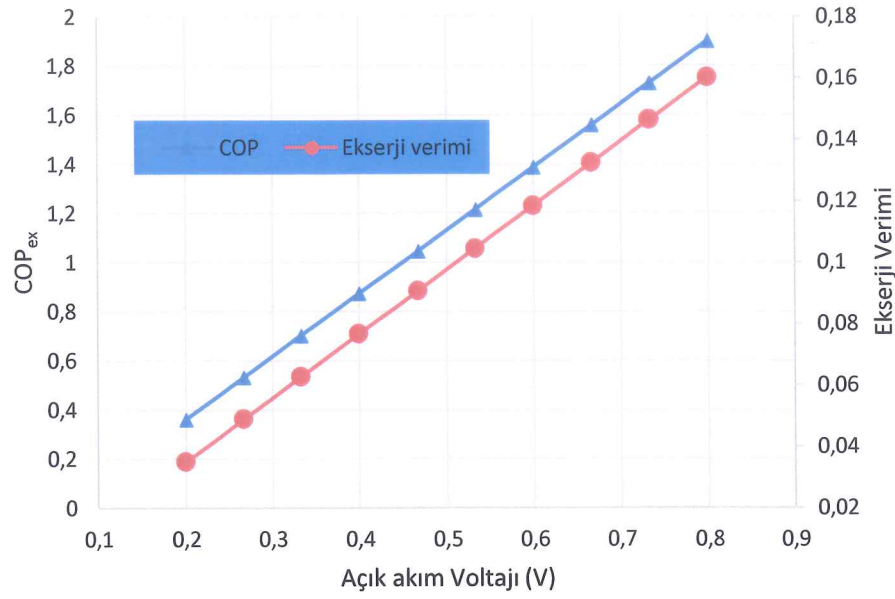
Şekil 5.13. Yakıt pili sıcaklığının ve yakıt kullanım oranının hidrojen tank hacmine etkisi.

Yakıt pili sıcaklığının ve yakıt kullanım oranının hidrojen tank hacmine etkisi Şekil 5.13' de gösterilmektedir. Yakıt pili çalışma sıcaklığının artması hidrojen tankının hacminin de artmasına neden olmaktadır. Buna karşın yakıt kullanım oranının artması hidrojen depolaması için gerekli tank hacmini küçülteceği görülmektedir. Yakıt kullanım oranı 0,8, 0,9 ve 0,99 olmak üzere üç değer kategorisi alınmıştır. FC çalışma sıcaklığı değer aralığı ise 323-363 K' dir. FC çalışma sıcaklığı 323 K için 0,8, 0,9 ve 0,99 yakıt kullanım oranlarında hidrojen depolama tank hacmi sırasıyla 1,38, 1,21 ve 1,09 m³ olmaktadır. FC çalışma sıcaklığı 363 K için 0,8, 0,9 ve 0,99 yakıt kullanım oranlarında hidrojen depolama tank hacmi ise sırasıyla 1,46, 1,28 ve 1,15 m³ olmaktadır.



Şekil 5.14. Akım yoğunluğunun elektriksel potansiyel kayıplara etkisi.

Akım yoğunluğunun artmasıyla elektrik potansiyel kaybın orantılı olarak arttığını gösteren Şekil 5.14' de akım yoğunluğu 100-400 A/m² değer aralığında alınmıştır. Akım yoğunluğu 100 A/m² için aktivasyon potansiyel kaybı 0,61 V iken, yoğunlaşma ve direnç potansiyel kayıpları, sırasıyla 0,04 ve 0,07 V değerlerini almaktadır. Akım yoğunluğu 400 A/m² olması halinde aktivasyon potansiyel kaybı 0,67 V iken, yoğunlaşma ve direnç potansiyel kayıpları, sırasıyla 0,10 ve 0,09 V değerlerini almaktadır.



Şekil 5.15. Açık akım voltajının sistem II ekserji verimine ve soğutma tesir katsayısına etkisi.

Açık akım voltajının 0,2 V ile 0,8 V arasında alındığı Şekil 5.15, sistem II için ekserji verimi ve COP_{ex} değerlerini göstermektedir. Açık akım voltajının artışı her iki değeri de arttırmaktadır. Açık akım voltaj değeri 0,2 V iken COP_{ex} değeri 0,36 ekserji verimi ise %3,5 olmaktadır. Açık akım voltaj değeri 0,8 olması halinde COP_{ex} değeri 1,90' a yükselirken, ekserji verimi ise yaklaşık %16' ya çıkmaktadır.

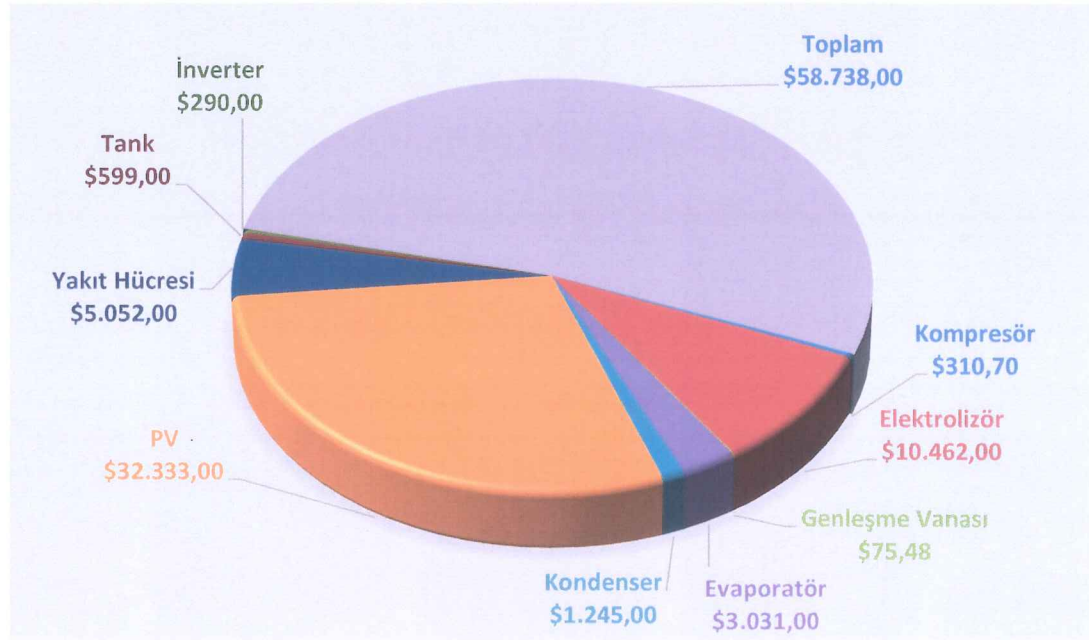
5.2.2. Ekonomik Analiz Sonuçları

Ekonomik analiz çalışması için giriş parametreleri Çizelge 5.4' de verilmiştir. Tüm gün elektrik ihtiyacının karşılanması istendiği için güneşlenme olmadığı zamanlarda solar enerjiden yararlanarak, elektroliz yöntemiyle H₂ depo edilip kullanılması düşünülmüştür. Sistem I' deki soğutucu ünite ve inverter aynı kalmakla birlikte ilave olarak elektrolizör, H₂ tankı ve yakıt pili ünitesi eklenmiştir.

Hesaplamalar sonrasında sistemin 24 bar basınç altında 2,269 kg H₂ depo ederek tüm gün çalışması öngörülmüştür. Elektrolizör gücü 11,13 kW olarak hesaplandıktan sonra tüm gün çalışma için toplam panel alanı 104,3 m² olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Sistem II ekonomik analizi için girdiler.

Parametre	Sembol	Birim	Değer
Evaporatör sıcaklık farkı	T_{eva}	K	5
Evaporatör birim alan ısı değişim faktörü	U_{eva}	kW/m ² K	0,15
Evaporatör soğutma yükü	Q_{eva}	kW	11
Evaporatör alanı	A_{eva}	m ²	14,67
Kondenser sıcaklık farkı	T_{cond}	K	15
Kondenser birim alan ısı değişim faktörü	U_{cond}	kW/m ² K	0,2
Kondenser ısı yükü	Q_{cond}	kW	13
Kondenser alanı	A_{cond}	m ²	4,33
Basınç oranı	BO	-	3
Kompresör girişi özgül hacim	v_c	m ³ /kg	0,0052
Kompresör verimi	η_c	-	0,85
PV panel alanı	A_{PV}	m ²	104,3
Yakıt pili güç üretimi	W_{FC}	kW	2,105
Elektrolizör gücü	W_{elec}	kW	11,13
Depo edilen hidrojen kütlesi	m_{H2}	kg	2,269
Hidrojen tank basıncı	P_{H2}	bar	24
Depolama maliyet faktörü	SF	-	1,1
Maliyet güvenlik faktörü	AUX	-	1,1



Şekil 5.16. Sistem II maliyet karşılaştırması.

Şekil 5.16 sistem II konfirürasyonlarının maliyet değerlerini Dolar cinsinden vermektedir. Toplam maliyet değeri 1,1 güvenlik faktörüyle çarpılarak \$58738 elde edilmiştir. Konfirürasyonlar içinde en yüksek maliyet PV panel için \$32333 olarak sonuçlandırılmıştır. Bunu sırasıyla elektrolizör \$10462, yakıt hücresi \$5052, evaporatör \$3031, kondenser \$1245, tank \$599, kompresör \$310,70, inverter \$290 ve genişleme vanası \$75,48 olarak takip etmektedir. PV panel grubu toplam maliyetin yaklaşık %60' ına karşılık gelmektedir.

5.3. SİSTEM III SONUÇLARI

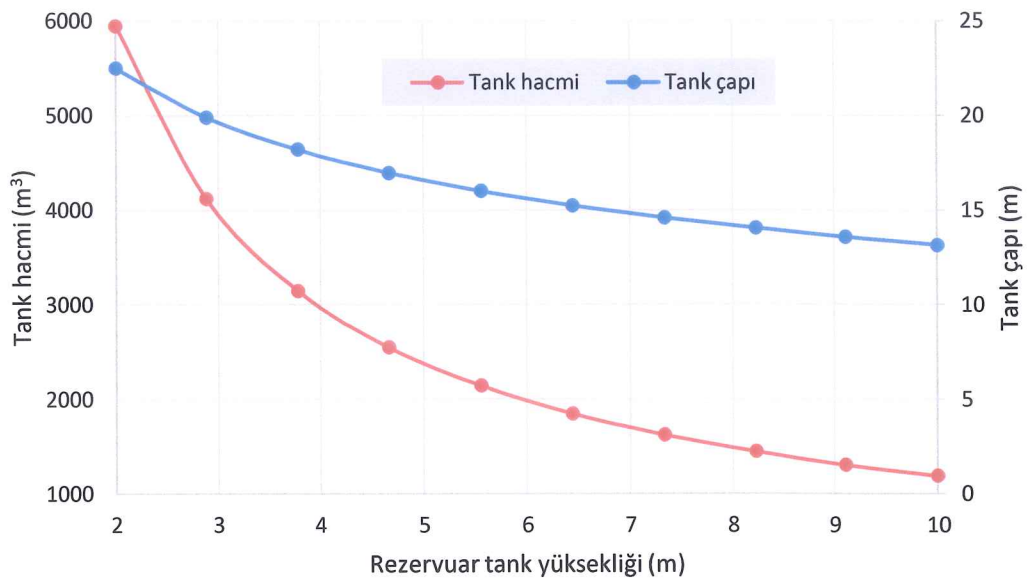
5.3.1. Termodinamik Analiz Sonuçları

Çizelge 5.5. Sistem III modellemesi için giriş parametreleri.

Parametre	Sembol	Birim	Değer aralığı
Referans sıcaklığı	T_0	K	275-323
Referans basınç	P_0	kPa	100
Evaporatör sıcaklığı	T_{eva}	K	275-281
Basınç oranı	BO	-	2-4
Kompresör verimi	η_{is}	-	0,85
Soğutma yükü	Q_{eva}	kW	11
Kondenser çıkışı kuruluk dercesi	x_2	-	0
Evaporatör çıkışı kuruluk dercesi	x_4	-	1
Açık akım voltajı	V_{oc}	V	0,2-0,8
Akım yoğunluğu	J	A/m ²	100-400
Pompa verimi	η_{pump}	-	0,8
Hidrolik verim	η_{hyd}	-	0,9
Türbin verimi	η_{turb}	-	0,86
Hidrolik düşü	H	m	2-10
Su yoğunluğu	ρ_w	kg/m ³	1000
Su sıcaklığı	T_w	K	288
Yerçekim ivmesi	g	m/s ²	9,81
Güneş ışınımı	I_T	W/m ² h	300-1100

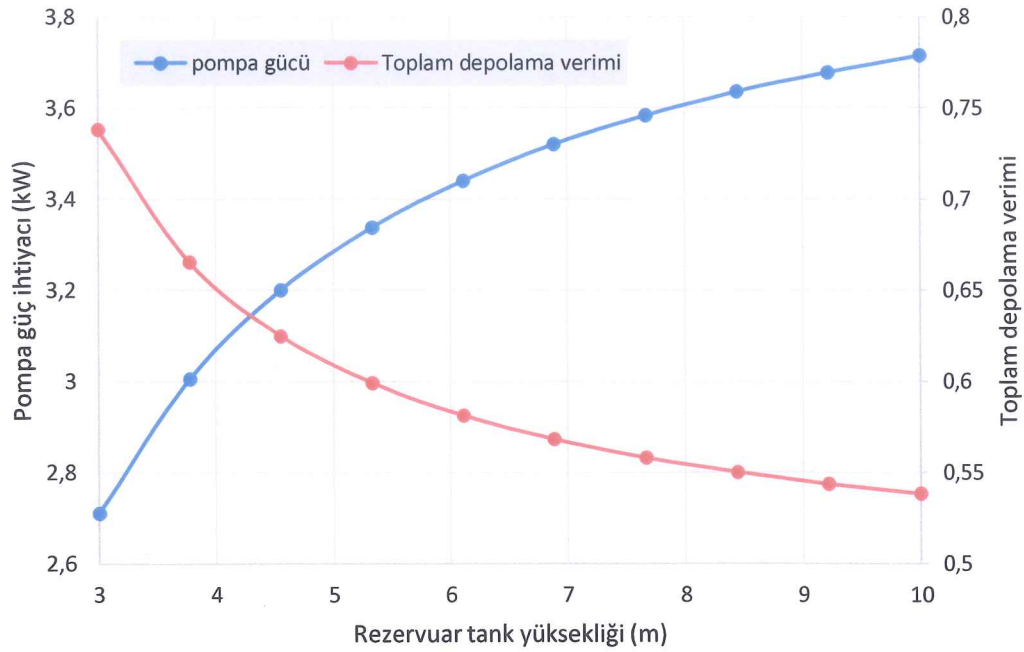
Sistem III için giriş parametrelerinin verildiği Çizelge 5.5' de' sistem I' deki soğutucu ünitenin aynı değer aralıkları alınmıştır. Güneşlenme olmadığı 14 saat boyunca türbinden karşılanacak elektrik enerjisi türbin verimi dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Daha sonra türbine gelecek su düşüsünün 6 m. olduğu kabulü ile üst rezervuarda depolanması gereken su hacmi hesaplanmıştır. Alt rezervuardan üst rezervuara, güneşlenme süresi olan 10 saat boyunca gerekli suyu basması için gereken pompa gücü, basma yüksekliği, 288 K sıcaklığındaki suyun termofiziksel özellikleri, ve debisi, verimler de dikkate alınarak bulunmuştur. Üst rezervuarın küresel tank, alt rezervuarın ise doğal gölet olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5.17. Rezervuar yüksekliğine göre tank çapı ve hacmi değişimi.

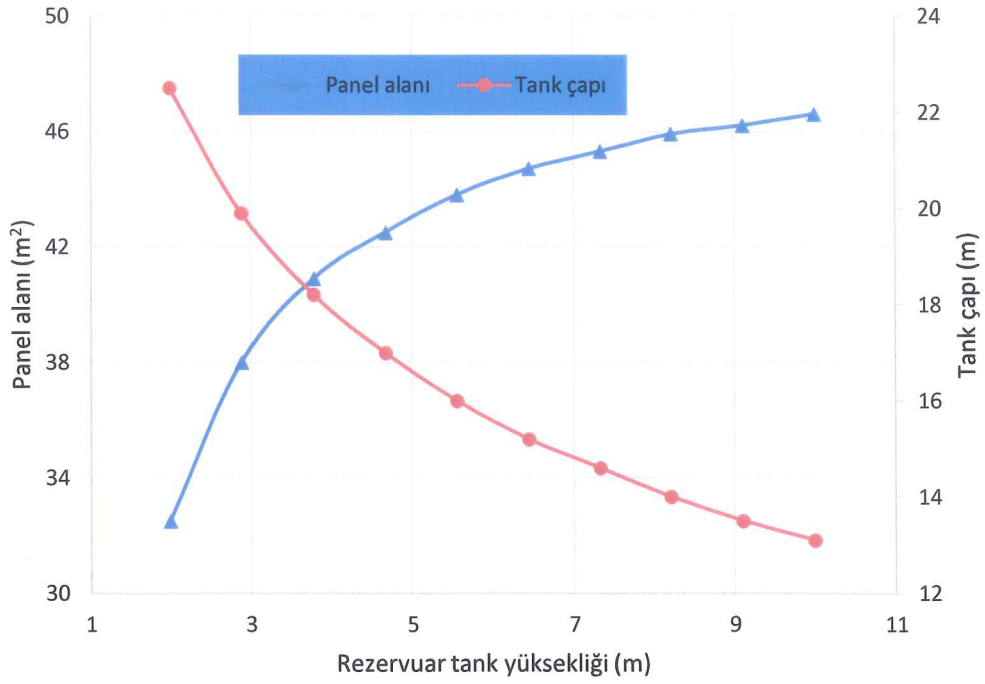
Küresel kabul ettiğimiz üst rezervuar tankının hacim ve dolayısıyla çap değişiminin, tankın konumlanacağı yükseklikle ilişkisini gösteren Şekil 5.17' de, yükseklik arttıkça tank hacminin azaldığını ifade etmektedir. Tank yükseklik değeri 2-10 metre aralığında alınmıştır. Tank yüksekliği 2 m olması durumunda, tank hacmi 5946 m³, tank çapı ise 22,48 m hesaplanmaktadır. 10 m tank yüksekliğinde ise tank hacmi 1189 m³ değerine, dolayısıyla tank çapı da 13,14 m değerine azalmaktadır.



Şekil 5.18. Rezervuar yüksekliğine göre pompa güç ihtiyacı ve toplam depolama verimi değişimi.

Tank yüksekliğindeki artış Şekil 5.17' de görüldüğü üzere tank çapını ve hacmini azaltmasına rağmen; gerekli pompa güç ihtiyacını arttırdığı, dolayısıyla toplam depolama verimini düşürdüğü Şekil 5.18' te görülmektedir. Tank yüksekliği 3-10 m aralığında alınmıştır. Tank yüksekliği 3 metre iken pompa güç ihtiyacı ve toplam depolama verimi sırasıyla 2,71 kW ve %74 olduğu görülmektedir. Tank yüksekliği 10 metreye çıkarıldığında pompa güç ihtiyacı artarak 3,72 kW değerine ulaşmakta, toplam depolama verimi ise %54' e kadar düşmektedir.

Enerji ihtiyacının artışı PV panel gereksinimini arttıracaktır. Şekil 5.19' da tank yüksekliğinin artması pompanın ihtiyacı olan güç gereksinimini arttıracığı için PV panel alanını arttırmaktadır, fakat yükseklik artışı tankta. Tank yüksekliği 2-10 m aralığında alınmıştır. Tank yüksekliği 2 m alınması halinde tank çapı 22,5 m, gerekli panel alanı 32,5 m² olmaktadır. Tank yüksekliğini 10 metreye çıkardığımızda depo edilecek potansiyel enerji sabit olduğundan; tank hacmi, dolayısıyla tank çapı azalarak 13,1 m olmaktadır. Panel alanı ise ihtiyaç duyulan pompa gücünün artması nedeniyle 46,6 m²' ye yükselmektedir. Şekil 5.19 üzerinde çalışma yaparak tank hacmi, PV panel alanı ve tank yüksekliği üzerine optimum maliyet hakkında bilgi sahibi olunabilir.



Şekil 5.19. Rezervuar yüksekliğine göre PV alanı ve tank çapı değişimi.

5.3.2. Ekonomik Analiz Sonuçları

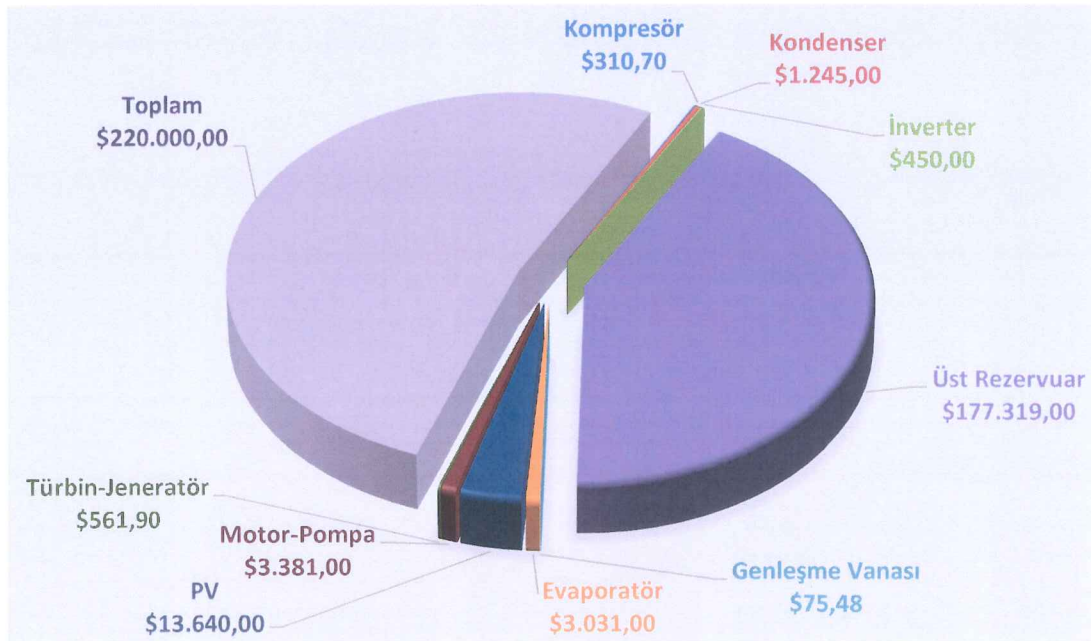
Ekonomik analiz çalışması için giriş parametreleri Çizelge 5.6' da verilmiştir. Tüm gün elektrik ihtiyacının karşılanması istendiği için güneşlenme olmadığı zamanlarda solar enerjiden yararlanarak, hidro pompalama yapılması düşünülmüştür. Sistem I' deki soğutucu sistem aynı kalmakla birlikte ilave olarak motor-pompa, türbin-jeneratör, alt ve üst rezervuar eklenmiştir. İhtiyaç duyulan enerji gereksinimi için PV panel alanı hesaplanmıştır.

Pompa basma yüksekliği 6 m kabulü ile motor-pompa gücü 3,427 kW, türbin-jeneratör gücü 2,083 kW, üst rezervuar hacmi 1982 m³ hesaplandıktan sonra, tüm gün çalışma için toplam PV panel alanı 44 m² olarak bulunmuştur. Toplam maliyet, güvenlik faktörü 1,1 alınarak hesaplanmıştır.

İnverterden beslenecek güç en yüksek motor-pompa ünitesinde olması nedeniyle 3500 W çıkışlı inverter için maliyet 450 \$ alınmıştır (Voltageconverters, 2016).

Çizelge 5.6. Sistem III ekonomik analizi için girdiler.

Parametre	Sembol	Birim	Değer
Evaporatör sıcaklık farkı	T_{eva}	K	5
Evaporatör birim alan ısı değişim faktörü	U_{eva}	kW/m ² K	0,15
Evaporatör soğutma yükü	Q_{eva}	kW	11
Evaporatör alanı	A_{eva}	m ²	14,67
Kondenser sıcaklık farkı	T_{cond}	K	15
Kondenser birim alan ısı değişim faktörü	U_{cond}	kW/m ² K	0,2
Kondenser ısı yükü	Q_{cond}	kW	13
Kondenser alanı	A_{cond}	m ²	4,33
Basınç oranı	BO	-	3
Kompresör girişi özgül hacim	v_c	m ³ /kg	0,0052
Kompresör verimi	η_c	-	0,8
PV panel alanı	A_{PV}	m ²	44
Motor-Pompa gücü	W_p	kW	3,427
Türbin-Jeneratör gücü	W_T	kW	2,083
Rezervuar hacmi	V_{RES}	m ³	1982
Maliyet güvenlik faktörü	AUX	-	1,1

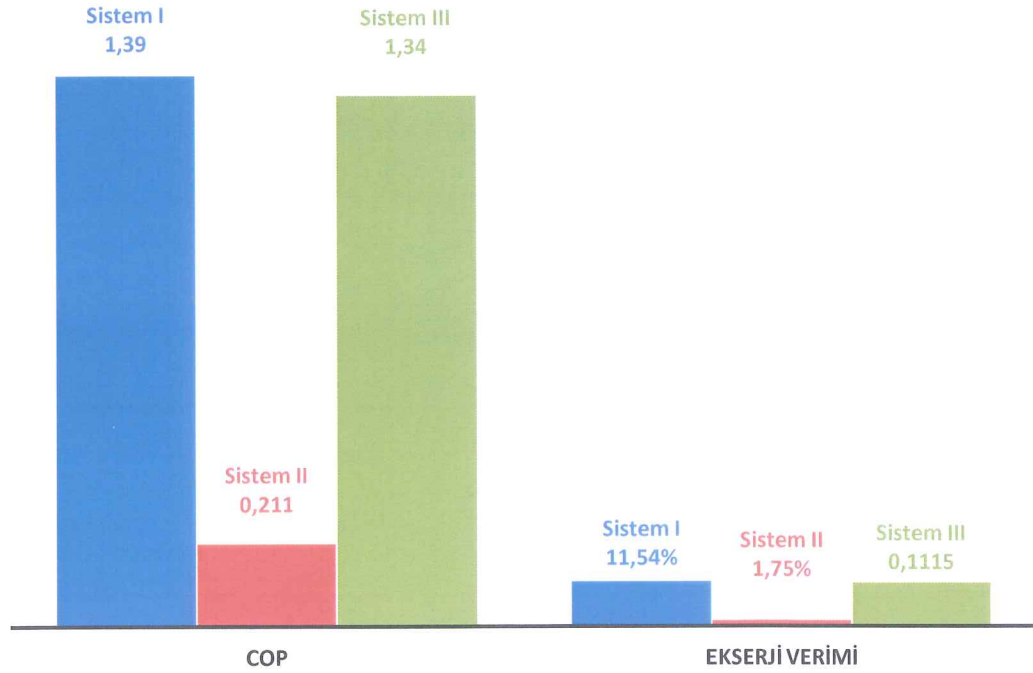


Şekil 5.20. Sistem III maliyet karşılaştırması.

Şekil 5.20 sistem III konfirürasyonlarının maliyet değerlerini Dolar cinsinden vermektedir. Toplam maliyet değeri 1,1 güvenlik faktörüyle çarpılarak \$220000 elde edilmiştir. Konfirürasyonlar içinde en yüksek maliyet üst rezervuar için \$177319 olarak sonuçlandırılmıştır. Bunu sırasıyla elektrolizör PV panel \$13640, motor-pompa \$3381, evaporatör \$3031, kondenser \$1245, türbin-jeneratör \$561,90, inverter \$450, kompresör \$310,70 ve genişleme vanası \$75,48 olarak takip etmektedir. Üst rezervuar maliyeti toplam maliyetin yaklaşık %90' ına tekabül etmektedir. PV panel maliyeti ise toplam maliyetin yaklaşık %7' sine karşılık gelmektedir. Alt rezervuar doğal gölet kabulü ile maliyet düşürülmüştür.

5.4. SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

5.4.1. Performans Karşılaştırması



Şekil 5.21. Sistemlerin COP ve ekserji karşılaştırması.

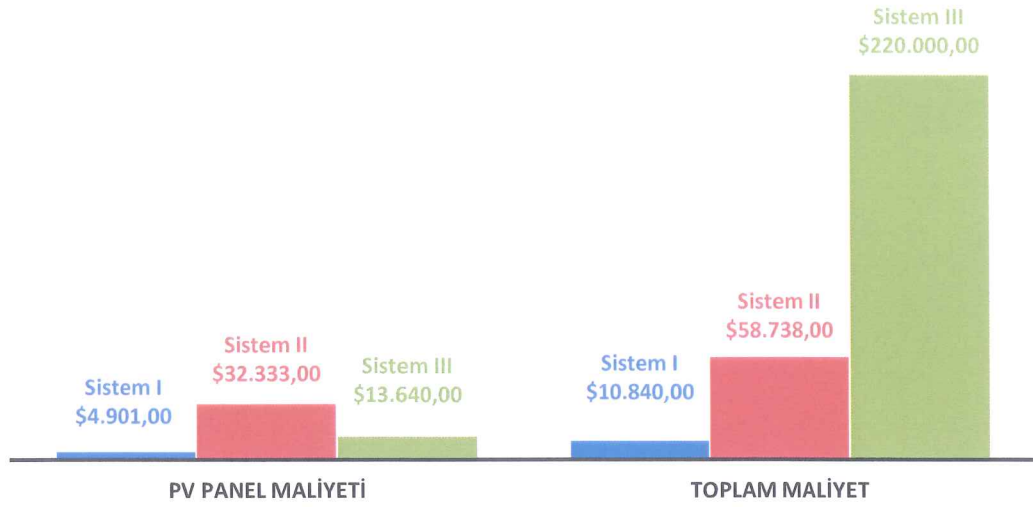
Şekil 5.21' de üç sistem için performans karşılaştırması yapılmıştır. sistem I, sistem II ve sistem III için COP değerleri 1,39, 0,211 ve 1,34; ekserji verim değerleri %11,54, %1,75 ve %11,15 olduğu görülmektedir.

5.4.2. Maliyet Karşılaştırması

Her üç sistem komponentlerinin dolar cinsinden maliyet değerlerinin verildiği Çizelge 5.7' de en yüksek maliyeti üst rezervuar 177319\$ olarak vermektedir. Soğutucu sistem herbir sistem için aynı maliyet değerine sahip olmakla birlikte toplamda 4662,18 \$'dır. Sistem I ve sistem II için 2300 W'lık inverter maliyeti 290 \$, sistem III için ise 3500 W'lık inverter maliyeti 450 \$'dır. PV panel maliyetleri herbir sistem için sırasıyla 4901 \$, 32333 \$ ve 13640 \$'dır. Sistem I için toplam maliyet 1,1 güvenlik faktörü etkisiyle 10840 \$ olmaktadır. Elektrolizör maliyetinin 10462 \$, yakıt pili maliyetinin 5052 \$, tank maliyetinin 599 \$ olduğu sistem II komponentlerinin toplam maliyeti ise 1,1 güvenlik faktörü etkisiyle 58738 \$ olmaktadır. Pompa maliyetinin 3381 \$, türbin maliyetinin 561,90 \$ olduğu sistem III komponentlerinin toplam maliyeti 1,1 güvenlik faktörü ile yaklaşık 220000 \$ olmaktadır.

Çizelge 5.7. Sistem bileşenleri ve toplam maliyet.

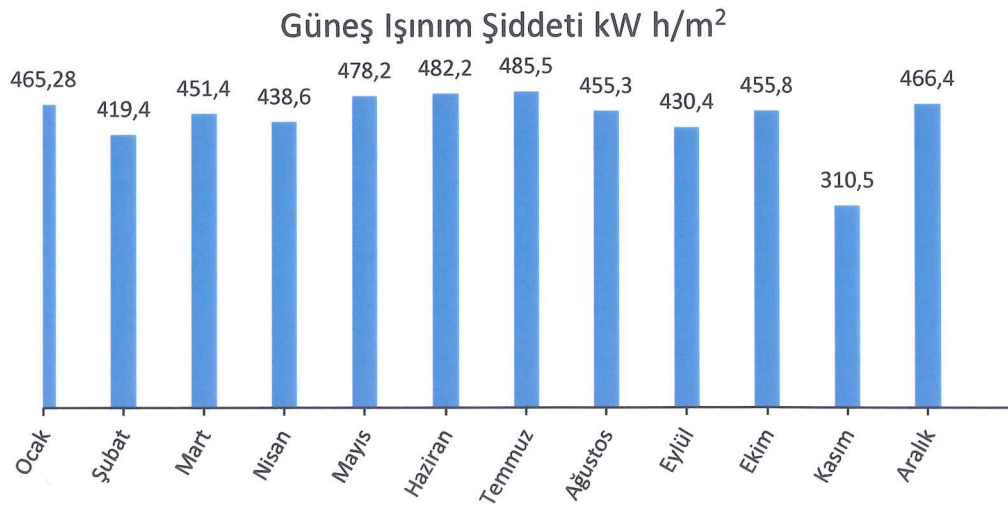
Komponent	Maliyet
Kompresör	310,70 \$
Kondenser	1245,00 \$
Genleşme Vanası	75,48 \$
Evaporatör	3031,00 \$
Elektrolizör	10462,00 \$
Yakıt Hücresi	5052,00 \$
Tank	599,00 \$
İnverter (2300 W)	290 \$
İnverter (3500 W)	450 \$
Motor-Pompa	3381,00\$
Türbin-Jeneratör	561,90\$
Üst Rezervuar	177319,00\$
PV Panel (Sistem I)	4901,00 \$
PV Panel (Sistem II)	32333,00 \$
PV Panel (Sistem III)	13640,00\$
Toplam Maliyet (Sistem I)	10840,00 \$
Toplam Maliyet (Sistem II)	58738,00 \$
Toplam Maliyet (Sistem III)	220000,00\$



Şekil 5.22. Sistemlerin PV panel ve toplam maliyetlerinin karşılaştırılması.

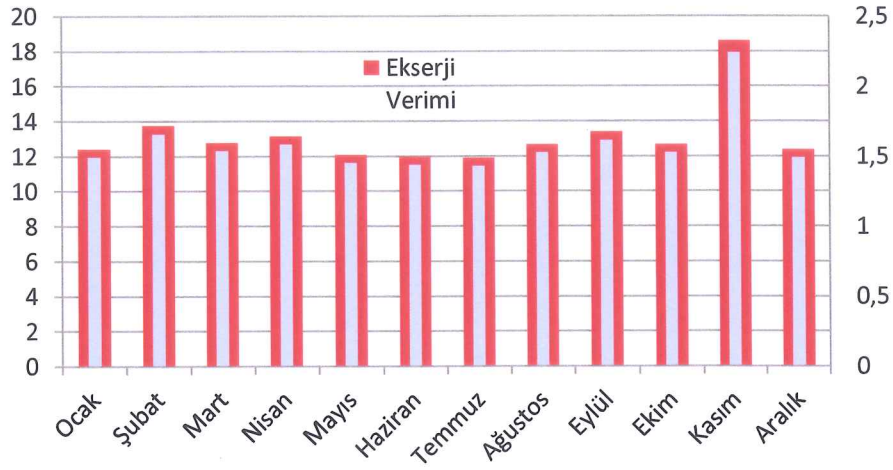
Sistemler içerisinde en düşük maliyet, sadece 10 saatlik güneşlenme süresince çalıştığı kabul edilen sistem I için 10840 \$ olarak bulunmuştur. Sistem II ve sistem III tüm gün çalışması kabulü ile maliyetleri sistem I' e göre yüksektir. Sistem II için toplam maliyet 58738 \$ iken bu değer sistem III için 220000 \$' ı bulmaktadır (Şekil 5.22).

5.5. HALEP KENTİ ÖRNEK ÇALIŞMA



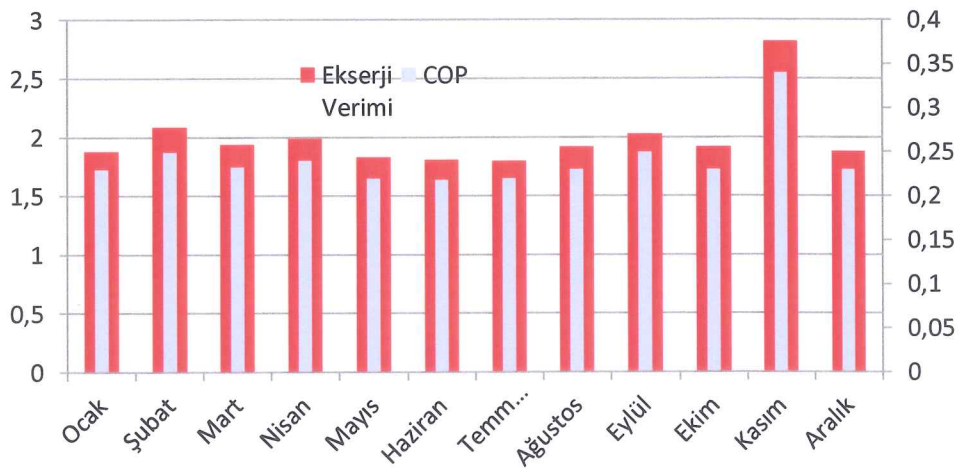
Şekil 5.23. Halep kenti için aylara göre yıllık güneş ışı nım şiddeti (Skeiker, 2009).

Şekil 5.23' de Halep kentinin yıllık güneş ışınımı değerleri aylara göre verilmiştir (Skeiker, 2009). En yüksek ışınım Temmuz ayında olmakla birlikte 485 kW h/m² değerindedir. En az ışınım Kasım ayında 310,5 kW h/m² değerinde görülmektedir. Bunun nedeni olarak, kış aylarında daha az süre güneşlenme olmasının yanında, havanın kapalı veya yağışlı olmasıdır.



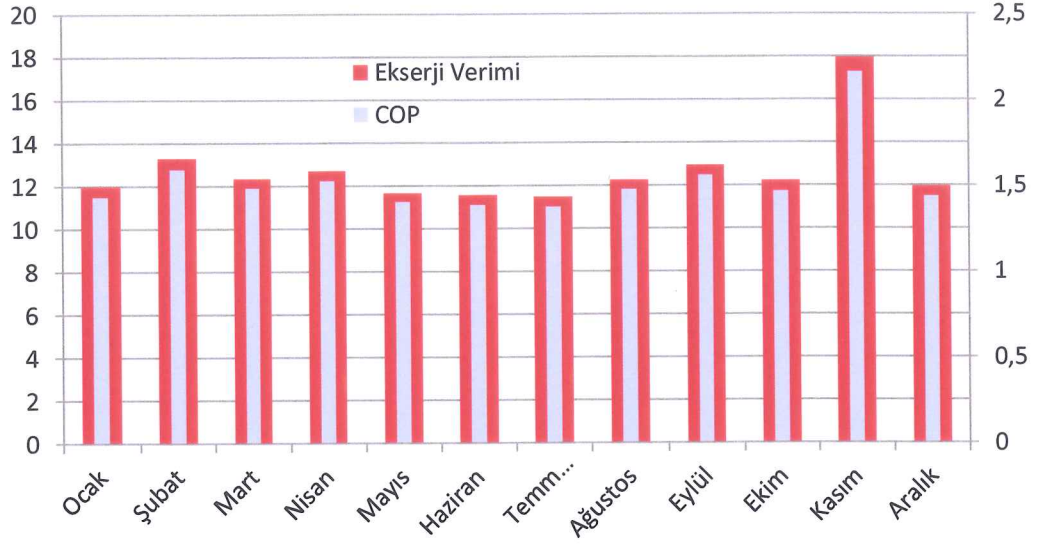
Şekil 5.24. Güneş ışınımına göre Halep kenti için sistem I COP ve ekserji verimi.

Aylara göre COP ve ekserji veriminin sistem I için verildiği Şekil 5.24' de Kasım ayı güneş ışınım değeri en düşük olması nedeniyle COP ve ekserji değerleri yüksektir. Sırasıyla bu değerler 2,241 ve %18,6' dır. Güneş ışınımı en yüksek ay ise Temmuz olmakla birlikte COP ve ekserji verimi değerleri sırasıyla 1,433 ve %11,89' dur.



Şekil 5.25. Güneş ışınımına göre Halep kenti için sistem II COP ve ekserji verimi.

COP ve ekserji veriminin aylara göre sistem II için verildiği Şekil 5.25' de Kasım ayı COP ve ekserji değerleri sırasıyla 0,34 ve %2,82' dir. Temmuz ayı COP ve ekserji verimi değerleri ise sırasıyla 0,22 ve %1,8' dir.



Şekil 5.26. Güneş ışınımına göre Halep kenti için sistem III COP ve ekserji verimi.

sistem III için COP ve ekserji veriminin aylara göre verildiği Şekil 5.26' da Kasım ayı COP ve ekserji değerleri sırasıyla 2,16 ve %17,95' dir. Temmuz ayı COP ve ekserji verimi değerleri ise sırasıyla 1,38 ve %11,48' dir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, acil durum bölgelerinde elektrik şebekesinin olmadığı hallerde bir soğuk hava deposunun +2 ile +8 °C aralığında çalıştırılıp enerji ihtiyacının PV panel kullanarak off grid karşılanması için üç farklı sistem modellemesi EES yazılım programı yardımıyla yapılmıştır. Sistem I' de sadece güneşlenme süresi boyunca gün ışığından yararlanarak enerji ihtiyacının karşılanması için PV panel alanı modellenmiştir. Sistem II. ve III' te ise gün ışığı olmadığı durumlarda da enerji ihtiyacının güneşlenme süresi boyunca karşılanması için PV panel alanı modellenmiştir. Sistem I' de PV panel de elde edilen DC akım inverter yardımıyla AC akıma dönüştürülerek soğutucudaki kompresöre etki etmektedir. Sistem II' de gece boyunca kompresör için gerekli enerji, gün içinde PV panellerde elde edilen elektriğin elektroliz yöntemiyle hidrojene dönüştürülerek depo edilip ihtiyaç halinde yakıt pilinden karşılanmaktadır. Sistem III' te gece boyunca kompresör için gerekli enerji, gün içinde PV panellerde elde edilen enerjinin pompada kullanılarak hidro depolanması sonrası ihtiyaç halinde türbin jeneratör yardımıyla sağlanmaktadır. Her bir sistem için ekserji verimi ve COP değerleri kıyaslanarak, toplam maliyetler hesaplanmıştır. Son olarak sistemlerin Halep kenti için örnek modellemesi yapılan bu çalışma sonucunda;

- Soğutucu akışkan türleri yönünden en uygun performansı R152a verdiği R134a ve R600a türlerinin bunu takip ettiği görülmüştür.
- Güneş ışınım şiddetinin fazla olması PV ekserji verimini dolayısıyla sistem verimini azalttığı görülmüştür. Ayrıca sistem ekserji yıkımını arttırmaktadır.
- Soğutucu ünite de basınç oranındaki artış kompresör çalışma gücünü artırması nedeniyle gerekli PV alanı ve dolayısıyla maliyet de artmaktadır. Ayrıca sistem verimini de düşürmektedir.

- Açık devre gerilimi ne kadar yüksek olursa PV verimi de o kadar iyi sonuç vermektedir.
- Soğutma sıcaklığına uygun evaporatör sıcaklığı seçilmesi, sistemlerin ekserji verimini etkilemektedir. Evaporatör sıcaklık değerindeki artış sistemlerin ekserji verimini düşürmektedir.
- Referans sıcaklık değeri yükseldikçe sistemlerin verimini arttırmasına rağmen ekserji yıkımını da arttırmaktadır.
- Yakıt pili çalışma sıcaklığının yüksek oluşu elektrolizör ekserji verimini düşürmesine ve hidrojen depolama için gerekli tank hacmini arttırmasına rağmen, elektrolizör güç ihtiyacını azaltmaktadır.
- Yakıt pilinde yakıt kullanım oranının artması, yakıt pili verimini arttırmakta ve hidrojen depolaması için tank hacmini azaltmaktadır.
- Akım yoğunluğu değerinin yüksek olması potansiyel kayıpları da arttırmaktadır.
- Üst rezervuarın yüksekliği gerekli pompa enerjisini arttırması nedeniyle toplam depolama verimini düşürmüş, gerekli PV panel alanını arttırmıştır.. Buna rağmen gerekli potansiyel enerjiyi elde etmek için tank hacmi azalmıştır.
- Sistemlerin performans karşılaştırması yapılarak ekserji verimleri sırasıyla %11,54, %1,75 ve %11,15 olarak, COP verimleri ise sırasıyla 1,39, 0,211 ve 1,34 olarak bulunmuştur.
- Her bir sistem için gerekli PV alanı sırasıyla 15m², 104,5 m² ve 44 m² olarak bulunmuştur.
- PV panel maliyeti sistem I ve sistem II için toplam maliyetin sırasıyla %50 ve %60' ını oluşturmaktadır. Sistem III' te alt rezervuar doğal gölet olarak kabul

edilmesine rağmen, en yüksek maliyet üst rezervuar için 177319 \$ olup toplam maliyetin %90' ını oluşturmaktadır.

- Maliyet değeri en fazla sistem III için olup, sistem I için maliyet 10840 \$, sistem II için 58738 \$ ve sistem III için 220000 \$ hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

Abdin, Z., Webb, C., and Gray, E. M., "Solar hydrogen hybrid energy systems for off-grid electricity supply: A critical review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52: 1791-1808 (2015).

Açıkgoz, H., Akyavuz, Ü. D., ve Yücel, N., "Kilis ilinin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli bakımından değerlendirilmesi", *1. Uluslararası Mühendislik Mimamarlık ve Tasarım Kongresi*, Kocaeli, 63-64 (2015).

Ahmadi, P., "Modeling, analysis and optimization of integrated energy systems for multigeneration purposes", Doctoral dissertation, *Faculty of Engineering and Applied Science, UOIT* (2013).

Akdemir, Ö., ve Güngör, A. "Absorpsiyonlu soğutma sistemleri; verimlerini arttırmak için geliştirilen çevrimler", *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 99-112 (2001).

Akdoğan, A. "Bir soğutma sistemindeki kondenser kapasitesinin değiştirilmesinin enerji ve ekserji analizleri ile incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*, Zonguldak (2007).

Akyol, T. "Binaların ısı yalıtımında enerji ve ekserji analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir (2006).

Alpuche, M. G., Heard, C., Best, R., and Rojas, J. "Exergy analysis of air cooling systems in buildings in hot humid climates" *Applied Thermal Engineering*, 25 (4): 507-517. (2005).

Arcaklıoğlu, E. "R12, R22 ve R502 soğutucu akışkanları ve alternatif karışımlarının soğutma sistemlerindeki termodinamik analizi", Doktora Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (2002).

Aris, A. M., and Bahman, S. "Sustainable power supply solutions for off-grid base stations" *Energies*, 8 (10): 10904-10941 (2015).

Arpacı, İ. "Doğalgazlı kojenerasyon sistemlerinde ekserji analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2002).

Ay, M., Midilli, A., and Dinçer, İ., "Exergetic performance analysis of a PEM fuel cell", *International journal of energy research*, 30 (5): 307-321 (2006).

Aydın, M., "Afet sonrasında yönelik planlama çalışmaları: İzmir örneği", *TMMOB İzmir Kent Sempozyumu*, 116-130 (2009).

Bayboz, B., Yalçın, E., ve Savaş, S., “Soğuk depoculukta alışlagelen yöntemler uygulanmayan doğrular ve kalite”, *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, (2003).

Beitelmal, A. H., and Fabris, D. “Off-the grid solar-powered portable desalination system” *Applied Thermal Engineering*, 85: 172-178 (2015).

Bozoğlan, E., “Bir zeytinyağı rafinerasyon tesisinin enerji ve ekserji analiz yöntemleri kullanılarak performansının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (2008).

Buğdaycı, R., Şaşmaz, T., ve Kurt, A. Ö.. “Soğuk zincir donanım ve yönetimi”. *MİSED* 9: 45-55 (2004).

Chauhan, A., and Saini, R. P.. “Renewable energy based off-grid rural electrification in Uttarakhand state of India: Technology options, modelling method, barriers and recommendations”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 662-681 (2015).

Chengqin, R., Nianping, L., and Guangfa, T. “Principles of exergy analysis in HVAC and evaluation of evaporative cooling schemes”, *Building and environment*, 37 (11): 1045-1055 (2002).

Chowdhury, S. A., and Monjur, M.. “Off-grid electrification with solar home systems: An appraisal of the quality of components” *Renewable Energy*, 97: 585-598 (2016).

Çetinkaya, M., ve Karaosmanoğlu, F., “Yakıt Pilleri” *Tesisat Mühendisliği* , 75: 18-30 (2003).

Derbentli, T., “İklimlendirme sistemlerinde ekserji çözümlemesi”, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 1895-1898, İzmir (2011).

Dincer, İ., and Zamfirescu, C., “Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE” *Int. J. Hydrogen Energy*, 37: 16266–16268 (2012).

Diñçer, İ., “The role of exergy in energy policy making”, *Energy policy*, 30 (2): 137-149 (2002).

Diñçer, İ., and Zamfirescu, C., “Advanced power generation systems”, *Academic Press*. (2014).

Dirican, M., “Toplum Hekimliği (Halk Sağlığı) Dersleri”, *Hatiboğlu Yayınevi* Ankara (1990).

Ehyaei, M. A., Ahmadi, P., Atabi, F., Heibati, M. R., and Khorshidvand, M., “Feasibility study of applying internal combustion engines in residential buildings by exergy, economic and environmental analysis”, *Energy and Buildings*, 55: 405-413 (2012).

El Chaar, L., and El Zein, N., "Review of photovoltaic technologies" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (5): 2165-2175 (2011).

El-Sayed, Y., and Gaggioli, R., "A critical review of second law costing methods: Parts I and II" *Journal of Energy Resources Technology*, 111 (1-2): 1-15 (1989).

Erduranlı, P., "Enerji santralına ekserji analizinin uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak (1997).

Ergün, A., "80.000 m²' lik ısıtma soğutma ihtiyacı olan bir alışveriş merkezinin enerji ve ekserji analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).

Ergünay, O., "Afete Hazırlık ve Afet Yönetim Raporu", *Türkiye Kızılay Derneği, AFOM*, Ankara (2002).

Erkal, T., ve Değerliyurt, M., "Türkiye'de afet yönetimi". *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14 (22): 147-164 (2009).

Eryener, D., "Türbülanslı cebri konveksiyonla ısı geçişi sağlayan ısı sistemlerinin ekserji ekonomik analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2003).

Franconi, E. M., and Brandemuehl, M. J., "Second law study of HVAC distribution system performance", *ASHRAE Transactions*, 105: 1237-1245 (1999).

Gomri, R., and Hakimi, R., "Second law analysis of double effect vapour absorption cooler system", *Energy conversion and management*, 49 (11): 3343-3348 (2008).

Green, M., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., and Dunlop, E., "Solar cell efficiency tables (version 39)", *Research and Applications*, 20 (1): 12-20 (2012).

İnternet: AFAD, "Planlar", https://www.afad.gov.tr/UserFiles/File/PLANLAR/Afet_Mud_PI_ResmiG%2020122013.pdf (2016).

İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Dünya ve ülkemiz tabii kaynaklar görünümü", http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_12/Sayi_12.html#p=1 (2016).

İnternet: Landmark, "Water Storage", http://www.teamlandmark.com/water_storage/composite_elevated_tank/cost_advantage (2016).

İnternet: Nasa, "Climate and Earth's Energy Budget", <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page1.php> (2016).

İnternet: Tekno Tasarım, "Hidroelektrik Enerji ve Türbinler", <http://www.teknotasarim.com> (2016)

İnternet: Voltage Converters, “Inverters”,
http://www.voltageconverters.com/220_volt_power_inverters.html (2016).

İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Güneş Pilleri”,
<http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunespv.html> (2016).

Jäger-Waldau, A., “PV Status Report 2014” *European Union* (2014).

Kanoglu, M., Dincer, İ., and Rosen, M. A., “Exergy analysis of psychrometric processes for HVAC&R applications, *Ashrae Transaction*, 113 (2): 172-180 (2007).

Kantarman, A., “Soğuk depoculuk ve soğutma” *Makine Mühendisleri Odası, Klima Havalandırma Komisyonu*, Ankara (2003).

Khaljani, M., Saray, R. K., and Bahlouli, K., “Comprehensive analysis of energy, exergy and exergo-economic of cogeneration of heat and power in a combined gas turbine and organic Rankine cycle”, *Energy Conversion and Management*, 97: 154-165 (2015).

Koç, E., ve Şenel, M. C., “Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme”, *Mühendis ve Makina*, 54 (639): 32-44 (2013).

Kotas, T. J., “The exergy method of thermal plant analysis”, *Anchor Brendon Ltd.* (1985).

Kulaksız, A. A., “Maksimum güç noktalı izleyicili ve UVM inverterli fotovoltaik sistemin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2007).

Li, Y. Q., Yang, M. M., Zhao, L., and Wang, F. J., “Advanced Materials Research: The research of wind-light complementary based on pumped storage power system” *Trans Tech Publications*, 354: 1132-1136 (2012).

Ma, T., Yang, H., Lu, L., and Peng, J., “Technical feasibility study on a standalone hybrid solar-wind system with pumped hydro storage for a remote island in Hong Kong”, *Renewable energy*, 69: 7-15 (2014a).

Ma, T., Yang, H., Lu, L., and Peng, J., “An optimization sizing model for solar photovoltaic power generation system with pumped storage”, *Energy Procedia*, 61: 5-8 (2014b).

Ma, T., Yang, H., Lu, L., and Peng, J., “Pumped storage-based standalone photovoltaic power generation system: modeling and techno-economic optimization” *Applied energy*, 137: 649-659 (2015).

Marletta, L., “Air conditioning systems from a 2nd law perspective”, *Entropy*, 859-877 (2010).

McCann, M. J., Catchpole, K. R., Weber, K. J., and Blakers, A. W., "A review of thin-film crystalline silicon for solar cell applications. Part 1: Native substrates" *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 68 (2): 135-171 (2001).

Moran, M. J., "Availability analysis: a guide to efficient energy use" *Prentice Hall* (1982).

Mróz, T. M., and Dutka, A., "Exergy-economic evaluation of heat recovery device in mechanical ventilation system" *Energy and Buildings*, 86: 296-304 (2015).

Nami, H., Mohammadkhani, F., and Faramarz, R., "Utilization of waste heat from GTMHR for hydrogen generation via combination of organic Rankine cycles and PEM electrolysis", *Energy Conversion and Management*, 127: 589-598 (2016).

Nayak, P. K., Garcia-Belmonte, G., Kahn, A., Bisquert, J., and Cahen, D., "Photovoltaic efficiency limits and material disorder" *Energy & Environmental Science*, 5(3): 6022-6039 (2012).

Nayar, C. V., İslam, S. M., Dehbonei, H., Tan, K., and Sharma, H., "Pover Electronics Handbook" *Academic Press*, USA (2001).

Nurveren, K., "Exergy analysis of evaporator systems of bor sugar plant", Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, Niğde (2001).

Oymak, M., "Isıl sistem tasarımlarında ekonomik yalıtım kalınlıklarının ekserji ekonomik yöntemle belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2007).

Önal, A. S., "Düşük sıcaklıklı atık akışkan destekli güç üretim sistemlerinin optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa (2011).

Özarslan, A., "Yenilenebilir enerji kaynakları için büyük ölçekli enerji depolama yöntemleri", *Türkiye 12. Enerji Kongresi* (2012).

Özbek, S., "Genel Meyvecilik", Ders Kitabı, *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, Adana (1987).

Özcan, H., "Alternatif soğutucu akışkanların performanslarının ekserji yöntemi ile belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2011).

Özden, E., Tari, İ., "Energy-exergy and economic analyses of a hybrid solar-hydrogen renewable energy sytem in Ankara, Turkey", *Applied Thermal Engineering*, 99:169-178 (2016).

Özey, R., "Afetler Coğrafyası", *Aktif Yayınevi*, İstanbul (2006).

- Özgener, L. ve Hepbaşı, A., "HVAC sistemlerinde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulamaları", *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi* (2003).
- Özgirgin, E., Devrim, Y., and Albostan, A., "Modeling and simulation of a hybrid photovoltaic (PV) module-electrolyzer-PEM fuel cell system for micro-cogeneration applications", *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(44): 15336-15342 (2015).
- Patel, M. R., "Wind and solar power systems: design, analysis, and operation second edition", *CRC press*, New York (2005).
- Perez Galindo, J. A., and Payan Rodriguez, L. A. "Thermodynamic properties for humid air an engineering correlation", *Ashrae Transaction*, 114(1): 404-410 (2008).
- Pérez, L. L., Ortiz, J., Coronel, J. F., and Maestre, I. R., "A review of HVAC systems requirements in building energy regulations", *Energy and Buildings*, 43(2): 255-268 (2011).
- Pouria, A., Dinçer, İ., and Rosen, M. A., "Transient thermal performance assessment of a hybrid solar-fuel cell system in Toronto, Canada", *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(24): 7846-7854 (2015).
- Pu, J., Guilian, L., and Xiao, F., "Application of the cumulative exergy approach to different air conditioning systems", *Energy and Buildings*, 1999-2004 (2010).
- Radovic, L., and Schobert, H. H., "Energy and Fuels In Society", *McGraw Hill* (1997).
- Gomri, R., and Hakimi, R., "Second law analysis of double effect vapour absorption cooler system", *Energy conversion and management*, 49(11): 3343-3348 (2008).
- Risser, V., and Post, H., "Stand-alone photovoltaic systems: A handbook of recommended design practices", *Sandia PV Design Assistance Center*. Albuquerque, New Mexico (1988).
- Roegen, N. G. "The law of entropy and the economic process" (1971).
- Rosen, M. A., "Exergy and economics: Is exergy profitable? *Exergy An International Journal*, 2(4): 218-220 (2002).
- Sakulpipatsin, P., Itard, L. C., J., V. d., Boelman, E. C., and Luscuere, P. G., "An exergy application for analysis of buildings and HVAC systems", *Energy and Buildings*, 42(1): 90-99 (2010).
- Savaş, S., "Soğuk depoculuk ve soğutma sistemlerine giriş", *Uludağ Üniversitesi, Bursa* (1987).
- Savaş, S., "Soğuk depoculuk ve örnek proje çalışmaları", *Balıkesir* (2002).

Schoppe, C., "Wind and pumped-hydro power storage: Determining optimal commitment policies with knowledge gradient non-parametric estimation", *Princeton University* (2010).

Skeiker, K., "Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria", *Energy Conversion and Management*, 50(9): 2439-2448 (2009).

Sontake, V. C. and Kalamkar, V. R., "Solar photovoltaic water pumping system-A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 1038-1067 (2016).

Sukhatme, S. P., and Nayak, J. K., "Solar Energy Principles of thermal collection and storage", *Tata McGraw Hill Publishing company*, New Delhi (2008).

Şahin, C., ve Sipahioğlu, Ş., "Doğal afetler ve Türkiye", *Gündüz Eğitim ve Yayıncılık*, Ankara (2002).

Tao, M., Chengzhi, L., Lin, L., and Hongxing, Y., "Study on stand-alone hybrid solar pumped storage systems", *11th International conference on sustainable energy technologies*, Vancouver, Canada (2012).

Tozer, R., Valero, A., and Lozano, M. A., "Thermoeconomics applied to HVAC systems", *ASHRAE Transactions*, 105: 1247-1255 (1999).

Tsai, H.-L., Tu, C.-S., and Su, Y.-J., "Development of generalized photovoltaic model using MATLAB/SIMULINK" *Proceedings of the world congress on Engineering and computer science*, 1-6, San Francisco (2008).

Tsatsaronis, G., "A review of exergoeconomic methodologies" *Second law analysis of thermal systems* 81-87 (1987).

Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Rahim, N. A., Jeyraj, A., and Selvaraj, L., "Progress in solar PV technology: research and achievement", *Energy Reviews*, 20: 443-461 (2013).

Wei, Z., and Zmeureanu, R., "Exergy analysis of variable air volume systems for an office building", *Energy conversion and management*, 50(2): 387-392 (2009).

Wepfer, W. J., Gaggioli, R. A., and Obert, E. F., "Proper evaluation of available energy for HVAC", *Ashrae Transactions*, 214-230 (1979).

WHO, "Training for mid-level managers: Manage the cold chain", *WHO Expanded Programme on Immunization*, Geneva (1993).

Yang, L., Zmeureanu, R., and Rivard, H., "Comparison of environmental impacts of two residential heating systems", *Building and Environment*, 43(6): 1072-1081 (2008).

Yeşilata, B., ve Demir, F., “Fotovoltaik ve yakıt pili birleşik sisteminin analizi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 26(1): 37-44 (2006).

Yılmaz, C., “Thermoeconomic modeling and optimization of a hydrogen production system using geothermal energy”, *Geothermics*, 65: 32-43 (2017).

Yılmaz, H. E., “Fotovoltaik sistemlerde kullanılan yumuşak anahtarlamalı bir inverter devresinin gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Ümit Deniz AKYAVUZ 1980 yılında Karabük' te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü' nde öğrenimine başlayıp 2007 yılında mezun oldu. Aynı yıl bir otogaz firmasında uzman mühendis olarak göreve başladı. 2008 yılında bir doğalgaz firmasında uzman mühendis olarak bir yıl görev yaptıktan sonra kendi mühendislik firmasını kurdu. 2010 yılının sonlarında Kilis 7 Aralık Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü' nde öğretim görevlisi olarak başladığı göreve halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kilis 7 Aralık Üniversitesi,
Kilis MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü
Merkez / KİLİS

Tel : (539) 696 8737

E-posta : ud.akyavuz@gmail.com

Web : www.akyavuz.com