

**RÜZGAR TÜRBİNİ VE GÜNEŞ PİLİNDEN OLUŞAN BİR GÜÇ ÜRETİM
SİSTEMİNİN TASARIMI VE KONTROLÜ**

Melike ESEN

**Yüksek Lisans Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR
TEMMUZ-2016**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGAR TÜRBİNİ VE GÜNEŞ PİLİNDEN OLUŞAN BİR GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNİN
TASARIMI VE KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike ESEN

112113105

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Temmuz 2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Temmuz 2016

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet CEBECİ (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZTÜRK (B.Ü)

TEMMUZ-2016

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasını yürüten ve tezin hazırlanma aşamasında bilgi birikimi, tecrübesini ve yardımlarını eksik etmeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte değerli fikirlerini, bilgi birikimini ve yardımını esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç. Dr. Ahmet ORHAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli deneyim ve bilgilerini bana aktaran, kıymetli vakitlerini ayıran değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Sencer Ünal'a, Yrd. Doç. Dr. M. Temel ÖZDEMİR'e, Yrd. Doç. Dr. Gökay BAYRAK'a ve Yrd. Doç. Dr. Zehra URAL BAYRAK'a değerli katkıları için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli zamanlarını, bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Musab COŞKUN'a, Arş. Gör. F. Rumeysa KÜLEKÇİOĞLU'na, Elektrik-Elektronik Müh. Ozan ÇAKMAK'a ve Gökhan GÜNGÖR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca FÜBAP-MF.14.11 numaralı proje dahilinde yaptığı desteklerden dolayı Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne teşekkür ederim.

Son olarak, bütün hayatım boyunca her koşulda arkamda duran ve zorlukları aşma gücü veren sevgili aileme destek ve sevgileri için sonsuz şükranlarımı sunarım.

Melike ESEN

Elazığ-2016

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ	XV
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti.....	2
1.2. Tezin İçeriği.....	10
2.RÜZGAR ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ.....	12
2.1 Giriş	12
2.2 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	12
2.2.1 Eksenlerine Göre Rüzgar Türbinleri	13
2.2.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	13
2.2.1.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	14
2.2.2. Çalışma Şekillerine Göre Rüzgar Türbinleri	15
2.2.2.1. Sabit Hızlı Rüzgar Türbinleri	15
2.2.2.2. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri	15
2.3 Rüzgar Türbininin Bileşenleri	17
2.4. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler.....	18
2.4.1. Senkron Generatörler.....	19
2.4.2. Asenkron Generatörler	19
2.4.3. Doğru Akım Generatörleri.....	20
2.5. Rüzgar Türbininden Elde Edilen Mekanik Güç	20
3.GÜNEŞ ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ	22
3.1. Fotovoltaik Elektrik Üretimi ve Güneş Hücrelerinin Çalışma İlkesi	22
3.2. Bir Güneş Hücresinin Eşdeğer Devresi	24

3.3. Güneş Enerjisi Dönüşüm Sistemi Benzetimi	27
3.3.1. Fotovoltaik Panelin Benzetimi	27
3.3.2. DA-DA Düşüren Konverter Benzetimi	32
3.3.2. İnverter Benzetimi	33
4.RÜZGAR ENERJİSİ VE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN OLUŞAN GÜÇ SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	34
4.1. Güneş Enerjisi Dönüşüm Sistemi	34
4.2. Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemi.....	35
4.3. Güneş Pili ve Rüzgar Türbininden Oluşan Güç Sistemi	39
4.3.1. Deneysel Çalışma	40
4.3.2. Benzetim Çalışması	51
5.DENEYSEL SONUÇLARIN VE BENZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	52
5.1. Deneysel Sonuçlar	52
5.1.1. Durum-1 ve Durum-2	52
5.1.2. Durum -3 ve Durum-4	57
5.1.3. Durum-5	62
5.1.4. Durum-6	67
5.1.5. Durum-7	73
5.2. Benzetim Sonuçları	77
5.2.1. Durum-1 ve Durum-2	78
5.2.2. Durum-3 ve Durum-4	81
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
6.1. Sonuçlar	87
6.2. Öneriler.....	87
KAYNAKLAR.....	89
EKLER	94
Ek 1. DSP-160 Fotovoltaik Panel.....	94
Ek 2.SD-200B-12 DA-DA Konverter (Meanwell).....	95
Ek 3. Xantrex PROwatt-SW 700i.....	96
Ek 4. FirstPower Kurşun-Ait Akü	97
Ek 5. JPS-200 Rüzgar Türbini.....	99
Ek 6. Arduino Mega 2560	100

Ek 7. Arduino Programı	101
ÖZGEÇMİŞ	107

ÖZET

Bu çalışmada, güneş pili ve rüzgar türbininden oluşan bir güç sisteminin prototipi tasarlanarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde; güneş enerjisinin yeterli olduğu zamanlarda yükün güç ihtiyacı fotovoltaiik panelden karşılanmaktadır. Güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumda ise, yükün enerji ihtiyacı bir rüzgar türbini tarafından beslenen akü vasıtasıyla giderilmektedir. Rüzgar türbini ve fotovoltaiik panelden yeterli gücün sağlanamaması ya da kaynakların yeterli enerjiyi sağlamasına rağmen sistemde kullanılan inverterden herhangi bir sebeple çıkış gerilimi elde edilememesi durumunda ise yükün enerji ihtiyacı şebekeden karşılanmaktadır. Fotovoltaiik panele, aküye ve yüke ilişkin akım ve gerilim değerleri ölçüm kartları vasıtasıyla anlık olarak ölçülmektedir. Gerçekleştirilen sistemin güç yönetimi fotovoltaiik panel geriliminin, akü geriliminin ve inverter çıkış geriliminin ölçülmesi ve ölçülen gerilim değerlerinin Arduino mikro denetleyici tabanlı kontrol sistemi tarafından değerlendirilmesi esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Yüğü besleyecek kaynağın seçimi röleler ile sağlanmıştır.

Ayrıca Matlab-Simulink'te tasarlanan sisteme ilişkin bir benzetim çalışması yapılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak sistemin analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, Güneş Enerjisi, Hibrit Güç Üretim Sistemi, Güç Akışı, Modelleme ve Benzetim.

SUMMARY

Design and Control of a Power System Composed of Wind Turbine and Photovoltaic Array

In this thesis, a prototype of a power system that contains solar cell and wind turbine was designed and implemented. As long as solar energy is sufficient enough, the demand of load is transferred from photovoltaic panel in the implemented system. Unless solar energy is not satisfied, the demand of load is supplied by a battery fed by wind turbine. In case the power supplied by wind turbine and photovoltaic panel do not meet the demand or an output voltage of inverter is not obtained even though the sources supply enough energy, the required energy is provided from the grid. Current and voltage values run on photovoltaic panel, battery and load are measured by measurement boards. Power management of hybrid system was basically carried out by measuring battery voltage and inverter's output voltage and evaluation of those values on Arduino that consists of both a physical programmable circuit board and IDE. Selection of the power supply that provides energy for the load is done by relays.

Additionally, a simulation related to the designed system was created on Matlab-Simulink. An analysis of the system was made by comparing simulation results with experimental results.

Keywords: Wind Energy, Solar Energy, Hybrid Power Production System, Power Flow, Modeling and Simulation

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2. 1. Bir rüzgar türbininde enerji dönüşümü	12
Şekil 2. 2. Yatay eksenli rüzgar türbinleri	13
Şekil 2. 3. Rüzgarı önden ve arkadan alan yatay eksenli rüzgar türbinleri[1].....	14
Şekil 2. 4. Savonious ve Darrieus düşey eksenli rüzgar türbinleri	15
Şekil 2. 5. Değişken hızlı bir rüzgar türbini için hız denetim bölgeleri [4].....	16
Şekil 2. 6. Rüzgar türbini ve bileşenleri	18
Şekil 3. 1. Güneş enerjisinden elektrik üretiminde dolaylı yöntem ve doğrudan yöntem kullanımı.....	22
Şekil 3. 2. Bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı	23
Şekil 3. 3. Güneş pili, fotovoltaik panel, dizi yapıları	24
Şekil 3. 4. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi a)ideal eşdeğer devre b)tek diyot eşdeğer devresi c)çift diyot eşdeğer devresi	25
Şekil 3. 5. Fotovoltaik panelin Simulink benzetimi	27
Şekil 3. 6. Fotovoltaik panel benzetim çalışması foton akımı alt modeli.....	28
Şekil 3. 7. Fotovoltaik panel benzetim çalışması ters saturasyon akımı alt modeli	28
Şekil 3. 8. Fotovoltaik panel benzetim çalışması diyot saturasyon akımı alt modeli.....	29
Şekil 3. 9. Fotovoltaik panel benzetim çalışması panelin çıkış akımı alt modeli.....	29
Şekil 3. 10. Değişken ışınlım, sabit sıcaklık koşullarında panelin akım-gerilim karakteristiği	30
Şekil 3. 11. Değişken ışınlım,sabit sıcaklık koşullarında panelin akım-gerilim karakteristiği	30
Şekil 3. 12. Değişken ışınlım, sabit sıcaklık koşullarında panelin akım-gerilim karakteristiği	31
Şekil 3. 13. Değişken ışınlım, sabit sıcaklık koşullarında panelin güç-gerilim karakteristiği	32
Şekil 3. 14. DA-DA düşüren konverterin benzetimi	33
Şekil 3. 15. İnverter benzetimi	33
Şekil 4. 1. Güneş enerjisi dönüşüm sistemi blok diyagramı.....	34
Şekil 4. 2. Fotovoltaik Paneller	34

Şekil 4. 3. DA-DA Düşüren Konverter	35
Şekil 4. 4. Tek fazlı sinüsoidal inverter	35
Şekil 4. 5. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi blok diyagramı	36
Şekil 4. 6. a)Yapay rüzgarı oluşturan asenkron motor b)Rüzgar türbini ve sürekli mıknatıslı senkron generatör c)Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi	36
Şekil 4. 7. Şarj Regülatörü.....	36
Şekil 4. 8. Kurşun-asit akü	37
Şekil 4. 9. Gerçekleştirilen hibrit sistemin blok diyagramı	40
Şekil 4. 10. Gerçekleştirilen sistem	41
Şekil 4. 11. Akım-gerilim ölçüm devresi	42
Şekil 4. 12. Akım-gerilim ölçüm devresi bağlantı şeması.....	43
Şekil 4. 13. Panel-akü seçim rölesi ve şebeke-inverter seçim rölesi	44
Şekil 4. 14. LCD ekran devresi	45
Şekil 4. 15. Veri kaydedici	45
Şekil 4. 16. Arduino tabanlı mikro denetleyici.....	45
Şekil 4. 17. Gerçekleştirilen sisteme ilişkin devre bağlantı şeması.....	46
Şekil 4. 18. Hibrit sistem kontrol programı akış diyagramı	47
Şekil 4. 19. Farklı çalışma koşulları için LCD ekranda yazdırılan bilgi mesajları a)yükün fotovoltaiik panel tarafından beslendiği durum b)yükün akü tarafından beslendiği durum c)yükün şebeke tarafından beslendiği durum	49
Şekil 4. 20. Hibrit sisteme ilişkin benzetim çalışması.....	51
Şekil 5.1. Fotovoltaiik panel gerilimi-zaman grafiği.....	53
Şekil 5. 2. Akü gerilimi-zaman grafiği	54
Şekil 5. 3.Panel akımı-zaman grafiği	54
Şekil 5. 4. Akü akımı-zaman grafiği	55
Şekil 5. 5. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği.....	55
Şekil 5. 6. Yük gerilimi-zaman grafiği	56
Şekil 5. 7. Yük akımı-zaman grafiği	56
Şekil 5. 8. Fotovoltaiik Panel Gerilimi-Zaman Grafiği	57
Şekil 5. 9. Akü gerilimi-zaman grafiği	58
Şekil 5. 10. Panel akımı-zaman grafiği	59

Şekil 5. 11. Akü akımı-zaman grafiği.....	59
Şekil 5. 12. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği.....	60
Şekil 5. 13. Yük gerilimi-zaman grafiği.....	60
Şekil 5. 14. Yük gerilimi-zaman grafiği (0-0.2 sn aralığı için)	61
Şekil 5. 15. Yük akımı-zaman grafiği.....	61
Şekil 5. 16. Yük akımı-zaman grafiği (0-0.2 sn aralığı için).....	62
Şekil 5. 17. Fotovoltaik Panel Gerilimi-Zaman Grafiği	62
Şekil 5. 18. Akü gerilimi-zaman grafiği	63
Şekil 5. 19. Panel akımı-zaman grafiği	64
Şekil 5. 20. Akü akımı-zaman grafiği.....	65
Şekil 5. 21. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği.....	65
Şekil 5. 22. Yük gerilimi-zaman grafiği.....	66
Şekil 5. 23. Yük akımı-zaman grafiği.....	66
Şekil 5. 24. Fotovoltaik Panel Gerilimi-Zaman Grafiği	68
Şekil 5. 25. Akü gerilimi-zaman grafiği.....	69
Şekil 5. 26. Panel akımı-zaman grafiği	69
Şekil 5. 27. Akü akımı-zaman grafiği.....	70
Şekil 5. 28. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği.....	70
Şekil 5. 29. Yük gerilimi-zaman grafiği.....	71
Şekil 5. 30. Yük gerilimi-zaman grafiği (t=0,2-0,8 sn arası)	71
Şekil 5. 31. Yük akımı-zaman grafiği.....	72
Şekil 5. 32. Yük akımı-zaman grafiği (t=0,2-0,8 sn arası)	72
Şekil 5. 33. Fotovoltaik panel gerilimi-zaman grafiği.....	73
Şekil 5. 34. Akü gerilimi-zaman grafiği.....	74
Şekil 5. 35. Panel akımı-zaman grafiği	74
Şekil 5. 36. Akü akımı-zaman grafiği.....	75
Şekil 5. 37. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği.....	75
Şekil 5. 38. Yük gerilimi-zaman grafiği.....	76

Şekil 5. 39. Yük gerilimi-zaman grafiği ($t=0,3-0,7$ sn arası)	76
Şekil 5. 40. Yük akımı-zaman grafiği.....	77
Şekil 5. 41. Yük akımı-zaman grafiği ($t=0,3-0,7$ sn arası)	77
Şekil 5. 42. Fotovoltaik panel-zaman grafiği	78
Şekil 5. 43. Akü Gerilimi-Zaman Grafiği	78
Şekil 5. 44. Panel akımı-zaman grafiği	79
Şekil 5. 45. Akü akımı-zaman grafiği.....	79
Şekil 5. 46. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği.....	80
Şekil 5. 47. Yük Gerilimi-Zaman Grafiği	80
Şekil 5. 48. Yük akımı-zaman grafiği.....	81
Şekil 5. 49. Panel gerilimi-zaman grafiği.....	81
Şekil 5. 50. Akü gerilimi-zaman grafiği.....	82
Şekil 5. 51. Panel akımı-zaman grafiği	83
Şekil 5. 52. Akü akımı-Zaman Grafiği.....	83
Şekil 5. 53. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği.....	84
Şekil 5. 54. Yük gerilimi-zaman grafiği.....	84
Şekil 5. 55. Yük gerilimi-zaman grafiği ($t=0-0,2$ sn aralığı).....	85
Şekil 5. 56. Yük akımı-zaman grafiği.....	85
Şekil 5. 57. Yük akımı-zaman grafiği ($t=0-0,2$ sn aralığı)	86

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4. 1. Değişken hız kademelerine göre anlık ortalama rüzgar hız değerleri.....	37
Tablo 4. 2. Farklı rüzgar hızları için kalıcı mıknatıslı senkron generatörün çıkış geriliminin genlik ve frekans değerleri	38
Tablo 4. 3. Farklı rüzgar hızları ve yük değerleri için doğrultucunun-şarj regülatörünün akım ve gerilim değerleri.....	38
Tablo 4. 4. Gerçekleştirilen hibrit sistemde olası çalışma durumları için yükü besleyen kaynak, LCD ekrandaki bilgi mesajı ve enerjilenen LED'lerin durumu	50

SEMBOLLER LİSTESİ

C_p	: Güç katsayısı
E_K	: Kinetik enerji
k_m	: Havanın kütle akış oranı
$P_{mekanik}$	: Rüzgar türbininden elde edilen mekanik güç
$P_{rüzgar}$	: Rüzgar gücü
$P_{yoğunluk}$	: Birim alandaki rüzgar gücü
ω_m	: Rotor hızı
V	: Rüzgar hızı
V_o	: Rotoru terk eden rüzgarın hızı
V_i	: Rotora gelen rüzgarın hızı
A	: Kanat alanı
λ	: Kanat uç oranı
ρ	: Hava akımı yoğunluğu
m	: Kütle
R	: Rotor yarıçapı
R_s	: Fotovoltaik hücrenin iç seri direnci
R_{sh}	: Fotovoltaik hücrenin şönt direnci
E_g	: Bant genişliği
V_D	: Diyotun uçları arasındaki potansiyel fark
I_D	: Diyot akımı
V_{pv}	: Fotovoltaik hücre için çıkış gerilimi
V_T	: Termal gerilim değeri
I	: Panel çıkış akımı
I_{sc}	: Kısa devre akımı
I_o	: Modül saturasyon akımı
I_{rs}	: Ters saturasyon akımı
I_{ph}	: Foton akımı
I_{sh}	: R_{sh} direnci akımı

k	: Boltzman Sabiti
A	: İdealite faktörü
q	: Elektron yükü
T	: Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık değeri
T_{cref}	: Referans modül sıcaklığı değeri
G	: Etkin ışıınım değeri
G_{ref}	: Referans ışıınım değeri
ki	: Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı
V_{oc}	: Panelin boшта çalışma gerilimi
N_p	: Paralel hücre sayısı
N_s	: Seri hücre sayısı
D	: Görev Periyodu

KISALTMALAR LİSTESİ

AA	: Alternatif Akım
DA	: Doğru Akım
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takibi
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan dünya nüfusu ve büyüyen küreselleşme olgusu; bilimsel ve teknolojik gelişmeleri ve bu gelişmelere bağlı olarak dünyadaki enerji ihtiyacını sürekli arttırmaktadır. Artan enerji ihtiyacı, elektrik enerjisi üretiminde tükenebilir kaynaklar olan fosil yakıtların kullanımına alternatif olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde elektrik enerjisi üretiminde büyük rol oynayan yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ülkemizde de gün geçtikçe daha önemli bir yere sahip olmaya başladığı görülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının, elektrik enerjisi üretiminde daha çok kullanılması ile birlikte; özellikle enerji üretiminde verimi arttırmaya yönelik çalışmalar artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi üretiminde, sistem performansı çevresel koşullardan ve atmosferik koşullardan etkilendiği için ve süreklilik arz edemediği için özellikle şebekeden bağımsız çalışırken depolama elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak yenilenebilir enerji kullanan elektrik üretim sistemlerinde depolama elemanı olarak kullanılan bataryaların ömürlerinin az olması gibi sebepler yapılan çalışmaların hibrit güç sistemleri üzerine de yoğunlaşmasını sağlamıştır. Birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının bir arada kullanılması ile oluşturulan hibrit güç sistemleri, hem sistemin verimini arttırması, hem de kaynaklardan birinin olmaması veya üretilen enerjinin azalması durumunda diğer kaynakların sistemin enerji talebini karşılayabilmesi nedeni ile elektrik şebeke bağlantısı kurmanın çok masraflı olduğu ya da şebekenin ulaşamadığı kırsal noktalarda tercih edilmektedir. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, yakıt pili teknolojileri, jeotermal enerji ve biyoenerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması ile fosil yakıtların çevreye zararlı etkilerinin azaltılması da hedeflenmektedir.

Hazırlanan çalışmada olduğu gibi, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi kullanılarak oluşturulmuş bir güç üretim sisteminde; kullanılan kaynaklar birbirinden çok farklı çevresel koşullarda daha etkin enerji üretebilmeleri yeteneğiyle adeta birbirleri için tamamlayıcı özellik taşımaktadır. Bu durum yenilenebilir enerji kaynakların süreklilik sağlayamama özelliğini ortadan kaldırmayı hedeflerken, birden fazla kaynağın kullanılması ile sistemin güç akışı kontrolüne yönelik farklı uygulamalara ihtiyaç duymasına ve sistemin daha karmaşık bir yapıya sahip olmasına sebep olabilmektedir.

1.1. Literatür Özeti

Günümüzde güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen enerjisi gibi enerji kaynaklarının bir araya getirildiği hibrit enerji sistemi uygulamaları, hızlı bir şekilde gelişmektedir. Hibrit güç sistemlerinin, günümüzde birçok uygulamaları mevcuttur. Bu sebeple farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada bulunduğu hibrit sistem yapılarının benzetimini ve kontrolünü ele alan birçok çalışma bulunmaktadır. Hibrit enerji sistemlerinde temel problemlerden biri; sisteminin kontrolüdür. Şebeke ve yük arasındaki dinamik etkileşim ve yenilenebilir kaynaklarında kullanılan güç elektroniği elemanları güç kalitesi ve kararlılık konusunda, hibrit sistemde ciddi problemlere neden olabilir. Bu sebeple güç kaynaklarının yük talebini karşılayabilmesi için geleneksel yaklaşımlarla kontrol çeşitli hibrit sistemlerde kullanılmıştır. DA-DA konverter tabanlı güç elektroniği elemanları kullanılarak yapılan kontrol, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi kaynaklarından maksimum enerji elde etmek ve tüm sistemi kontrol etmek için kullanılır. Hibrit enerji sistemlerinin farklı kombinasyonları için farklı kontrol yöntemleri kullanılmıştır.

Demirtaş tarafından yapılan doktora çalışmasında [1], rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi üreten şebeke bağlantılı hibrit bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Uygulaması yapılan rüzgar türbininin tahrik ettiği generatörden elde edilen üç fazlı gerilim doğrultularak DA gerilime dönüştürülmüştür. Bir güneş takip sistemi ile açı ve konumu kontrol edilebilen fotovoltaik panel vasıtası ile de DA gerilim üretilmektedir. Her iki kaynaktan elde edilen DA gerilimleri, birer DA-DA yükseltici konverter kullanılarak yükseltilmiştir. Tasarlanan iki konverter de maksimum güç noktası takibi yaparak, sistem verimini yükseltme odaklı çalıştırılmıştır. Konverterler mikro denetleyici tabanlı kontrolör ile birbirine paralel çalışabilmektedir. Elde edilen gerilim DA barada birleştirilerek, sistemde kullanılan aküyü şarj etmek için kullanılmıştır. Sistemde kullanılan ve şebeke bağlantılı olarak çalışabilen inverter ile AA yükleri beslenmektedir ve sistemde üretilen enerjinin talep edilenden fazla olması durumunda ise, üretilen enerji şebekeye aktarılmaktadır. Ayrıca tasarlanan sisteme ait bir benzetim çalışması yapılarak deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Rüzgar türbini-güneş pili kullanılarak elde edilen hibrit güç sistemlerinde sistemin kurulum maliyeti ve boyutlandırılması çalışmaları önemli yer tutar. Bu sebeple 2009 yılında sunulan bir lisansüstü çalışmada [2], rüzgâr-güneş hibrit güç sistemlerinin tasarımı aşamasında doğru boyutlandırma yapılabilmesi ve sistem maliyetlerinin optimum

mertebelere çekilmesi amacıyla bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritma kullanıcı dostu bir ara yüz oluşturularak paket yazılım haline getirilmiştir. Hazırlanan yazılım, mevcut kurulu rüzgâr ve fotovoltaik güç sistem verileri ile karşılaştırılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

Hibrit sistemleri ele alan bir yüksek lisans tezi çalışmasında [3]; rüzgar türbini ve fotovoltaik panelden oluşan hibrit bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemde hem fotovoltaik panele ait akım ve gerilim hem de rüzgar türbininin akım ve gerilimleri, hazırlanan akım-gerilim ölçüm devreleri aracılığıyla anlık olarak elde edilmiştir ve bu değerler bir mikro denetleyici kullanılarak sistem kontrolünde kullanılmıştır. Sistemde depolama elemanı olarak kullanılan akünün hangi kaynaktan beslenerek şarj edileceği, ölçülen akım ve gerilim değerleri esas alınarak belirlenmiştir. Kaynaklar arasında seçim Solid State röleler vasıtasıyla yapılmaktadır.

Bir lisansüstü çalışmada [4]; mikro türbin tarafından tahrik edilen sürekli mıknatıslı senkron generatörden ve rüzgar türbini tahrikiyle enerji üreten kendinden uyartımlı asenkron generatörden elde edilen AA gerilimle yükü besleyen hibrit bir güç sisteminin modellenmesi ve kontrolünü gerçekleştirmiştir.

Diğer bir çalışmada ise [5], hibrit rüzgar-güneş ve hibrit rüzgar-güneş-dizel generatör sistemlerine ait modelleme ve benzetim çalışmaları yapılarak, farklı değişkenlere (rüzgar hızı, sıcaklık vb.) bağlı olarak sonuçlar yorumlanmıştır. Ayrıca genetik algoritma kullanılarak her iki hibrit sistemin optimizasyonu yapılmıştır.

Güneş, rüzgar ve hidroelektrik güç sistemlerinden oluşan hibrit bir sistemin MATLAB/Simulink programında dinamik denklemler kullanılarak modellenmesi yapılan bir çalışmada [6], sistem çıkışında elde edilen üç fazlı AA bara gerilimleri değerlendirilmiştir.

Şebekeden bağımsız rüzgar, güneş ve yakıt pilinden oluşan hibrit güç sisteminin analizini konu alan bir doktora tezi çalışmasında [7], akü grubunun enerji verimliliğine yönelik çeşitli kontrol stratejileri ele alınarak kıyaslanmıştır. Fotovoltaik panel ve rüzgar türbininden üretilen elektrik enerjisi aküde depolanmıştır. Sistemin verimli ve sürekli çalışması için üretilen ve talep edilen anlık güç değerleri ve akünün şarj seviyesi hesaplanarak; sistemin üç farklı kontrol algoritmasına göre çalışması sağlanmıştır. Akü için en uygun çalışma algoritması belirlenmiştir. Bu çalışma ile sistemde kullanılan yedek depolama elemanı olan yakıt pilinin daha az kullanılması ve böylece kullanım ömrünü arttırmak hedeflenmiştir. Sisteme ait benzetim çalışması yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bir başka doktora tezi çalışmasında ise[11], yakıt pili ve güneş pilinden oluşan hibrit bir enerji sisteminin evsel uygulamalar için geliştirilmiş şebekeden bağımsız bir hibrit sisteminin prototipi gerçekleştirilmiştir. Sistemin kontrolü fotovoltaiik panelden sonra kullanılan düşüren konverterin giriş geriliminin ölçümü esas alınarak yapılmıştır. Güneş enerjisinin yeterli olduğu durumda, yükün enerji ihtiyacı fotovoltaiik paneller tarafından karşılanmakta iken; güneş ışığının yetersiz olduğu durumlarda ve gece saatlerinde yakıt pili sistemi devreye girmektedir. Ayrıca tasarlanan sistemin farklı yük değerleri için Matlab-Simulink programında benzetimi yapılmıştır, Elde edilen benzetim sonuçları, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak sistemin yük analizi yapılmıştır.

Başka bir çalışmada [12], Adnan Menderes Söke Meslek Yüksekokulu'na kurulacak hibrit bir sistem tasarlanarak, hibrit sisteme ait elektriksel model MATLAB/Simulink programında hazırlanmıştır ve fotovoltaiik panel sisteminin kurulumu yapılmıştır. Kurulacak olan rüzgar türbininin amortisman süresi hesaplanarak yapılan yatırımın ekonomik ve elektriksel sonuçları değerlendirilmiştir.

Ayrıca, başka bir çalışmada [13], İzmir'de batarya yedekli güneş-rüzgar hibrit enerji sisteminin uygulanabilirliğini araştırılmıştır. Sistemi boyutlandırmak için HOMER yazılımını kullanarak; rüzgar hızı, güneş ışınlımı ve sıcaklık verilerine göre boyutlandırılan sistemin duyarlılık analizi yapılmıştır.

Hibrit güç sistemlerinde, güç akışı yönetiminin ele alındığı başka bir çalışmada [16], yükü beslemek için rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve şebeke bir arada kullanılmıştır. Sistemin kontrolü fotovoltaiik sistem ve rüzgar türbininden elde edilen güce ve yük ihtiyacına göre belirlenir. Sistemde var olan kaynaklardan hangisinin seçileceği bir kontrol algoritması ile belirlenmiştir ve kaynaklar arası seçim röleler vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisi yeterli olduğu, rüzgar enerjisinin ise yetersiz olduğu durumda; şebeke bağlanabilir durumda olsa bile sistemdeki aküyü dolayısıyla yükü fotovoltaiik panel beslemektedir. Rüzgar enerjisi yeterli olduğu, güneş enerjisinin ise yetersiz olduğu durumda; şebeke bağlanabilir durumda olsa bile sistemdeki aküyü dolayısıyla yükü rüzgar türbini beslemektedir. Böylelikle şebeke bağlantısı mümkün olduğu kadar az kullanılmaktadır. Hem güneş enerjisi, hem de rüzgar enerjisi yeterli durumda olduğunda aküyü iki sistem paralel bağlanarak birlikte beslemektedir. Son olarak, yenilenebilir kaynakların ikisinin de yetersiz olduğu durumda ise yük şebekeden beslenmektedir. Böylelikle yükün ihtiyacı her an karşılanarak, sistemin güvenilirliği artırılmış olur.

Rüzgar türbini, fotovoltaik paneller ve depolama elemanı olarak kullanılan aküden oluşmuş şebekeden bağımsız bir hibrit sistemin ele alındığı başka bir çalışmada [17], gerçek sistemdeki enerji akışının kontrolü yapılmıştır. Tasarlanan sistemde, değişken rüzgar hızı ve ısıtım şartları için hibrit sistemde üretilen ve tüketilen güç ilişkisi esas alınmıştır. Rüzgar ve güneş enerjisinin yeterli olduğu durumda her iki kaynak çıkışında kullanılan MPPT kontrollü DA-DA düşüren konverterler ile akü şarj edilmektedir. Akü şarj edilirken DA baradaki gerilim değeri belirlenmiş alt ve üst sınır gerilim değerleri ile karşılaştırılarak MPPT ile DA bara geriliminin istenen aralıkta tutulması sağlanmıştır. Hibrit sistemde, değişen çevresel koşullara ve DA yüklerin talep ettiği değişken $P_{yük}$ değerine göre sistem üç farklı çalışma durumundan birini esas alarak çalışmaktadır. Böylelikle sistemde sürekli olarak yükün güç ihtiyacının karşılanması sağlanmıştır.

Bir diğer çalışmada [18]; fotovoltaik panel, yakıt pili ve rüzgar türbininden oluşan şebekeden bağımsız bir hibrit sistemin tasarımı ve kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistemde rüzgar ve güneş enerjisi birincil kaynaklar olarak yer alırken, yakıt pili sistemi yedekleme ve uzun süreli depolama birimi olarak mevcuttur. Ayrıca bir akü grubu da kısa süreli depolama için kullanılmıştır. Farklı kaynaklardan üretilen enerji AA barada birleştirilmiştir ve sisteme ait güç akışı kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Fotovoltaik panel/Rüzgar türbini ve yakıt pili kullanılarak oluşturulmuş hibrit bir enerji sistemi modelini öneren bir çalışmada [33], en kötü çevresel şartlarda (rüzgar ve güneş kaynağından bir güç çıkışının olmadığı durumda) yakıt pili 10 kW'lık bir nominal çalışma gücü sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Maksimum güç noktası takibi için kullanılan DA-DA konverterler ile basit ve ekonomik bir kontrol yöntemi önerilmiştir ve bu yüzden rüzgar türbini ve fotovoltaik panellerden maksimum çıkış gücü elde edilmiştir. Münferit DA-DA konverterler DA linkleri giriş ve çıkış güçlerini dengeleyerek konverterlerin çıkış gerilimlerini sabit bir değerde tutan gerilim kaynaklı PWM invertlere bağlıdır. Sistemin dinamik davranışlarını analiz etmek için tüm sistemin PSIM yazılım programında modellenmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Rüzgar türbini ve fotovoltaik panelden oluşan hibrit bir sisteminde güç yönetiminin ele alındığı bir çalışmada [34]; 8051 mikro kontrolör kullanılarak sistemin kontrolü incelenmiştir. Sistemde; fotovoltaik panel, rüzgar türbini ve akü geriliminin değeri tasarlanan gerilim ölçüm devresi kullanılarak ölçülmüştür. Hibrit sistemin ürettiği enerji sabit ve sürekli olmadığından, üretimin yükün ihtiyacından az olması durumunda, mikro kontrolör kullanılarak yüklerin, hibrit enerji sistemin oluşturduğu mikro şebeke ile

bağlantısı gruplar halinde kesilmektedir. Kontrol sistemine ait algoritmaya göre; elde edilen gerilim bilgisine göre üretim yeterli ise; tüm yükler beslenmektedir. Üretilen enerji yetersiz ise; günün hangi saat diliminde çalışıldığı bilgisine göre sadece belirli yük grupları beslenirken, diğerleri devreden çıkartılacaktır. Bu durumda gündüz saatlerinde motor yükü beslenirken, gece saatlerinde ise öncelik aydınlatmadadır. Sistemde yük gruplarını devreye alıp çıkartan röle kontrol devresi için besleme gerilimi de hibrit sistemde kullanılan akü tarafından karşılanmaktadır.

Hibrit enerji sistemi kontrolünde hedeflenen; geleneksel bir enerji kaynağı olan yakıt tüketiminin en az derecede olması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen çıkış gücünün maksimum değerini almasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerjinin değişken olması sebebiyle, elde edilen gücün sabit bir değerinin olmaması yüke sağlanan enerjinin kalitesini etkileyebilir. Yüksek kalitede gücün yanı sıra enerji akışının verimli bir şekilde yönetilmesi için yapay zeka veya uzman sistemlerin kullanıldığı gelişmiş kontrol tekniklerine ihtiyaç vardır. Özellikle hibrit sistemlerin kontrolünde bulanık mantıkla kontrol sıklıkla kullanılan bir yöntem olmuştur [14,15,19,32,38].

Bu konuyu ele alan bir çalışmada [14]; şebekeden bağımsız çalışan fotovoltaik panel ve rüzgar türbininden oluşan hibrit bir güç sisteminin MATLAB/Simulink programında benzetimini yaparak, sistemin çıkış gerilimi değişken rüzgar hızları ya da yük koşullarında konvertör görev periyodunu bulanık kontrolör vasıtasıyla kontrol ederek sabit tutmayı hedeflemiştir. Değişken yük koşulları için sistemin dinamik ve sürekli durum analizi yapılmıştır.

Diğer bir çalışmada ise [32], rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve yakıt pilinden oluşan bir hibrit sistemin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Üç enerji kaynağından her birinin optimum verim koşullarında enerji üretmesi için hem fotovoltaik panelin hem de rüzgar türbininin DA baraya sabit maksimum enerji sağlayabilmesi için bulanık mantık yöntemiyle kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Eskander vd. yaptıkları çalışmada [38], fotovoltaik panel, rüzgar türbini ve yakıt pilinden oluşan bir hibrit sistemde elde edilen gücün maksimum verimle kullanılmasını hedeflenmişlerdir. Hem rüzgar hem de güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinde maksimum güç takibi ve elde edilen enerjinin DA baraya aktarımı bulanık mantık ile yapılmıştır. Sabit gerilimin sağlandığı DA bara yükü beslerken, elde edilen fazla gerilim; yakıt pile beslemek için kullanılan hidrojenin üretiminde kullanılmak üzere elektrolizöre aktarılmaktadır. Çalışmada, bütün bir yıla ait rüzgar hızı, rüzgarın yönü, ışıınım değeri ve

sıcaklık verileri gerçek bir sistemden alınmıştır. Yük tarafından talep edilen güç ve üretilen güce göre konverterin görev periyodu değişmektedir. Böylece hem yaz hem de kış mevsimi için enerjinin sürekliliği sağlanmıştır.

Şebeke erişiminin zor olduğu kırsal kesimlerin enerji ihtiyacının karşılanması için hibrit sistemlerin kullanılması ekonomik bir yöntem olarak görülmüş ve birçok uygulamada hibrit sistemlerin kontrolü bulanık mantık ve genetik algoritma [41-43] kullanılarak yapılmıştır.

Rüzgar-dizel hibrit güç sistemi için otomatik bir reaktif güç kontrol yöntemi tasarlanması da [39, 40] yapılan çalışmalar arasındadır. Yük ihtiyacına göre hibrit bir güç sisteminin enerji akışı kontrolü için güç kompanzasyonu sistemi tasarlanması [36] ve bir üç çalışma bölgesi kontrolör geliştirilmesi [35] ve kontrol için kademeli kontrol yönteminin kullanılması da [37] yapılan çalışmalar arasındadır.

Rüzgar türbini ve fotovoltaik panelden oluşan hibrit sistemin enerji analizine ilişkin yapılan başka bir çalışmada [44]; yenilenebilir enerji kaynaklarında gerilim ölçümü esas alınarak geliştirilen kendi kendine müdahale kontrol tekniği Simulink/Stateflow ile ele alınmıştır ve farklı koşullarda sistemin çalışması analiz edilmiştir. Hem fotovoltaik panelin, hem de rüzgar türbininin çıkış gerilimleri ölçümü gerilim bölücü devreler vasıtasıyla düşürülmüş ve analog-dijital dönüştürücüler vasıtasıyla kontrolöre uygulanmıştır. Sistemde birincil enerji kaynağı olarak fotovoltaik panel seçilmiştir. Buna göre fotovoltaik panel gerilimi uygun gerilimi değeri aralığında iken yük; panel vasıtasıyla beslenmektedir. Panel gerilimi değeri uygun gerilim değeri aralığını sağlamıyor ancak rüzgar türbini çıkış gerilimi istenen değeri sağlıyorsa bu durumda yük rüzgar türbini vasıtası ile beslenmektedir. Birincil kontrolörün devrede olduğu bu belirli gerilim değeri aralığı için dört durum gerçekleşebilir. Yük inverter vasıtasıyla ya da doğrudan yenilenebilir kaynaklardan beslenmektedir. Ölçülen çıkış gerilimi 3-6 V aralığında iken ise, ikincil kontrolör vasıtası ile kaynakların seçimi yapılarak akü grubu beslenmektedir. Çalışmada bahsedilen durumlara ilişkin benzetim çalışması yapılarak sistemin analizi gerçekleştirilmiştir.

Asenkron generatörler kullanarak bir rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi kontrol şemasının tasarlandığı çalışmada ise [20], kontrol şeması yatay eksenli bir rüzgar türbini tarafından tahrik edilen asenkron generatörden ve çift havai iletim hattından oluşmaktadır. Statik bir reaktif güç kompanzatörü çıkış gerilimini düzenlemek için generatörün terminal uçlarına bağlıdır. Mekanik giriş gücü kanat eğim açısı ile kontrol edilmektedir. Durum ve

ıkış geri beslemeli kontrolörler generatör çıkış gerilimini düzenlemek için MATLAB'da tasarlanmıştır. Farklı tipteki bozulmalar için kapalı çevrim sistem cevabının iyi bir sönümleme ve hızlı bir iyileşme sunduğu verisi elde edilmiştir.

Diğer bir çalışmada ise [21], sürekli mıknatıslı senkron generatör ile konvansiyonel silindirik kutuplu senkron generatörün performans açısından karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir ve iki generatörün çıkış akım ve geriliminin yüke bağlı olarak değiştiği ve yükün sürekli devrede olması durumunda sürekli mıknatıslı senkron generatörün konvansiyonel senkron generatöre göre daha yüksek performans sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Rüzgar trbınlerinde kullanılan sürekli mıknatıslı senkron generatörler ile ilgili bir diğer çalışmada ise [22], kalıcı mıknatıslı senkron generatör ve rüzgar trbınınin gerçek değerli bir benzetimi alışması MATLAB/Simulink programında yapılarak, bir mikro trbın üretim sisteminin dinamik modeli hazırlanmıştır. Değişik yük koşulları altında sürekli mıknatıslı senkron generatörün akım ve gerilim dalga şekilleri LCL ve RL filtreleri ile elde edilmiştir.

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin simülasyonunu içeren bir çalışmada [23], rüzgar türbinini ve sürekli mıknatıslı senkron generatörü kapasitif, indüktif ve rezistif yük bağlantısı durumu için MATLAB/Simulink programında modellenerek, sürekli mıknatıslı senkron generatörün değişken yük koşullarında çıkış akımı ve çıkış gerilimi elde edilmiştir.

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemini oluşturan rüzgar trbınleri ve tahrik ettikleri farklı tipteki generatörler, hibrit sistem tasarımı ve simülasyonu açısından önem taşımaktadır ve literatürde sabit ve değişken hızlı rüzgar trbınlerini karşılaştıran, rüzgar trbınlerinde kullanılan generatörleri sınıflandıran [25-28] bir çok çalışma mevcuttur.

şebekeden bağımsız bir rüzgar türbininin gerçekleştirilmesini konu alan bir yüksek lisans tezi çalışmasında [29]; sürücü vasıtasıyla kontrol edilen bir fanın oluşturduğu değişken rüzgar hızları, laboratuvar şartlarında bir rüzgar kanalından geirilmıştir. Değişken rüzgar hızlarında, rüzgar türbini tarafından tahrik edilen sürekli mıknatıslı senkron generatörden elde edilen üç fazlı çıkış gerilimi ve doğrultulmuş ve regüle edilmiş çıkış gerilimleri incelenmiştir. Generatör çıkışından elde edilen gerilim değeri doğrultulup, bir regülatör vasıtasıyla aküyü şarj etmiştir. Elde edilen DA gerilim kullanılan inverter vasıtası ile tek fazlı AA gerilime dnştrlmştir. Farklı yük tipleri için inverter çıkış gerilimi ve yük akımı değerleri alınmıştır. Yapılan alışmanın Matlab/Simulink'te benzetimi yapılarak, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Başka bir çalışmada ise [30], lokal çalışan kendinden uyartımlı bir asenkron generatörün ve sabit kanat açılı bir rüzgar türbininin matematiksel ifadelerinden faydalanarak MATLAB/Simulink programında bir rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi modeli hazırlanmış ve dengeli ve dengesiz yük ve uyartım koşulları altında sistem davranışı gözlemlenmiştir.

Güneş enerjisi ile ilgili yapılan çalışmalarda, güneş pili eşdeğer devresinin matematiksel modelinin oluşturulması ve benzetim çalışmasının yapılması, fotovoltaiik panellerin farklı çevresel koşullarda çalışma performansının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Literatürde güneş pili ve fotovoltaiik panelin benzetimine ilişkin bir çok çalışma yer almaktadır.

Yapılan böyle bir çalışmada [46], güneş pilinin eşdeğer devresinden yararlanarak MATLAB/Simulink ile güneş pili eşdeğeri elde edilmiş ve elde edilen güneş paneli modeli ile standart test koşulları altındaki fotovoltaiik panel çıkış akımı ve gerilimi izlenmiştir. Ayrıca panelin farklı sıcaklık ve güneş ışınlıma değerlerindeki akım-gerilim eğrileri elde edilmiştir.

Boujemaa ve Rachid yaptıkları çalışmada [48], güneş hücrelerinin farklı şekillerde modellenmesine odaklanmışlardır. Bu çalışmada, bir güneş pilinin tek diyot eşdeğer devresinin benzetimini; simulinkte gömülü matlab fonksiyonu blokunu kullanarak, Simulink-SimpowerSystems elemanları ile elektriksel eşdeğer devre oluşturarak, Simscape/SimElectronics ortamında, Simulink'te matematiksel model oluşturarak ve deneysel verileri kullanarak iki boyutlu bir look-up tablosu ile yapılmıştır. Fotovoltaiik panele ait akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri farklı çevresel koşullar için elde edilmiştir.

Fotovoltaiik panelin matematiksel modellemesine ilişkin, literatürde çok fazla sayıda çalışma yer almaktadır. Literatürde yer alan bir çalışmada [49]; fotovoltaiik panelin matematiksel modellemesini güneş pili eşdeğer devresinin matematiksel modeli Matlab/Simulink'te bütün aşamaları ile adım adım oluşturularak, oluşturulan modelin ışınlıma ve sıcaklık değişimlerine karşın akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

Fotovoltaiik panelin matematiksel modelinin oluşturulmasını ele alan başka bir çalışmada ise [50], bir güneş piline ilişkin eşdeğer devreden yola çıkılarak elde edilen denklemler yardımı ile adım adım matematiksel model oluşturulmuştur. Panele ait seri direnç değeri ihmal edilerek ve $R_s=0.55 \Omega$ olduğu durum için elde edilen akım-gerilim ve

güç-gerilim karakteristikleri kıyaslanarak, R_s parametresi değerinin panel gücünü oldukça etkilediği görülmektedir. Standart test koşullarında panelin P_{max} değerini sağlayacak yeni R_s değeri iterasyon akış diyagramında gösterilen yöntem ile bulunarak, buna bağlı bir R_{sh} paralel direnç değeri hesaplanmıştır. Uygun sonuçları veren R_s ve R_{sh} değerleri ile geleneksel yaklaşımın aksine R_{sh} direnci ihmal edilmeden panelin modellenmesi yapılmıştır. Hesaplanan bu yeni R_s ve R_{sh} direnç değerlerinin kullanıldığı model vasıtasıyla elde edilen akım-gerilim ve güç gerilim karakteristiklerinin; panel üreticisinden sağlanan $R_s=0.55$ ve ihmal edilen R_{sh} değeri ile oluşturulan modele göre deneysel olarak elde edilen karakteristikleri daha iyi karşıladığı gözlenmiştir.

Fotovoltaik panelin modellenmesi ve benzetiminde çift diyot eşdeğer devre modellemesi içeren çalışmalar da literatürde mevcuttur. Fotovoltaik panelin çift diyot eşdeğer devresinin modellemesi ve benzetimini ele alan bir çalışmada [51], farklı tek ve çok kristalli silisyum panellere ait çift diyot eşdeğer devre benzetimi yapılarak, farklı sıcaklık ve ışıyım değerleri için elde edilen akım-gerilim karakteristikleri; üretici tarafından sağlanan gerçek değerlerle ve farklı iki benzetim çalışmasının sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Yenilenebilir enerji sistemlerinde en çok ele alınan konulardan biri de maksimum güç noktası takibidir. Özellikle fotovoltaik panellerde verimin düşük olması sebebiyle maksimum güç noktası takibi yapan DA-DA konverterler en büyük ihtiyaçlardan biridir. Literatürde, DA-DA düşüren, DA-DA düşüren-yükselten ve DA-DA yükselten konverterler için "Değiştir ve Gözlemler" metodu benzetiminin Matlab/Simulink'te uygulanmasını içeren birçok çalışma mevcuttur [55,56]. Fotovoltaik panellerde maksimum güç noktası takibini konu alan bir yüksek lisans tezi çalışmasında ise [57]; literatürde sık rastlanan "Değiştir ve Gözlemler", "Artımsal İletkenlik", "dP/dV Geri Besleme Kontrolü", "Beta" ve "Üç Nokta Gücünü Karşılaştırma" yöntemlerinin benzetim çalışması Matlab/Simulink'te yapılarak, yöntemlerin üstünlük ve zayıflıkları açıklanmıştır.

1.2. Tezin İçeriği

Tezin ilk bölümünde, öncelikle tezin amacı hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri, güneş enerjisi dönüşüm sistemleri ve hibrit güç sistemleri hakkında daha önce yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

İkinci bölümde, rüzgar türbinleri; büyüklüklerine, eksenlerine ve çalışma şekillerine göre sınıflandırılmış, daha sonra rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörler kısaca tanıtılarak, bir rüzgar türbininden elde edilecek elektriksel gücün matematiksel tanımı yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, güneş hücrelerinin çalışma prensibi açıklanarak, güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinde dolaylı ve doğrudan yöntemler anlatılmıştır. Daha sonra, bir güneş pilinin eşdeğer devresi oluşturularak, bir fotovoltaiik panelin çıkış akımı denklemi elde edilmiştir. Son olarak, fotovoltaiik panelin benzetimi Matlab-Simulink'te yapılarak, tasarlanan hibrit sistemde kullanılan panelin farklı ışınlm ve farklı sıcaklık değerleri için akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri elde edilmiştir.

Dördüncü bölümde, gerçekleştirilen sistemde kullanılan güneş enerjisi dönüşüm sistemi ve rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerine ilişkin bilgi verilmiştir. Tasarlanan sisteme ve sistemin kontrolüne ilişkin bilgiler verilmiştir. Bu bölümde ayrıca gerçekleştirilen hibrit güç sisteminin benzetim çalışması yapılmıştır.

Beşinci bölümde, farklı çalışma şartlarına ilişkin elde edilen deneysel sonuçlara yer verilmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları, benzetim çalışması sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

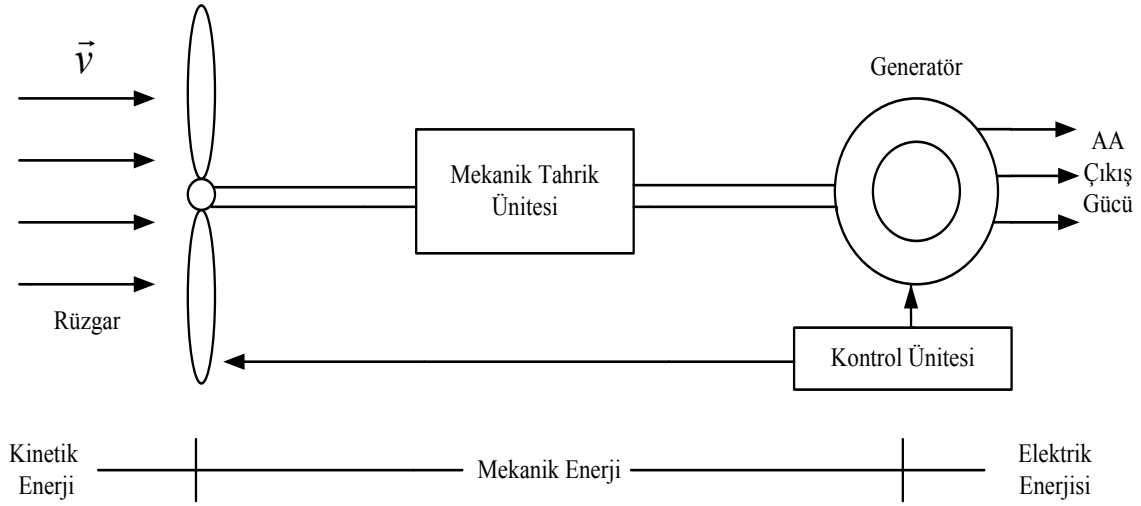
Son bölümde ise, gerçekleştirilen çalışma ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Bu tez çalışması; Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından FÜBAP-MF.14.11 no'lu proje ile desteklenmiştir.

2. RÜZGAR ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ

2.1 Giriş

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri en genel haliyle bir rüzgar türbini ve generatörden oluşmaktadır. Kullanılabildiği takdirde sonsuz bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi etkisiyle oluşacak kinetik enerji, rüzgar türbini ile tahrik edilen generatörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.



Şekil 2. 1. Bir rüzgar türbininde enerji dönüşümü

2.2 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Günümüzde rüzgar türbinleri farklı ihtiyaçlara yönelik olarak farklı güçlerde üretilmektedir. Büyüklüklerine göre rüzgar türbinleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [31]:

- Küçük güç sistemleri: Genellikle 0–10 kW gücündeki sistemlerdir.
- Orta güç sistemleri: Genellikle 10–100 kW arasında olan sistemlerdir.
- Büyük güç sistemleri: 100 kW'dan daha büyük olan sistemlerdir.
- Megawatt Türbinler

Türbinleri eksenlerine ve çalışma şekillerine göre de sınıflandırmak mümkündür.

2.2.1 Eksenlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri eksenlerine göre yatay eksenli ve dikey eksenli rüzgar türbinleri olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

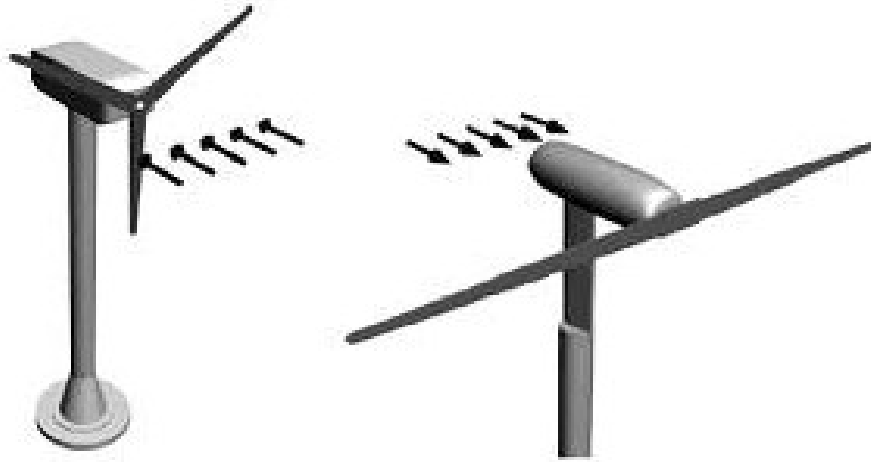
Şekil 2.2.'de görülen yatay eksenli türbinlerin rotoru yer konumuna göre yatay ekseninde çalışmaktadır. Bu türbinler tek kanatlı, iki kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı şekilde tasarlanabilirler. Günümüzde ticari olarak en çok tercih edilen türbinler üç kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinleridir, tek kanatlı yatay rüzgar türbinleri ise hem denge problemleri hem de estetik sebeplerle çok tercih edilmez [47]. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dikey eksenli türbinlerle kıyaslandığında; daha yüksek verimler ile elektrik üretimi sağladığı bilinmektedir.



Şekil 2. 2. Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Yatay eksenli türbinler ayrıca rüzgarı karşılama yönlerine göre de ikiye ayrılmaktadır. Rüzgarı önden alan yatay eksenli rüzgar türbinlerinde rotor yüzü rüzgara dönükken, rüzgarı arkadan alan yatay eksenli rüzgar türbinlerinde ise rotor kule arkasına yerleştirilmiştir. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde; rüzgarı önden alan türbinlerin avantajı; rüzgarın gövde kısmından önce türbine gelmesidir. Ancak bu sistemlerde rotorun rüzgar yönünde dönebilmesi için yaw (kuyruk) mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgarı

arkadan alan yatay eksenli türbinlerde ise kuyruk mekanizmasına ihtiyaç olmadan rotor rüzgar yönüne kendi dönebilmektedir. Bu türbinlerde rüzgarın direğin üzerinden geçerek gelmesi nedeni ile güç dalgalanması durumu olabilmektedir.



Şekil 2. 3. Rüzgarı önden ve arkadan alan yatay eksenli rüzgar türbinleri[1]

2.2.1.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Dikey eksenli türbinleri rotorları rüzgar yönüne dik eksenleri olan sistemlerdir. Yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre en büyük üstünlükleri; rüzgarın geliş yönünden bağımsız olarak ve herhangi bir kuyruk mekanizmasına ihtiyaç duymadan aynı verimle çalışabilmeleridir. Generatör ve dişli kutusu sistemleri zemin seviyesine yerleştirildiğinden inşaat ve bakım giderlerinden büyük tasarruf elde edilmektedir. Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğü vardır. Dikey eksenli rüzgar türbinlerinde; kanat sayılarının artması, sistemin maliyetini ve ağırlığı arttırdığından sistemin verimini düşürmektedir [47]. Bu türbinleri yer yüzeyine bağlayabilmek için çelik halatlara gereksinim duyulmaktadır.

Günümüzde elektrik enerjisi üretimi uygulamaları daha çok yatay eksenli rüzgar türbinleri ile gerçekleştirilse de büyük güçlü düşey eksenli rüzgar türbini uygulamaları da mevcuttur. Dikey eksenli türbinler farklı şekillerde üretilseler de, özellikle Savonius ve Darrieus tasarımları sık kullanılan tasarımlardır.



Şekil 2. 4. Savonius ve Darrieus düşey eksenli rüzgar türbinleri

2.2.2. Çalışma Şekillerine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri çalışma şekillerine göre ise sabit hızlı rüzgar türbinleri ve değişken hızlı rüzgar türbinleri olmak üzere ikiye ayrılır.

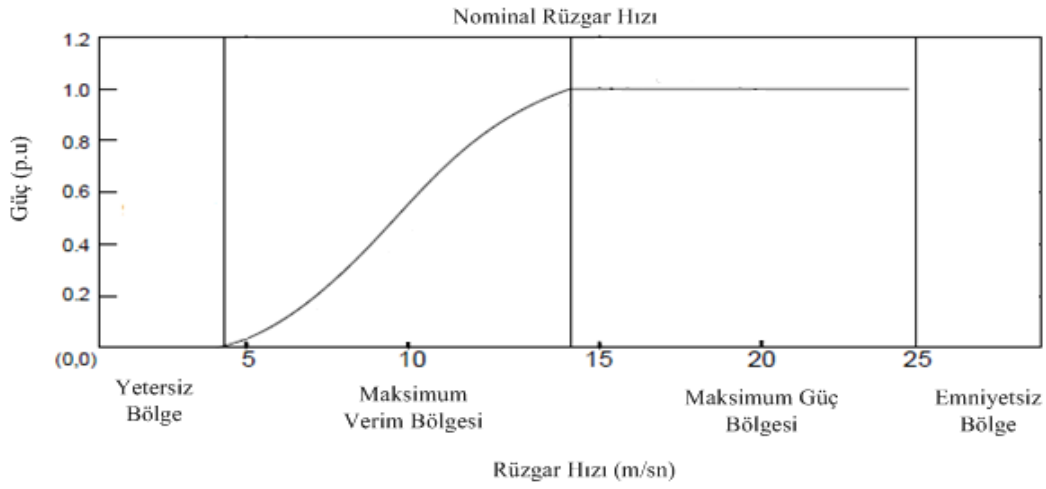
2.2.2.1. Sabit Hızlı Rüzgar Türbinleri

Sabit hızlı rüzgar türbinleri basit, düşük maliyetli, sağlam, güvenilir olmalarından dolayı 90'lı yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaktaydı. Ancak, doğrudan şebekeye bağlı olmalarından dolayı şebekede ciddi güç kalitesi problemlerine yol açmaları ve değişken hızlı türbinlerdeki enerji verimliliğine sahip olamamaları nedeniyle, bu tip türbinler günümüzde tercih edilmemektedir [27]. Sabit hızlı rüzgar türbinlerinde generatörün dönme hızı, rüzgar hızına bağlı olarak değişmez; türbinin kanat hızı oranının değişimi de sadece rüzgar hızının değişmesine bağlıdır. Bu sebeple, sabit hızlı türbinler sadece tek bir rüzgâr hızında maksimum aerodinamik verimle çalışmaktadır.

2.2.2.2. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri

Değişken hızlı rüzgar türbinleri, optimum verim bölgesindeki her rüzgâr hızında maksimum aerodinamik verimle çalışabilme imkanına sahiptir. Bu aynı zamanda rüzgâr türbinlerinin güç üretiminde sabit hızlı rüzgar türbinlerine oranla belirli bir artış sağlamaktadır. Değişken hızlı rüzgar türbinlerinde türbinin çalışması hız denetimi ve yön denetimi olmak üzere iki parametre ile sağlanır.

- Yön denetimi: Düşey eksenli türbinler her yönden gelen rüzgarı konumlarında değişiklik yapmadan değerlendirebilirler ancak yatay eksenli türbinlerin en iyi verimi alabilmesi için pervane dönme düzleminin rüzgar yönüne dik olması gerekmektedir. Bu durum yatay eksenli rüzgar türbinlerinde bir yöneltme mekanizması kullanılmasını zorunlu kılar.
- Hız Denetimi: Türbin pervanesinin dönme hızı sistemin çalışmaya başlama ve durma hızlarının belirlenmesi, sistemin verimli çalışmasını sağlamak ve sistemin üreteceği gücü sınırlamak için türbinlerde hız kontrolörü kullanılır.



Şekil 2. 5. Değişken hızlı bir rüzgar türbini için hız denetim bölgeleri [4].

Değişken hızlı bir türbinden hız denetimi bölgeleri yetersiz bölge, maksimum verim bölgesi, maksimum güç bölgesi ve emniyetsiz bölge olmak üzere dörde ayrılmaktadır.

Yetersiz Rüzgâr Bölgesi; Bu bölgede rüzgar türbini çalışmayacağından hız kontrolüne de ihtiyaç duyulmamaktadır.

Maksimum Verim Bölgesi; Bu bölgede, sistemin maksimum verimle çalışması halinde, rüzgârdaki enerjinin türbin tarafından yakalanabilecek miktarı türbinin güç sınırının altındadır [4]. Bu yüzden bu bölgedeki kontrolün amacı aerodinamik verimin mümkün olan en yüksek değerde olmasını sağlamaktır [4].

Maksimum Güç Bölgesi; Rüzgar hızı arttıkça bir rüzgar türbininden elde edilecek güç değeri de artacaktır. Bu sebeple türbin dayanabileceği maksimum sınırdaki güç üretmeye başladığında, türbin çalışması maksimum verim bölgesinden maksimum güç bölgesine

geçer. Bu bölgede artık sistemin verimli çalışması değil, bu sınırın üzerinde güç üretmemesi istenir [1].

Bu bölgede rüzgârdaki enerji türbinin kapasitesinin üzerinde ve gereğinden fazla miktardadır. Sistem aerodinamik olarak maksimum verim noktasının altında çalışmasına rağmen maksimum kapasitede güç üretimi yapar. Bu bölgedeki hız denetiminin amacı, maksimum kapasitede sabit güç üretimi sağlamaktır.

Emniyetsiz Bölge: Rüzgar hızı belirli bir değerin üzerine çıktığında, türbinin bu çevresel koşullarda çalışması hem elektriksel hem de mekanik anlamda tehlike taşıdığından kontrolör türbin kanatlarının çalışmasını durdurmaktadır. Bu bölge emniyetsiz bölge olarak isimlendirilir.

2.3 Rüzgar Türbininin Bileşenleri

Şekil 2.6.'da yatay eksenli bir rüzgar türbininin bileşenleri görülmektedir. Sistemde yer alan elemanlar kısaca şunlardır;

Kanatlar: Günümüzde daha çok iki veya üç kanatlı olarak imal edilen rüzgar türbinlerinde kanatlar; rüzgar enerjisinin etkisiyle harekete geçerek rotorun dönmesi için gerekli olan mekanik enerjinin meydana gelmesini sağlarlar.

Kanat Göbeği (Hub): Gövdeye kanatların bağlantı noktasıdır.

Gövde (Nacelle): Sistemi muhafaza eden ve dış etkilerden koruyan ana bölümdür.

Kule: Yuvarlak veya kafes şeklinde tasarlanan, çelikten yapılmış, tepe düzlemine türbin gövdesinin yerleştirilmesini sağlayan direklerdir [1].

Dişli Kutusu: Rüzgarın kinetik enerjisi etkisiyle oluşan dönme hızı, bir generatörde belirlenen değerde gerilim indüklenmesini sağlayamayacak kadardır. Rüzgar türbinlerinde kullanılan dişli kutuları vasıtasıyla rotorun dönme hızı yükseltilir. Dişli kutuları, rotorun bağlandığı düşük hız milinin dönme hızını, yükselterek yüksek hız miline iletir. Dişli kutularının ağır olması, kule ömrünü olumsuz etkilemektedir. Günümüzde araştırmaların büyük bir bölümü, dişli kutuların eliminasyonuna yönelmiştir [1].

Generatör: Mekanik gücü elektrik enerjisine çeviren elektrik makinasıdır.

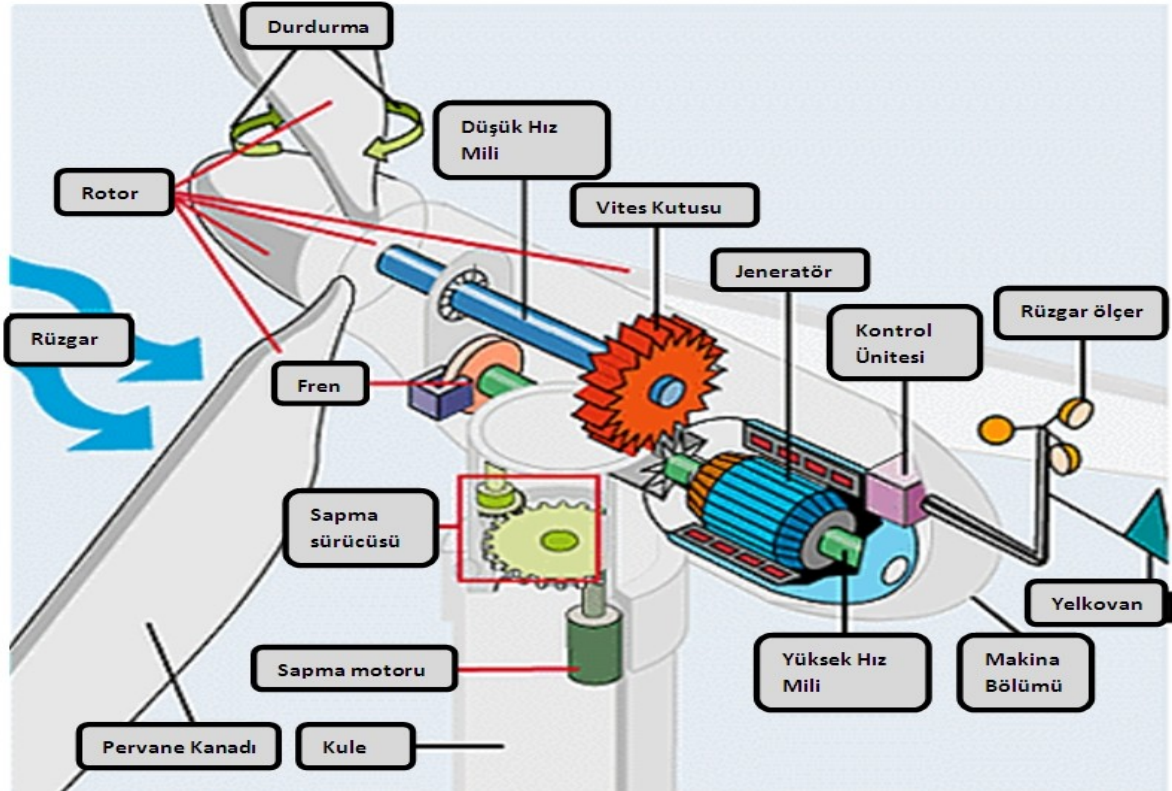
Frenler: Sistemin acil durumlarda ve bakım anında sabitlenmesi için kullanılan frenlerdir.

Kontrolör: Türbinde dönme hareketini başlatan, dönme hızını belirleyen, düşük rüzgar hızlarında ve çok yüksek rüzgar hızlarında dönme hareketini durduran ünitedir.

Anemometre (Rüzgâr ölçer): Rüzgâr hızını ölçüp elektronik kontrol sistemine ileten bir ölçüm cihazıdır [1].

Rüzgâr Vanası: Rüzgâr yönünü ölçerek, değişimlere göre, yaw (kuyruk) motoru ile haberleşmeyi sağlayan, türbini rüzgâr yönüne taşıyan mekanizmadır.

Yaw (Kuyruk) Tahrik: Günümüzde en yaygın olarak kullanılan üç kanatlı türbinlerin rotorları, rüzgâra doğru konumlandırılmıştır. Rüzgârın hız değişimine göre, rotor kafasını, rüzgâra dik tutacak tarzda ayarlayan mekanizmalardır ve kuyruk motoru vasıtası ile hareket eder. İki kanatlı türbinlerin rotorları ise kafalarını rüzgâr doğrultusuna ters konuşturduklarından, kuyruk kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymazlar. Böylelikle hakim rüzgâr yönüne kolaylıkla dönebilmekte ve rüzgârdan maksimum verim alınabilmektedir.



Şekil 2. 6. Rüzgar türbini ve bileşenleri

2.4. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler

Rüzgar türbinlerinde; senkron generatör, asenkron generatör ve doğru akım generatörü olmak üzere üç tip generatör kullanılmaktadır.

2.4.1. Senkron Generatörler

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde senkron generatörler şebeke ile paralel bağlantı uygulamalarında asenkron generatörlere göre daha sık kullanılırlar. Konvansiyonel senkron generatörlerde stator sargılarında gerilimin indüklenebilmesi için ihtiyaç duyulan DA uyarıtma, sürekli mıknatıslı senkron generatörlerdeki kalıcı mıknatıs yapısı sebebi ile gerek kalmaz. Sürekli mıknatıslı senkron generatörlerin bu sebeple azalan bakım maliyetleri, rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde daha çok tercih edilmelerini sağlamaktadır. Bu durum konvansiyonel senkron generatörlerin sıklıkla bakıma ihtiyaç duymasına sebep olan karbon fırça yapısının; sürekli mıknatıslı senkron generatörlerde olmaması ile açıklanabilir. Sürekli mıknatıslı senkron generatörlerin bir diğer üstünlüğü farklı hız değerlerinde güç üretebilmesidir, generatör hızı asenkron generatörün bulunduğu rüzgar türbinlerinin aksine, dişli kutusuna ihtiyaç duyulmadan kontrol edilebilir. Ayrıca küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Sürekli mıknatıslı senkron generatörler; doğru akım generatörüne göre daha yüksek verimde çalışmaktadır. Sürekli mıknatıslı senkron generatörler harekete geçme anında, şebekeye bağlandığında ve gerilim regülasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir ve bir takım düzenlemeler gerektirir. Asenkron generatörlere göre daha karmaşık kontrol sistemlerine sahiptir. Sistemde kullanılan kalıcı mıknatısların yüksek fiyatlarda olması ve yüksek sıcaklıklarda mıknatısların manyetik özelliklerini kaybetmeleri bu sistemler için bir diğer dezavantajdır. [25-28].

2.4.2. Asenkron Generatörler

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılan asenkron generatörler; sincap kafesli, bilezikli (rotoru sargılı) ve çift beslemeli asenkron generatörler olmak üzere üçe ayrılır. Asenkron generatörler, aynı büyüklükteki senkron generatörlere göre daha ucuzdur ve daha az bakıma ihtiyaç duyarlar. Sincap kafesli asenkron generatörler, sisteme doğrudan bağlanıp sabit hızda veya güç elektroniği elemanları kullanılarak değişken hızlarda çalıştırılabilirler. Asenkron generatörler şebekeye bağlı sistemlerle kolaylıkla çalışmaktadır. Bu generatörler şebekeye bağlandığında oluşan aşırı yükleme çok kısa süreli olmaktadır. Şebeke bağlantılı sincap kafesli asenkron generatörün dezavantajı mıknatıslama akımını şebekeden çekmesi sebebi ile reaktif güç tüketmesidir. Şebekeden bağımsız çalışan asenkron generatörlerde ise stator sargılarına kondansatörler bağlanarak reaktif güç şebeke yerine kondansatörlerden elde edilebilir.

Bilezikli asenkron generatörler ise kayma kontrolünü sağlayan ve böylece belirli aralıklarda hız değişimi sağlayan rotor dirençleri ile birlikte bir AA sisteme doğrudan bağlanabilirler. Çift beslemeli asenkron generatör ise güç elektroniği dönüştürücülerinin boyutuna bağlı olarak çok daha geniş aralıklarda hız ayarlama imkânı verir. Çift beslemeli asenkron generatörde rotor tarafı konvertörü ve şebeke tarafı konvertörü olmak üzere iki konvertör bulunur. Konvertörler sayesinde ekstra reaktif güç kontrolüne ihtiyacı yoktur. Aktif ve reaktif güç kontrolünü konvertörler sağlar. Bilezik tertibatının düzenli bakıma olan ihtiyaç duyması ve güç elektroniği elemanları sebebiyle diğer generatörlerden daha pahalı olması ise çift beslemeli asenkron generatörlerin dezavantajıdır [25-28].

2.4.3. Doğru Akım Generatörleri

Doğru akım generatörleri, yapılarında yer alan fırça ve kollektörün çabuk arızalanması sebebiyle güvenilirliklerinin düşük olması ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen özellikle şebekeden bağımsız küçük kapasiteli sistemlerde tercih edilmektedir. Mekanik komütatörlü doğru akım generatörleri yerine sürekli mıknatıslı doğru akım generatörleri türbin sistemlerinde kullanılarak komütatör sistemi ve olası arızalar önlenir. Sürekli mıknatıslı DA generatörlerinde üretilen alternatif akım yarı iletken doğrultucular yardımıyla doğru akıma dönüştürülür [25-28].

2.5. Rüzgar Türbininden Elde Edilen Mekanik Güç

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri rüzgarın oluşturduğu kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir.

v hızıyla hareket eden m kütleli havanın sahip olduğu kinetik enerji,

$$E_K = \frac{1}{2} . m . v^2 \quad (2.1)$$

olarak hesaplanabilir. Bu şekilde hareket hâlinde olan hava akışındaki güç, birim zamanda akan kinetik enerji akışı olacağından, bu durumda birim zamanda akan hava kütlesi için $E_K = P$ olacaktır.

t zamanı boyunca; v hızıyla bir A alanından geçen havanın kütlesi;

$$m = \rho . A . v^3 \quad (2.2)$$

Formülde ρ ; hava yoğunluğu (kg/m^3) olarak ifade edilir ve 1 atmosferlik hava basıncında ve 15°C sıcaklıkta $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ olarak kabul edilir.

Yukarıda belirtilen iki eşitlik kullanılarak, rüzgar gücü;

$$P_{rüzgar} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.3)$$

Belirli bir alandaki rüzgar gücü, rüzgar hızının küpüyle orantılıdır.

Rüzgarın rotor üzerinde bıraktığı enerjinin hesabında v_i hızı ile rotora gelen ve v_o hızı ile rotoru terk eden rüzgar için, güç ifadesi;

$$P = \frac{1}{2} \cdot k_m \cdot A \cdot (v_i^2 - v_o^2) \quad (2.4)$$

olur. A ; rotor kanatlarının süpürdüğü alan (m^2) ve havanın kütle akış oranı k_m olmak üzere;

$$k_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_i + v_o) \quad (2.5)$$

eşitliği Denklem 2.4.'te yerine yazılarak, bir rüzgar türbininden elde edilen mekanik güç;

$$P = \frac{1}{2} \cdot \left[\rho \cdot A \cdot \frac{(v_i + v_o)}{2} \right] \cdot (v_i^2 - v_o^2) \quad (2.6)$$

olarak bulunur.

Rotor tarafından üretilen gerçek güç, rüzgardan rotora geçen enerjinin verimliliği ile belirlenir. Bu verim genellikle güç katsayısı (C_p) olarak adlandırılır. Rotorun güç katsayısı, rüzgardan elde edilen teorik güç ile rotor tarafından üretilen gücün oranı olarak bulunur.

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{v_o}{v_i} \right) \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{v_o}{v_i} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

$$P_{mekanik} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot C_p \quad (2.8)$$

olarak elde edilir.

Rüzgar türbinlerinde kanat hız oranı (λ); rotor kanat ucundaki hız ile rüzgar hızı arasındaki oran olarak tanımlanır. Rotora gelen rüzgar hızı $v_i = v$ olarak ve dolayısıyla $\lambda = v_o / v$ olarak tanımlandığında rotor güç katsayısının maksimum değeri $\lambda = 1/3$ iken elde edilir ve değeri $C_{p\max} = 0,5926$ olmaktadır. Bu maksimum verime “Betz limiti” denir. Ayrıca kanat hız oranı;

$$\lambda = \frac{R \cdot \omega_m}{v} \quad (2.9)$$

denklemleri ile ifade edilir. R ; rotor yarıçapı (m) ve ω_m (rad/sn) rotorun mekanik dönme hızıdır.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ

3.1. Fotovoltaik Elektrik Üretimi ve Güneş Hücrelerinin Çalışma İlkesi

Güneş, geçmişten günümüze dünya üzerindeki yaşam için en önemli kaynak olarak bilinmektedir. Bunun yanı sıra güneş enerjisinden elektrik üretimi; gelişen teknolojinin bir gereği olarak artan elektrik enerjisi kullanımı ihtiyacı ile birlikte; fosil yakıtların sınırlı rezervleri sebebiyle temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulması sebebi ile günümüzde gittikçe daha çok artan bir önem ve popülerliğe sahiptir. Günümüzde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan diğer yenilenebilir enerji kaynakları olan su, biyoenerji ve rüzgar gibi kaynaklar da güneş enerjisi etkisiyle var olmaktadır. Güneş enerjisi iki yöntem kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

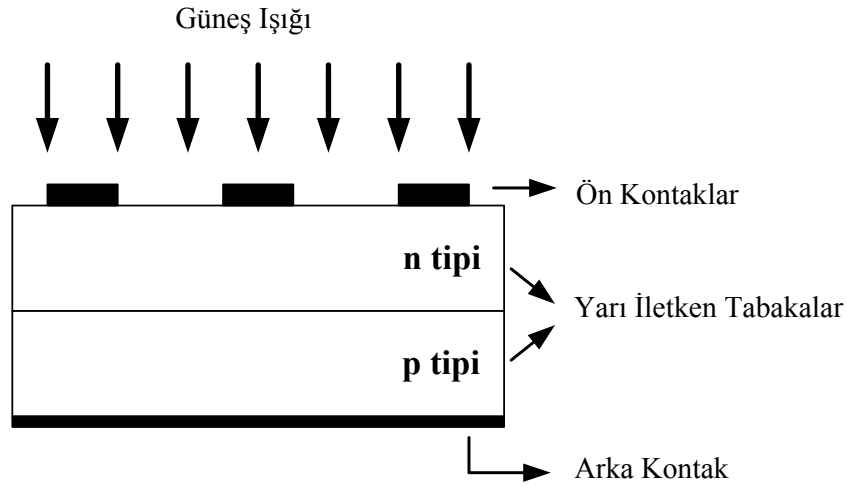
- Dolaylı Yöntem: Dolaylı yöntemle elektrik enerjisi üretimi; termik santrallerde buhar kullanılarak elektrik enerjisi üretimi gibidir. Kullanılan yoğunlaştırıcı sistemlerle güneş ışınlarının odaklanması sonucu elde edilen buhar; bir türbin ve generatör ünitesini tahrik eder ve böylelikle güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilir.

- Doğrudan Yöntem: Fotovoltaik paneller kullanılarak güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Kullanılan fotovoltaik panellerin yapısı sayesinde; panellerin üzerine güneş ışığı düştüğünde, panellerde elektron yayılması gerçekleşmektedir ve fotovoltaik hücre bir akım kaynağı gibi davranmaktadır. Böylelikle güneş enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur.



Şekil 3. 1. Güneş enerjisinden elektrik üretiminde dolaylı yöntem ve doğrudan yöntem kullanımı

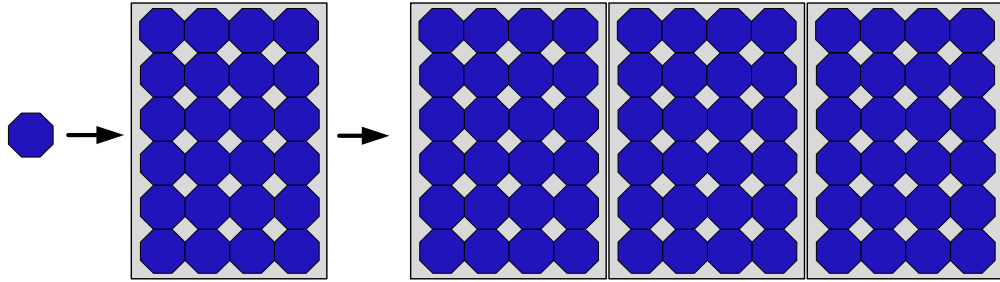
Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde kullanılan güneş hücrelerinin yapımında yaygın olarak kristal silisyum, amorf silisyum, galyum arsenik, kadmiyum tellür, bakır indiyum diselenid ve optik yoğunlaştırıcı hücreler kullanılmaktadır [45]. Günümüzde silisyum, fotovoltaik hücre yapımında tek ve çok kristalli olmak üzere en çok kullanılan malzemedir. Şekil 3.2'de bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı görülmektedir.



Şekil 3. 2. Bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı

Bir fotovoltaik hücre yapısında silisyum atomunun katkılandırılması ile oluşturulmuş n ve p tipi olmak üzere iki yarı iletken tabakadan oluşmaktadır. Silisyum atomunun, son yörüngesinde fosfor gibi beş elektron olan bir başka element ile katkılandırılmasıyla elektron verme eğiliminde olan n tipi malzeme ortaya çıkar. Silisyum atomunun, bor gibi son yörüngesinde üç elektron olan bir element ile katkılandırılması sonucunda da elektron alma eğiliminde olan p tipi malzeme oluşturulmuş olur. Fotovoltaik hücrede bulunan ve n tipi ve p tipi malzeme bir araya getirildiğinde, n tipi malzemedeki fazla elektronlar p tipi malzemedeki boşluklara yerleşirler. Bu sebeple iki tip malzemenin birleşmesi birleşme bölgesi olarak adlandırılan nötr bir bölge oluşmuş olur. Bu bölgenin varlığı sebebi ile fotovoltaik hücrede ışınının olmadığı durumda, elektron akışı olmaz. Güneş ışığının fotovoltaik hücre üzerine düştüğünde; ışığın foton enerjisi; n tipi malzemedeki çoğunluk taşıyıcıları olan elektronların p tipi malzemeye doğru hareket etmesine sebep olur. Bu durumda boşluklar fotonla uyarılan negatif yüklü elektronların yerinde, pozitif yüklü boşluklar bırakır. Oluşan bu serbest yük çiftleri ayrı tutulursa sistemde bir potansiyel gerilim oluşur. Bu gerilim tek bir fotovoltaik hücre yaklaşık 0.6 V değerinde bir gerilim üretmektedir.

Güç çıkışı arttırmak amacıyla, çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel veya seri bağlanabilir ve oluşan bu yapıya fotovoltaiik panel adı verilmektedir. Fotovoltaiik panellerin bir araya getirilmesi ile de fotovoltaiik panel dizisi oluşmaktadır. Böylelikle güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinde, çok küçük güç değerlerinden MW seviyesinde güç değerlerine kadar değişebilen büyüklükte sistemler oluşturulabilir.

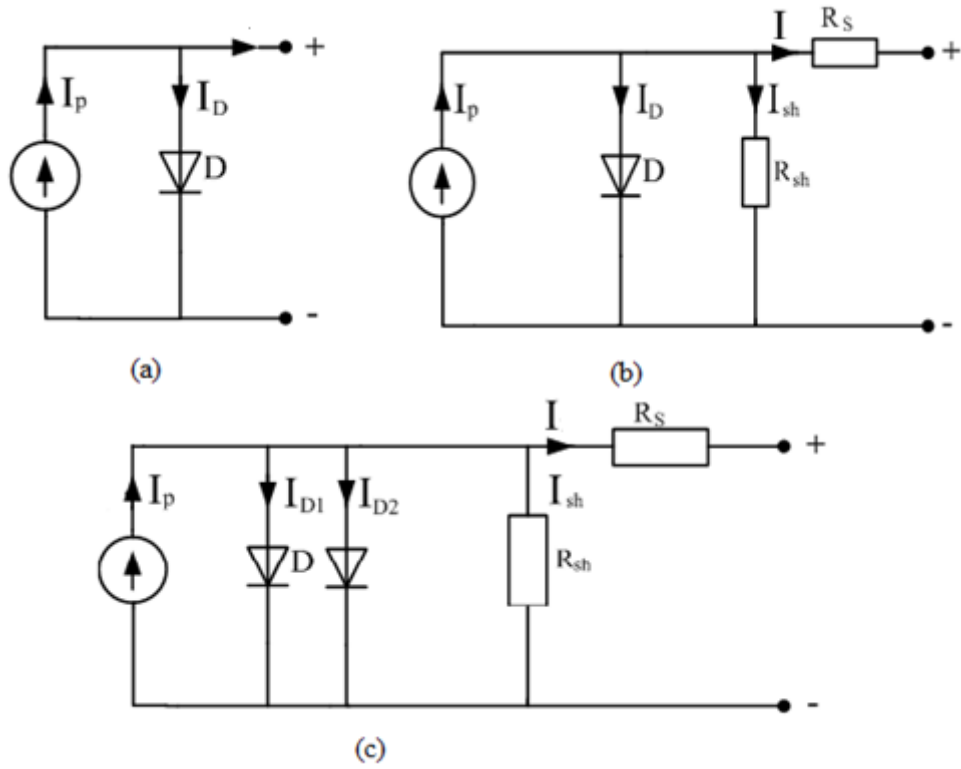


Şekil 3. 3. Güneş pili, fotovoltaiik panel, dizi yapıları

Uygulama koşullarında verimi %15 olan bir yarı iletken güneş hücresi iyi olarak değerlendirilir [45]. Fotovoltaiik sistemler tasarımlarına göre şebekeden bağımsız çalışan sistemler ve şebeke bağlantılı sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistemler; genellikle küçük güçlü sistemlerdir ve özellikle güç hatlarından uzak olan, kırsal bölgelerde kullanımı uygundur. Bu sistemlerde üretilen elektrik, DA olarak akülerde depolanır. Aküde depolanan bu gerilim inverterler vasıtasıyla AA gerilime dönüştürülerek ev tipi yüklerin beslenmesi için kullanılabilir. Şebeke bağlantılı sistemlerde ise; sistemin en önemli bileşeni; şebeke ile faz, frekans ve genlik uyumu sağlayan bir inverterin kullanılmasıdır. Bu da sistemin maliyetini arttıran bir etkidir.

3.2. Bir Güneş Hücresinin Eşdeğer Devresi

Bir fotovoltaiik hücre için; literatürde farklı eşdeğer devreler bulunmaktadır [48] ve bu eşdeğer devreler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi a)ideal eşdeğer devre b)tek diyot eşdeğer devresi c)çift diyot eşdeğer devresi

Şekil 3.3.a'da görülen fotovoltaik hücreye ilişkin ideal model; bir akım kaynağı ve akım kaynağına ters paralel bağlı bir diyottan ibarettir. Fotovoltaik hücreye ilişkin kayıplar ihmal edildiğinden seri direnç R_s ve paralel direnç R_{sh} 'e yer verilmemiştir.

Şekil 3.3.b'de ise fotovoltaik hücreye ilişkin tek diyotlu eşdeğer devre verilmiştir. Bu eşdeğer devrede seri direnç R_s ve şönt direnç R_{sh} dirençleri de hücre kayıpları ihmal edilmediğinden yer almaktadır. Seri bağlı R_s direnci metal ön ve arka kontakların yüzey ile yaptığı direnç sebebi ile oluşan kayıpları ifade eder, R_{sh} ise hücrede üretimden kaynaklı sızıntı akımından kaynaklı kayıpları temsil etmektedir. Bir fotovoltaik panelde R_{sh} değeri oldukça büyük iken R_s direncinin değeri ise çok küçük değerlidir. R_s ve R_{sh} değerleri iterasyon yöntemi kullanılarak tam olarak hesaplanabilir ve böylelikle fotovoltaik hücre performansı daha gerçekçi olarak değerlendirilebilir. Bir çok çalışmada ise R_s ve R_{sh} değeri ihmal edilmektedir; bu durumda R_{sh} değerinin fotovoltaik hücre karakteristiği ve performansı üzerinde etkisi büyük değildir ancak R_s değerinin değişmesinin fotovoltaik hücre karakteristiği üzerinde etkisi büyük olmaktadır[50].

Tek diyotlu eşdeğer devreye Kirchhoff'un akımlar kanunu uygulandığında fotovoltaiik modülün çıkış akımı I ;

$$I = I_{ph} - I_D - I_{SH} \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir.

Denklem 3.1'de yer alan I_{ph} foton akımı ve I_D diyot akımı olarak isimlendirilir. I_{sh} ise paralel R_{sh} direnci üzerinden akan akımdır ve bu akım R_{sh} direnci çok büyük olduğundan ihmal edilebilir. Modülün çıkış akımı denklemi R_{sh} ihmal edilerek yeniden düzenlenirse;

$$I = I_{ph} - I_D \quad (3.2)$$

olarak yazılabilir. Fotovoltaiik modülün foton akım değeri değeri ışıınım değeri ile orantılıdır ve;

$$I_{ph} = \left[I_{sc} + K_i (T_c - T_{cref}) \right] \frac{G}{G_{ref}} \quad (3.3)$$

olarak ifade edilir. Denklemde yer alan I_{sc} kısa devre akımıdır. T_c değeri hücre sıcaklığını ifade etmektedir ve birimi Kelvin'dir. T_{cref} ise referans hücre sıcaklığıdır ve değeri 25 °C ve Kelvin biriminden de 297 K'dir. G ; fotovoltaiik panele etki eden ışıınım değerini temsil etmektedir, birimi ise W/m^2 'dir. G_{ref} değeri ise referans ışıınım değeridir ve bu değer 1000 W/m^2 'dir. Denklem 3.3'te yer alan K_i değeri ise mA/K olarak modülün kısa devre akımının sıcaklık katsayısıdır.

Diyot akımı I_D ;

$$I_D = I_O \left[e^{\left(\frac{V + I R_S}{N_s A V_T} \right)} - 1 \right] \quad (3.4)$$

olarak ifade edilebilir. V_T termal gerilim değeridir ve panelin sıcaklığı ile doğrudan orantılıdır. A ise idealite faktörü olarak isimlendirilir. N_s fotovoltaiik panelde yer alan seri bağlı hücre sayısıdır. V_T gerilimi;

$$V_T = \frac{k.T_c}{q} \quad (3.5)$$

olarak ifade edilebilir.

Denklem 3.5'te yer alan q ; elektron yükünü (1.602×10^{-19} C), k ise Boltzman sabitini (1.381×10^{-23} J/K) temsil etmektedir.

$$I_o = I_{rs} + \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left[\frac{q E_{g0}}{A k} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3.6)$$

Denklem 3.4'te yer alan modül saturasyon akımı I_o ; sıcaklığa bağılı olarak değişir ve aşağıdaki gibi ifade edilir; E_g ; fotovoltaiik hücre yapımında kullanılan malzemenin bant genişliğidir. Fotovoltaiik panel ters saturasyon akımı I_{rs} ;

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{N_s k A T}\right) - 1 \right]} \quad (3.7)$$

Fotovoltaiik modül çıkış akımı değeri ise;

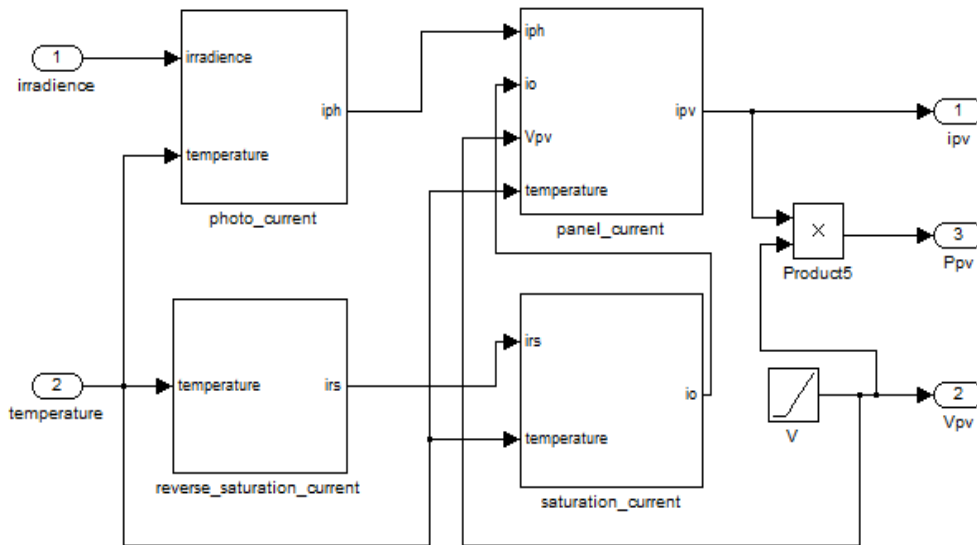
$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_o \left[\exp\left\{ \frac{q(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{N_s A k T} \right\} - 1 \right] \quad (3.8)$$

olarak ifade edilir. Formülde yer alan N_p ifadesi; fotovoltaiik paneldeki paralel hücre sayısını ifade eder. V_{pv} değeri ise fotovoltaiik panelin çıkış gerilimidir.

3.3. Güneş Enerjisi Dönüşüm Sistemi Benzetimi

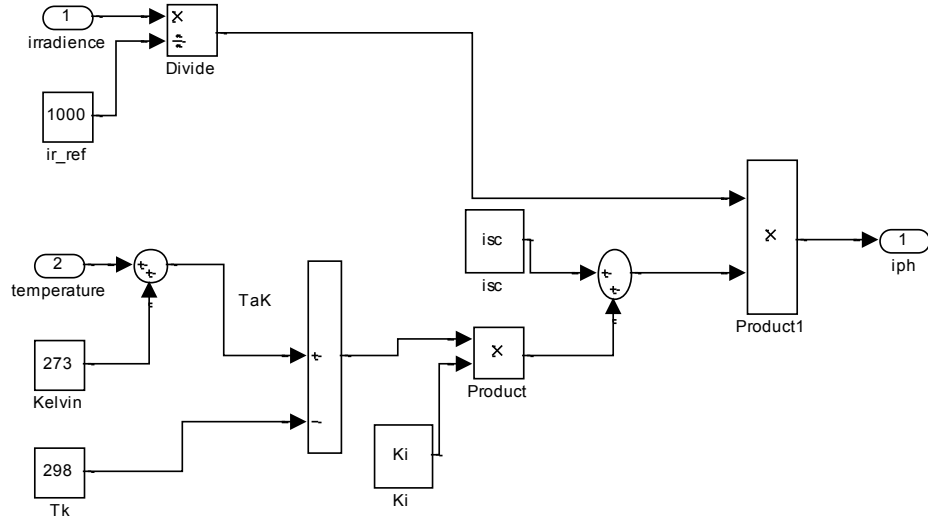
3.3.1. Fotovoltaiik Panelin Benzetimi

Bir fotovoltaiik panelin farklı ışıınım ve sıcaklık değerlerinde akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiklerinin elde edilmesi için oluşturulan fotovoltaiik panelin matematiksel modeli Şekil 3.5.'te görölmektedir.



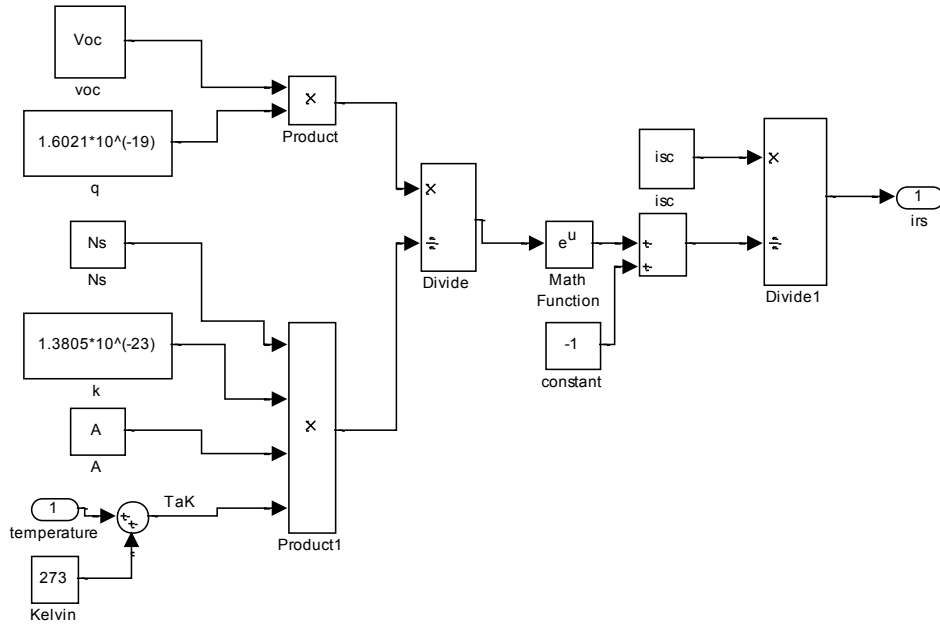
Şekil 3. 5. Fotovoltaiik panelin Simulink benzetimi

Şekil 3.6'da verilen alt model, benzetim çalışmasında foton akımı değeri Denklem 3.3. kullanılarak oluşturulmuştur.

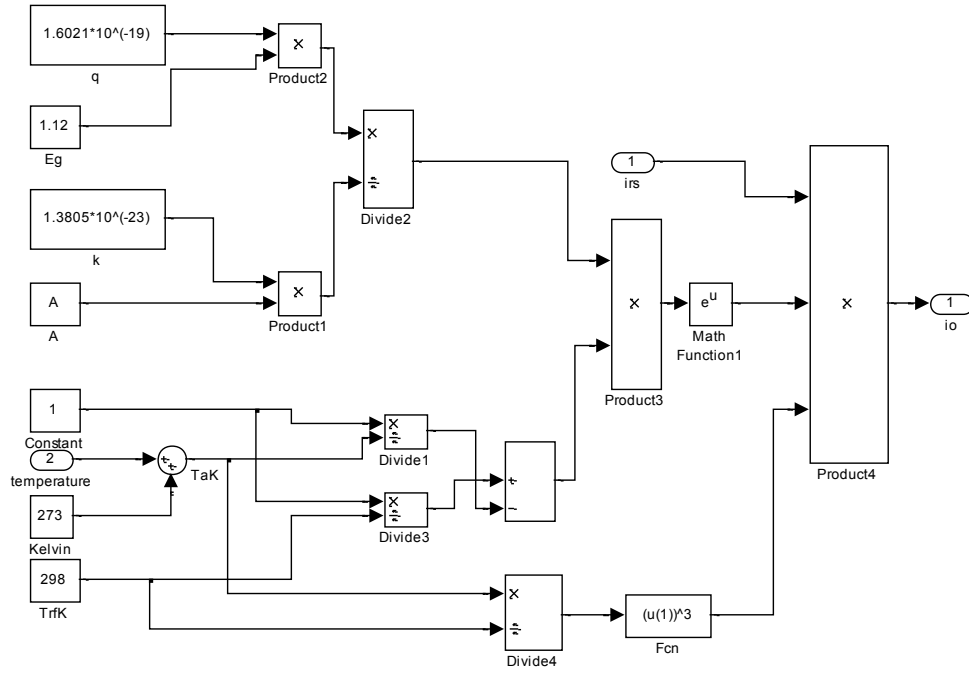


Şekil 3. 6. Fotovoltaik panel benzetim çalışması foton akımı alt modeli

Ters saturasyon akımı değerine ait alt model ise Denklem 3.7. kullanılarak oluşturulmuştur ve Şekil 3.7'de görülmektedir.

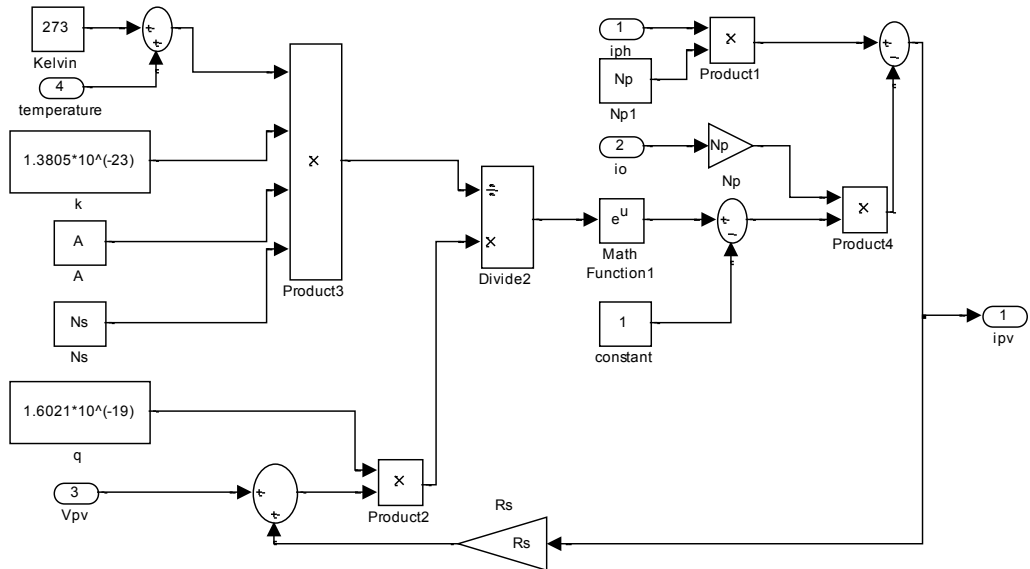


Şekil 3. 7. Fotovoltaik panel benzetim çalışması ters saturasyon akımı alt modeli



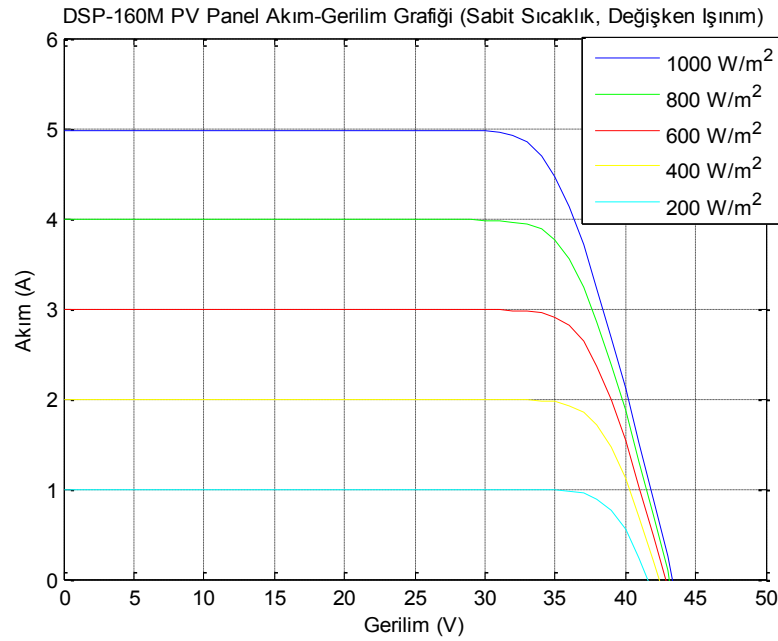
Şekil 3. 8. Fotovoltaik panel benzetim çalışması diyot saturasyon akımı alt modeli

Diyot saturasyon akımı değerine ait alt model ise Denklem 3.6.'den faydalanılarak elde edilmiştir ve Şekil 3.8'de görülmektedir.



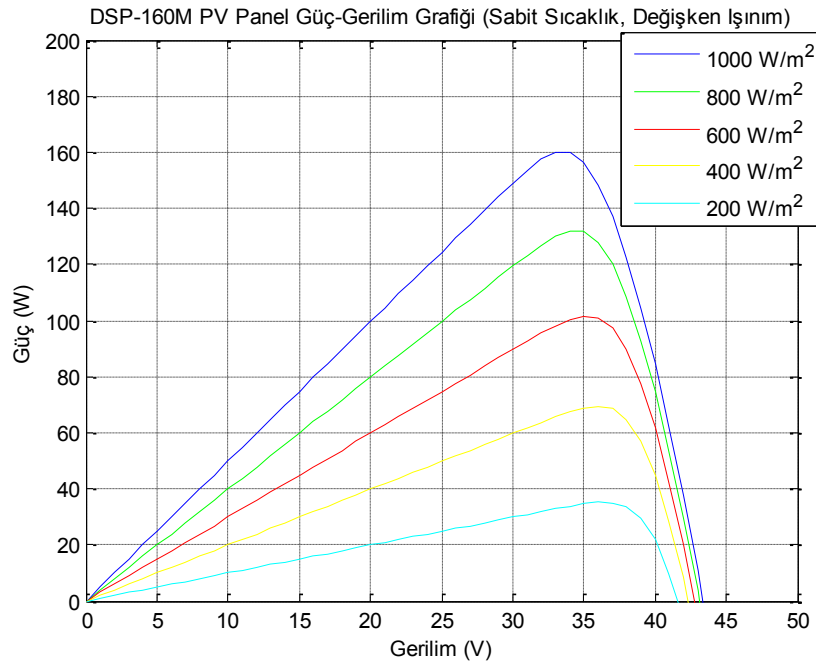
Şekil 3. 9. Fotovoltaik panel benzetim çalışması panelin çıkış akımı alt modeli

Fotovoltaik panelin çıkış akımı ise Denklem 3.8. kullanılarak elde edilmiştir ve hazırlanan alt model ise Şekil 3.9'da görülmektedir.



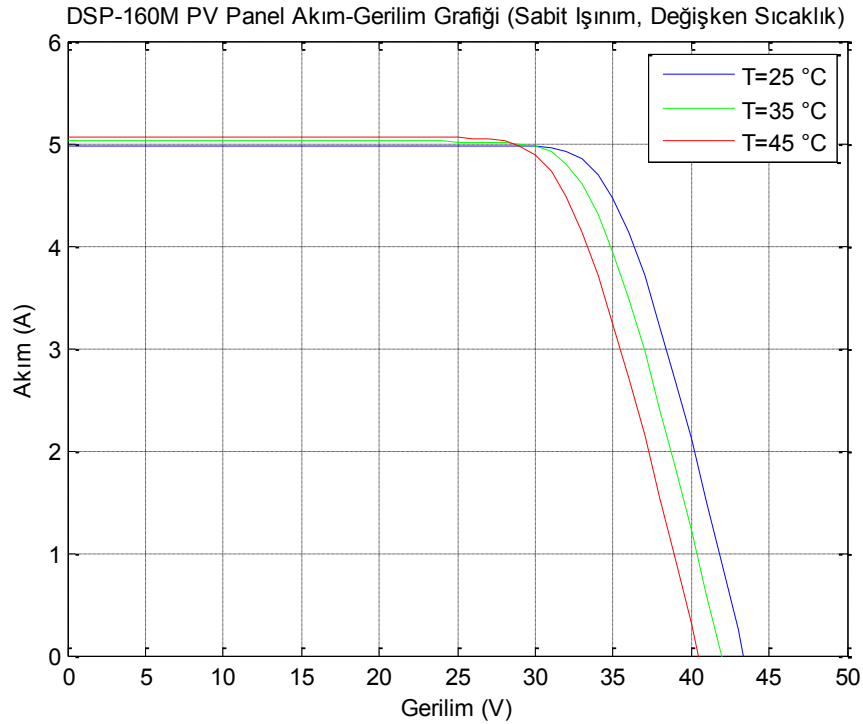
Şekil 3. 10. Değişken ışınım, sabit sıcaklık koşullarında panelin akım-gerilim karakteristiği

Hazırlanan benzetim çalışması vasıtasıyla deneysel çalışmada kullanılan fotovoltaik panelin üretici tarafından sağlanan gerçek değerleri kullanılarak farklı çevresel koşullardaki akım-gerilim karakteristiği ve güç-gerilim karakteristiği elde edilmiştir.

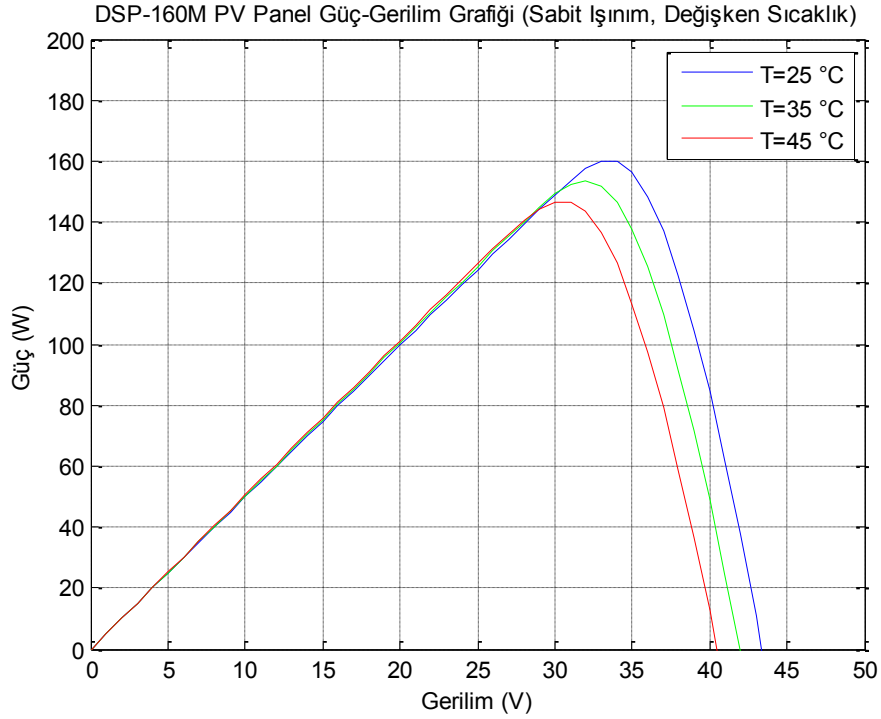


Şekil 3. 11. Değişken ışınım, sabit sıcaklık koşullarında panelin akım-gerilim karakteristiği

Buna göre, değişken ışınım sabit sıcaklık durumunda fotovoltaik panelin akım-gerilim karakteristiği Şekil 3.10'da ve güç-gerilim karakteristiği ise Şekil 3.11'de görülmektedir. Benzetim çalışmasında sıcaklık değeri 25 °C ve sabit iken, panele gelen ışınımın değiştirilmiştir. Akım-gerilim karakteristiğinde; ışınımın azalmasına bağlı olarak panel akımında büyük oranda düşme gözlemlenirken, panel gerilimindeki düşme çok fazla değildir. Bu şartlarda; panelin güç-gerilim karakteristiğinde standart test koşullarında ($T=25\text{ °C}$ ve $G=1000\text{ W/m}^2$ için) panelin gücü $P_{\max}=160\text{ W}$ değerini sağlamaktadır. Işınımın azalması ile panel çıkış gücü de düşmektedir. Işınımın değişmediği, sıcaklık değerinin ise değiştiği durumda fotovoltaik panelin akım-gerilim grafiği Şekil 3.12'de, güç-gerilim grafiği ise Şekil 3.13'te verilmiştir. Akım-gerilim karakteristiğinde; sıcaklık artışına bağlı olarak panel geriliminin düştüğü görülmektedir. Bu durumda panel akımı ise küçük bir oranda artmaktadır. Buna bağlı olarak panelin güç-gerilim karakteristiğinde sıcaklık artarken panel gücünün düştüğü görülmektedir.



Şekil 3. 12. Değişken ışınım, sabit sıcaklık koşullarında panelin akım-gerilim karakteristiği



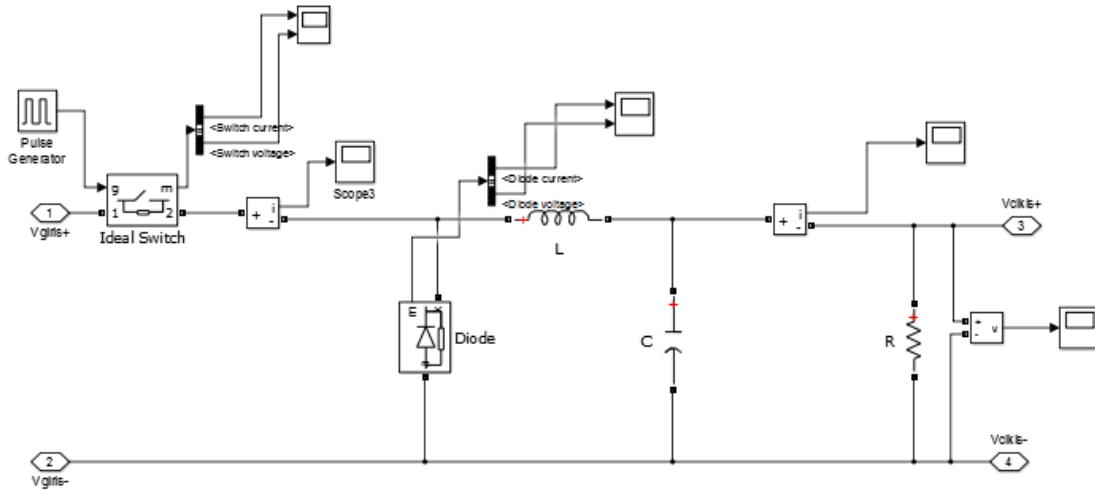
Şekil 3. 13. Değişken ışınlım, sabit sıcaklık koşullarında panelin güç-gerilim karakteristiği

3.3.2. DA-DA Düşüren Konverter Benzetimi

Bir güneş enerjisi dönüşüm sisteminde fotovoltaik panelden elde edilen DA gerilimin aküyü şarj edebilmek için uygun gerilim değerine gelmesi gerekmektedir. Akünün bulunmadığı sistemlerde ise panel geriliminin inverter girişine uygulanabilecek gerilim değerinde olması gerekmektedir. Bu sebeple yenilenebilir enerji sistemlerinde DA-DA konverterlerin kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Bu amaçla kullanılan dönüştürücüler; DA-DA düşüren (buck) konverter, DA-DA yükselten (boost) konverter, DA-DA düşüren-yükselten (buck-boost) konverter olmak üzere üç çeşittir. DA-DA düşüren konverterlerde giriş gerilimi ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki;

$$V_{\text{ç}} = V_{\text{g}} \cdot D \quad (3.9)$$

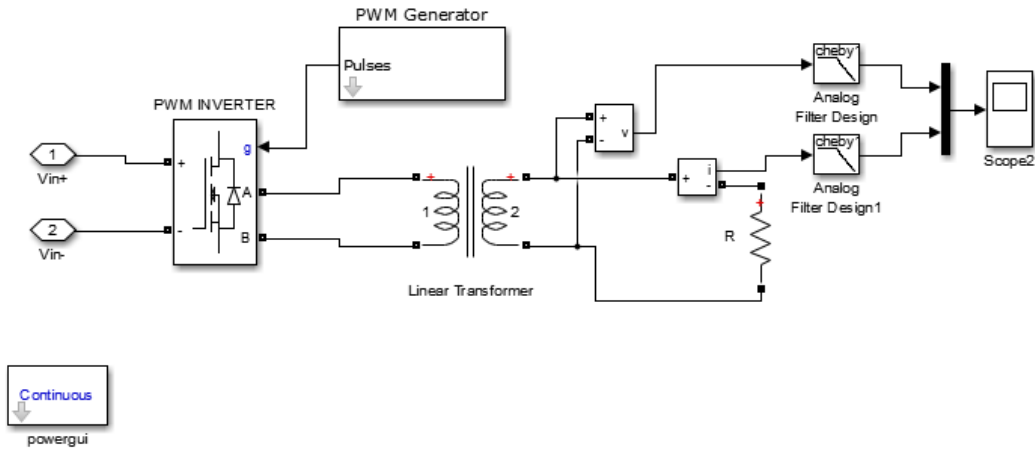
olarak ifade edilir. D; görev periyodunu temsil etmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan düşüren tipte konverterin benzetim çalışması Şekil 3.14'te görülmektedir.



Şekil 3. 14. DA-DA düşüren konverterin benzetimi

3.3.2. İnverter Benzetimi

Yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılan endüstriyel tipteki inverterler çıkış gerilimi karakteristiğine PWM inverter, saf sinüs inverter ve şebeke ile paralel çalışan inverter olmak üzere üçe ayrılır: Laboratuvarında deneysel çalışmada kullanılan inverter tek fazlı saf sinüsoidal inverter olduğundan, benzetim çalışmasında kullanılan hazır PWM inverter bloku çıkışından alınan PWM çıkış gerilimi; idealleştirilerek kullanılan bir lineer transformatörü ile 230 V efektif değerli, 50 Hz frekans değerinde bir AA gerilime dönüşmektedir. Kullanılan alçak geçiren filtre yapıları ile akım ve gerilimi; sinüsoidal gerilim ve akım elde edilmiştir. Tek fazlı tam sinüs inverttere ait benzetim çalışması Şekil 3.15'de görülmektedir.

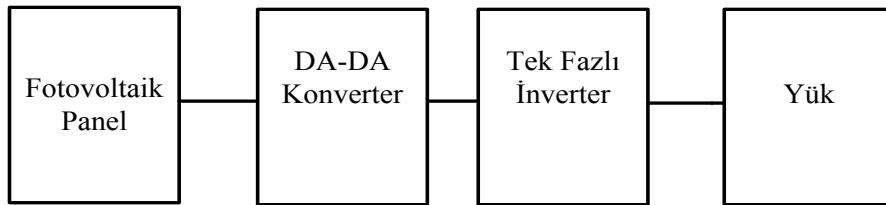


Şekil 3. 15. İnverter benzetimi

4. RÜZGAR ENERJİSİ VE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN OLUŞAN GÜÇ SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

4.1. Güneş Enerjisi Dönüşüm Sistemi

Blok diyagramı Şekil 4.1'de görülen güneş enerjisi dönüşüm sisteminde kullanılan fotovoltaiik panelin uçlarına, ışı nım ve sıcaklık değ erlerine ba ğlı olarak değ iş en bir DA gerilim düş mektedir. Gerçekleştirilen hibrit sistemin bileş enlerinden biri olan güneş enerjisi dönüş üm sisteminde enerji kayna ğı olarak ş ekil 4.2'de görülen ve her biri 160 W gücünde olan üç fotovoltaiik panelden sadece biri kullanılmış tır. Deneysel ç alışmada kullanılan fotovoltaiik panelin standart test koş ullarındaki maksimum gerilimi 35.2 V olduğ undan, fotovoltaiik panelin gerilimini 12 V değ erine düş ürebilmek ve böylelikle inverter giriş gerilimi için uygun değ eri sa ğ layabilmek için DA-DA konverter kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan inverter ile 230 V, 50 Hz değ erinde AA gerilim üretilerek istenen değ erde farklı yük tipleri beslenebilmektedir.



Şekil 4. 1. Güneş enerjisi dönüşüm sistemi blok diyagramı



Şekil 4. 2. Fotovoltaiik Paneller



Şekil 4. 3. DA-DA Düşüren Konverter



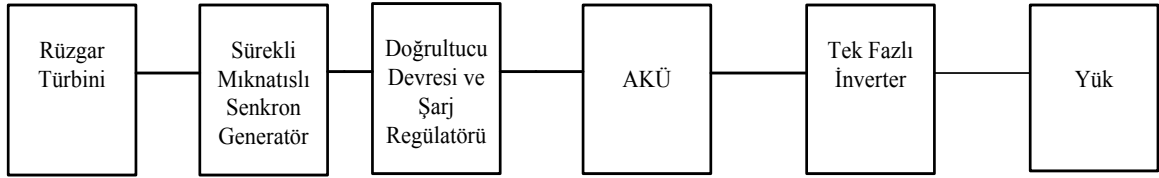
Şekil 4. 4. Tek fazlı sinüsoidal inverter

4.2. Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemi

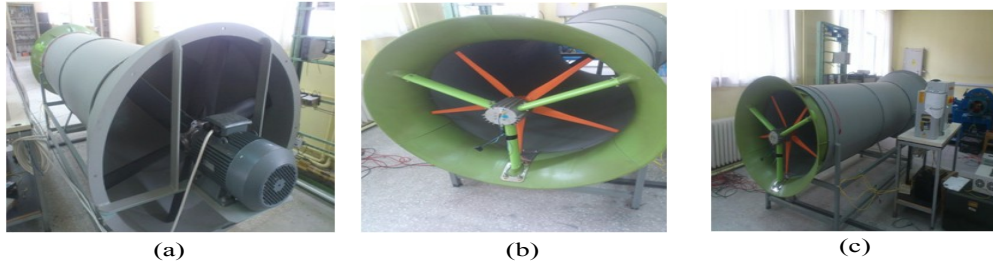
Hibrit sistemin bir diğer bileşeni olan rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi için laboratuvarında hali hazırda var olan ve MF.12.20 numaralı "Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatörlü Rüzgar Santrali" isimli proje kapsamında temin edilen malzeme ve teçhizatlar ile oluşturulmuş olan sistem kullanılmıştır. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemine ait blok diyagramı Şekil 4.5'te verilmiştir.

Sistemde hızı, bir frekans konverteri vasıtasıyla kontrol edilebilen ve Şekil 4.6.a'da görülen bir üç fazlı asenkron motor tarafından üretilen yapay rüzgar, bir rüzgar tüneline geçirilerek rüzgar türbininin kanatlarına çarpmaktadır. Nominal gücü 200 W olan ve Şekil

4.6.b'de verilen bir rüzgar türbini tarafından tahrik edilen sürekli mıknatıslı senkron generatörün stator sargısı uçlarında üç fazlı bir AA gerilim indüklenmektedir. Generatör gövdesine monte edilmiş doğrultucu devresi ile değişken bir DA gerilim elde edilmektedir. Elde edilen değişken DA gerilimi; şarj regülatörü kullanılarak, 12 V'luk 100 Ah kapasiteye sahip kurşun-asit bir aküyü şarj etmek için düzenlenmektedir. Akü uçlarına uygun şekilde bağlanacak bir inverter kullanılarak da DA gerilim tek fazlı AA gerilime dönüştürülebilir ve sistem isteğe bağlı olarak şebekeden veya hibrit sistemden bağımsız olarak çalıştırılarak istenen değerde farklı yük tiplerini besleyebilmektedir. Şekil 4.6.c'de ise rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin tamamı görülmektedir.



Şekil 4. 5. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi blok diyagramı



Şekil 4. 6. a)Yapay rüzgarı oluşturan asenkron motor b)Rüzgar türbini ve sürekli mıknatıslı senkron generatör c)Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi



Şekil 4. 7. Şarj Regülatörü



Şekil 4. 8. Kurşun-asit akü

AA sürücü tarafından tahrik edilen fanın, hava kanalında oluşturduğu rüzgar hızı değerlerine Tablo 4.1.'de yer verilmiştir. Buna göre; AA sürücü vasıtası ile asenkron motorun hızı arttırıldıkça kanalın rüzgar hızı da artmaktadır.

Tablo 4. 1. Değişken hız kademelerine göre anlık ortalama rüzgar hız değerleri[29]

Motorun Hızı (dev/dk)	Ortalama Rüzgar Hız Değerleri (m/sn)	Motorun Hızı (dev/dk)	Ortalama Rüzgar Hız Değerleri (m/sn)
224	2,76	784	9,97
280	4,18	840	10,73
336	4,72	896	10,87
392	5,25	952	11,71
448	6,12	1008	12,82
504	6,78	1036	13,06
560	7,44	1064	13,3
616	8,11	1120	13,56
672	8,84	1176	13,83
728	9,57	1232	14,54
756	9,79	1288	16,02

Tablo 4. 2. Farklı rüzgar hızları için kalıcı mıknatıslı senkron generatörün çıkış geriliminin genlik ve frekans değerleri

Motorun Hızı (dev/dk)	Gerilim (V)	Frekans (Hz)	Motorun Hızı (dev/dk)	Gerilim (V)	Frekans (Hz)
252	3,84	40	476	8,48	93,35
280	4,64	50,96	504	9,44	99,6
308	5,12	57,82	532	10,24	108,4
336	5,92	64,5	560	10,88	116,8
364	6,4	70,62	588	11,66	124,7
392	6,56	71,51	616	12,4	131,4
420	7,2	77,35	644	13,2	139,7
448	8	83,67			

Tablo 4. 3. Farklı rüzgar hızları ve yük değerleri için doğrultucunun-şarj regülatörünün akım ve gerilim değerleri

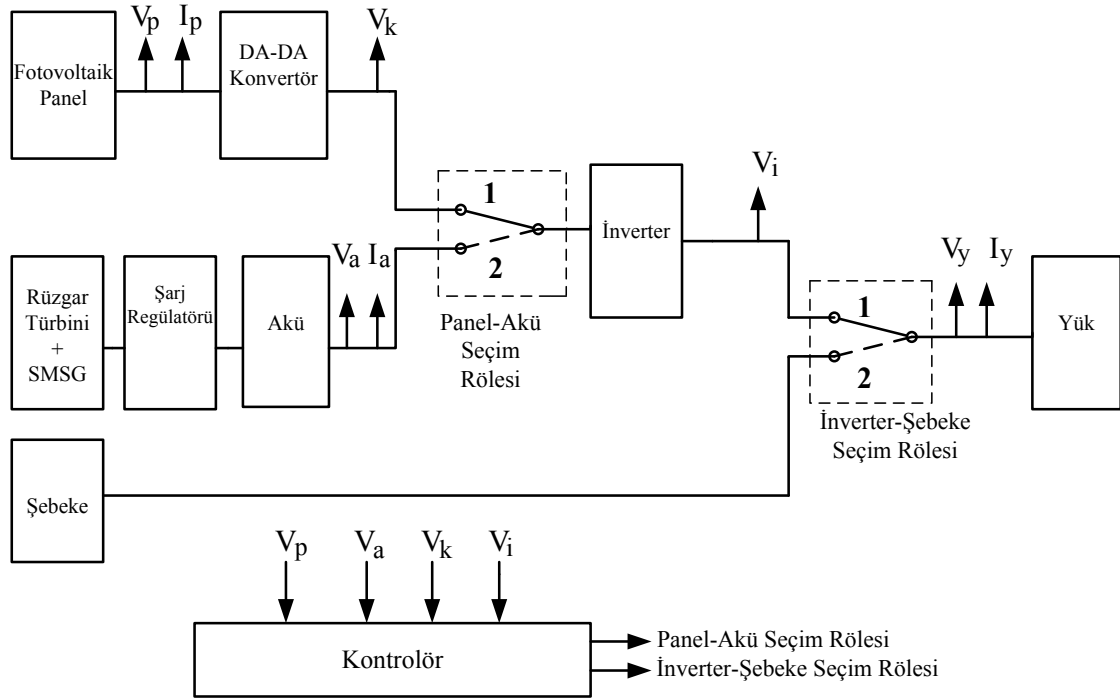
	Doğrultucu Çıkışı	Şarj Regülatörü Çıkışı
Motorun Hızı(dev/dk)	Yüksüz Gerilim(V)	Yüksüz Gerilim(V)
336	8,2	14,53
364	8,25	14,53
392	9,19	14,53
420	10,27	14,53
448	11,45	14,53
476	12,72	14,53
504	13,62	14,55
532	14,62	14,55
560	15,6	14,55
588	16,2	14,55
616	17,6	14,56
644	18,8	14,56
672	19,8	14,57

Tablo 4.2'de ve Tablo 4.3'te görüldüğü gibi kanal içindeki rüzgar hızı arttıkça buna bağlı sürekli mıknatıslı senkron generatörün rotor hızı da artacağından; senkron generatörde üretilen gerilim de artacaktır. Bu çıkış gerilimi şarj regülatörüne uygulanmak

için tam dalga doğrultucu vasıtası ile doğrultulmaktadır. Rüzgar hızı arttıkça doğrultulmuş gerilim de artmaktadır. Bu gerilim aynı zamanda şarj regülatörünün giriş gerilimini oluşturmaktadır. Şarj regülatörünün çıkış gerilimi ise akü girişlerine uygulanan gerilim olduğundan artan rüzgar hızlarında büyüyen generatör çıkış gerilimi ve doğrultulmuş gerilimden farklı olarak neredeyse sabittir.

4.3. Güneş Pili ve Rüzgar Türbininden Oluşan Güç Sistemi

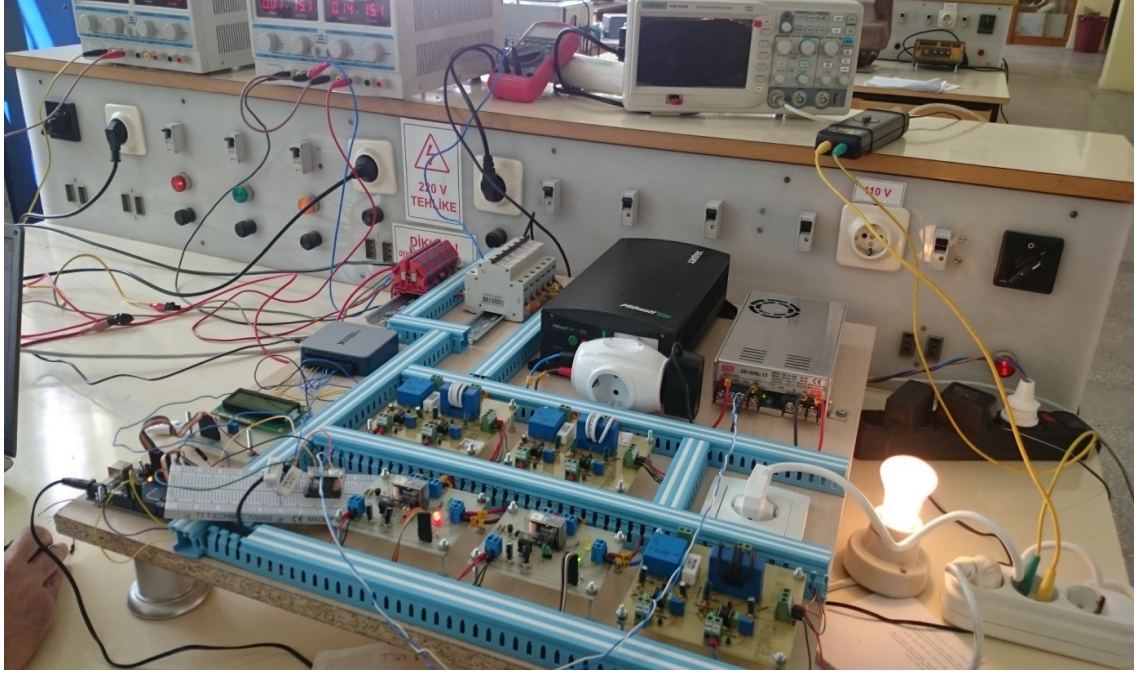
Laboratuvarda oluşturulan hibrit enerji sisteminde yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi yer almaktadır. Oluşturulan hibrit sistemde uygun çevresel koşullarda yükün güç ihtiyacı öncelikli kaynak olarak belirlenmiş olan fotovoltaik panel vasıtasıyla karşılanmaktadır. Fotovoltaik panelin sağladığı gücün yetersiz olduğu durumda ise talep edilen güç rüzgar türbini ile tahrik edilen sürekli mıknatıslı senkron generatörün beslediği akü tarafından sağlanmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından her ikisinin de yükün talep ettiği gücü karşılayamadığı durumda ise; yük doğrudan şebeke tarafından beslenerek, yükün enerji talebinin sürekli karşılanması hedeflenmiştir. Fotovoltaik panelin gerilimini uygun gerilime düşüren DA-DA düşüren konverter ve doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştüren inverter ise güç elektroniği elemanları olarak sistemde yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında tasarımı ve kontrolü gerçekleştirilen hibrit enerji sistemine ilişkin blok diyagramı Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4. 9. Gerçekleştirilen hibrit sistemin blok diyagramı

4.3.1. Deneysel Çalışma

Gerçekleştirilen sistemde Şekil 4.2'de gösterilen her biri 160 W değerindeki üç fotovoltaiik panelden yalnızca bir tanesi ve Şekil 4.6.b'de gösterilen rüzgar türbini tarafından tahrik edilen sürekli mıknatıslı senkron generatörün beslediği akü kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminde kullanılan akünün gerilimi 12 V, kapasitesi ise 100 Ah'dir. Fotovoltaiik panelin çıkışında 500 W gücünde, giriş gerilim aralığı 19-72 V olan ve çıkış gerilimi değeri ise 12 V olan bir DA-DA düşüren konverter kullanılmıştır. Böylelikle iki enerji kaynağının gerilim çıkışı değerleri, inverterin giriş gerilimi değerine uygun hale gelmiştir. Sistemde kullanılan 700 W gücündeki inverter 12 V DA gerilimi; genliği 230 V frekansı 50 Hz olan sinüsoidal gerilime dönüştürmektedir.

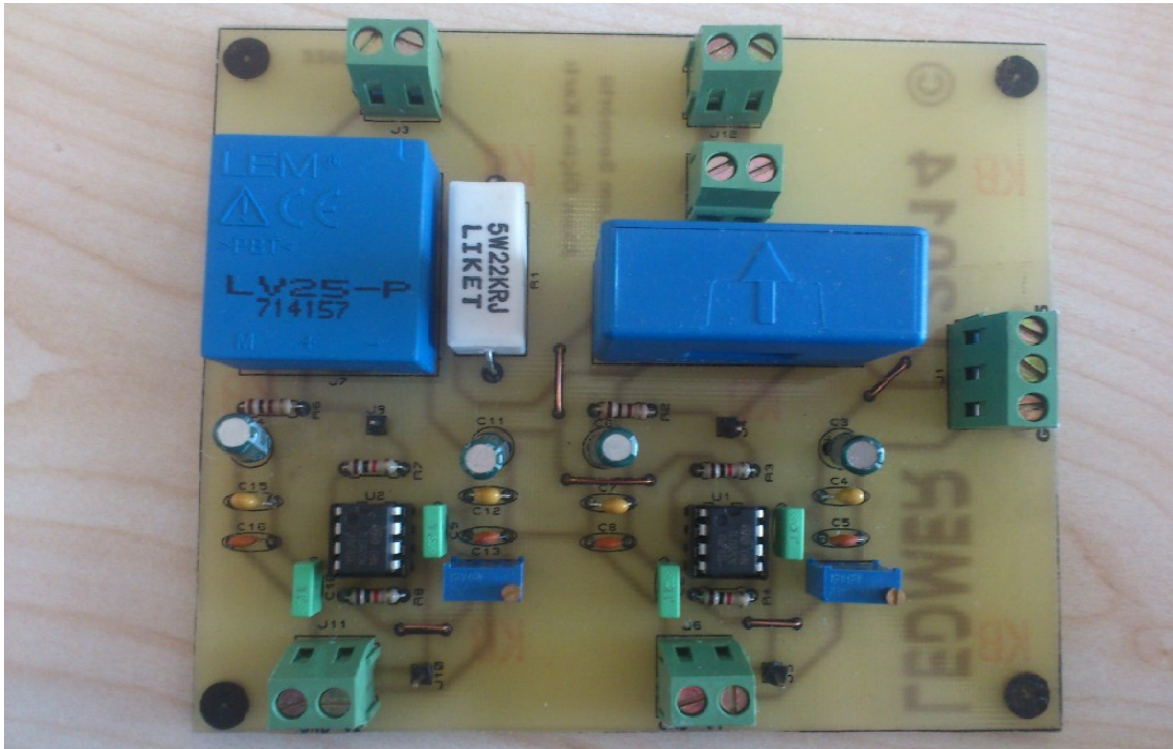


Şekil 4. 10. Gerçekleştirilen sistem

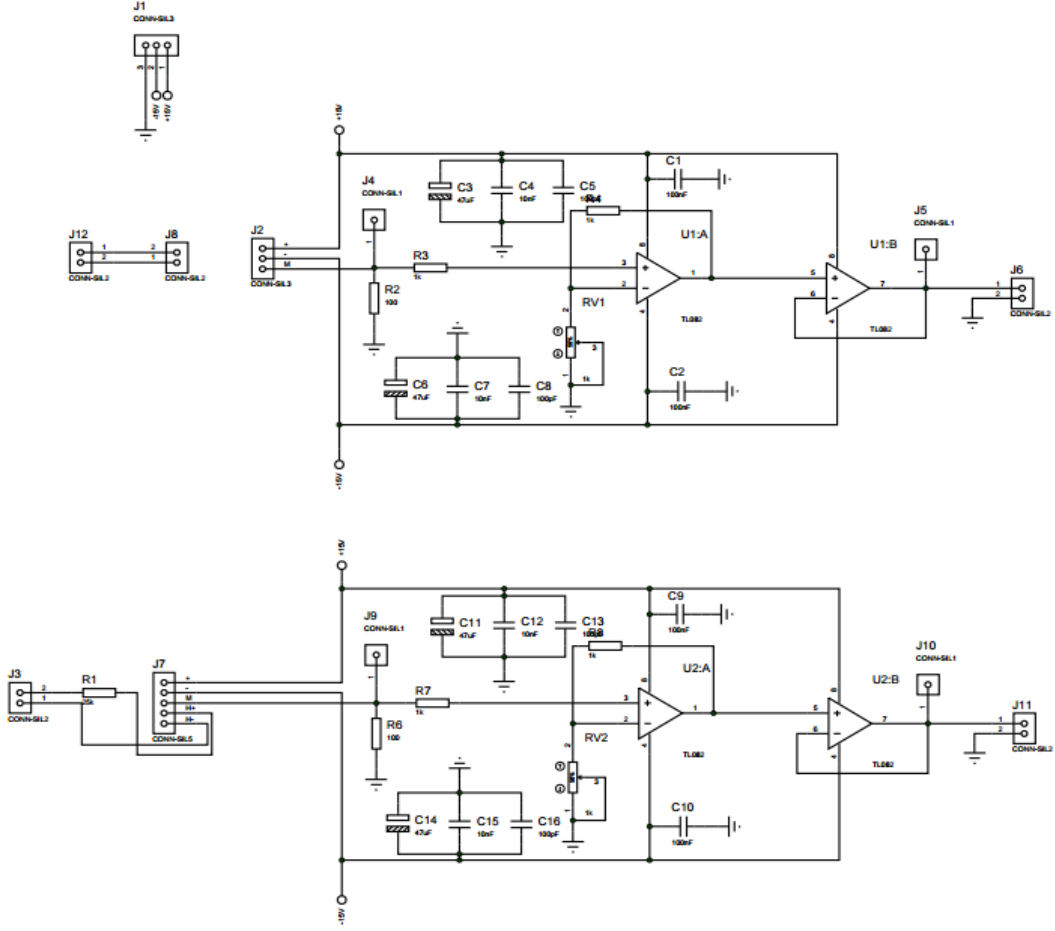
Oluşturulan sistemin güç yönetimi fotovoltaiik panel geriliminin, akü geriliminin ve inverter çıkış geriliminin ölçülmesi ve ölçülen gerilim değerlerinin Arduino mikro denetleyici tabanlı kontrol sistemi tarafından değerlendirilmesi esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Ölçülen fotovoltaiik panel gerilimi, akü gerilimi ve inverter gerilimi bilgisine göre; kontrolör vasıtasıyla röle bobinleri enerjilendirilerek, röle kontaklarının değişimi ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında uygun seçim yapılmaktadır.

Bu sebeple, akımın ve gerilimin istenen oranda dönüştürülmesi ve ölçümü için tasarlanmış elektronik ölçüm kartları kullanılmaktadır. Tasarlanan sistemde üç adet elektronik ölçüm kartı kullanılmıştır. Böylelikle her bir kart vasıtasıyla sırasıyla fotovoltaiik panelin akımı ve gerilimi, rüzgar türbini tarafından şarj edilen akünün akımı ve gerilimi, yükün akımı ve gerilimi ölçülmektedir. Kullanılan elektronik ölçüm kartlarında gerilim ölçümü için LV-25P isimli gerilim sensörü; akım ölçümü için ise LA-55P isimli akım sensörü kullanılmıştır. Ölçülmek istenen akım ya da gerilim değeri kart giriş portlarına uygulanmıştır. Gerilim ölçümünde; uygulanan gerilim devre üzerindeki bir direnç vasıtasıyla akım bilgisine dönüştürülür. Giriş akımı; Lem modülün dönüşüm değeri ile orantılı bir akım değerine dönüştürülür. Bu akım değeri ise bir çıkış direnci üzerinden gerilim değerine dönüştürülür. Ölçülen ve dönüştürülen gerilim; devre çıkışından yine gerilim bilgisi olarak alınmaktadır. Dönüştürülen akım ve gerilim; kart üzerinde yer alan

trimpot vasıtasıyla belli bir aralıkta istenen değere yükseltilebilir. Her bir ölçüm kartında akımın ve gerilimin çıkış değerleri giriş değerinden bağımsız olarak 0-5 V aralığında gerilim değeri aralığına ayarlanmıştır. Böylelikle sistemde kontrolör olarak kullanılan Arduino Mega tabanlı mikro denetleyicinin analog giriş pinlerine uygulanacak panel geriliminin ve akü geriliminin mikro denetleyiciye uygulanabilecek seviyede olması sağlanmıştır. Bu değerlerin, sistem kontrolü için hazırlanan yazılımda ilgili matematiksel değer dönüşümleri yapılarak gerçek değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca elektronik ölçüm kartı vasıtasıyla elde edilen panel akım ve gerilimi, akü akım ve gerilimi ve yük akım ve gerilimi değerleri bir veri kaydedici cihaz vasıtasıyla kaydedilerek, Labview yazılımı vasıtasıyla dalga şekilleri gözlemlenebilmektedir. Kullanılan akım-gerilim ölçüm devresi Şekil 4.11'de ve ölçüm devresine ilişkin devre yapısı ise Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4. 11. Akım-gerilim ölçüm devresi

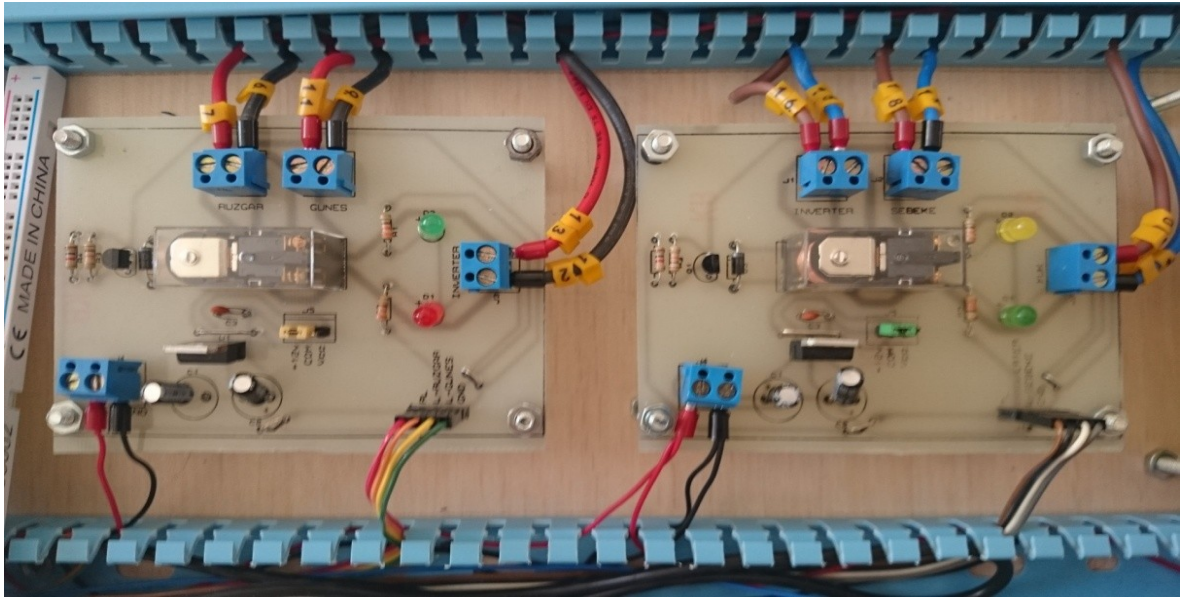


Şekil 4. 12. Akım-gerilim ölçüm devresi bağlantı şeması

Tasarlanan hibrit sistemin kontrolü için değerlendirilmesi gereken bir diğer büyüklük; inverter çıkış gerilimidir. Kullanılan iki yenilenebilir enerji kaynağının da sağladığı enerji yetersiz olduğunda ve gerilim değerleri sistem kontrolü için belirlenmiş uygun değerlerin altında kaldığında inverter çıkış gerilimi vermemektedir. Ayrıca aşırı sıcaklık, aşırı yüklenme, belli değerlerin altında ya da üstünde giriş gerilimi uygulanması gibi durumlarda sistemde kullanılan inverter, belirli hata kodları ile kullanıcıyı bilgilendirmektedir ve bu durumda çıkış gerilimi üretilmemektedir. Benzeri bir durumda ya da invertere ilişkin bir arıza durumu sebebi ile kaynaklar yeterli enerjiyi üretse bile inverterin çıkış gerilimi vermemesi durumunda, yükün enerji ihtiyacının şebeke tarafından karşılanması istenmektedir. Bu sebeple yük bağlantısının yanı sıra hazırlanan röle devresine de inverter gerilimi uygulanmaktadır, inverter çalışır durumda olduğunda röle bobini enerjili kalmaktadır, böylelikle mikro denetleyicinin 5 V gerilim sağlayan besleme pininden sağlanan gerilim; yine mikro denetleyiciye dijital giriş bilgisi 1 olarak

aktarılmaktadır. İnverter aktif olmadığında ise röle bobininin enerjisi kesildiğinden mikro denetleyiciye aktarılan dijital giriş bilgisi 0 olarak verilmektedir. Kontrolör; alınan bu dijital giriş bilgisini değerlendirerek inverterin aktif olduğu veya olmadığı durum için farklı çalışma algoritmaları ile röle devrelerini enerjilendirerek sistemin çalışmasını sağlamaktadır.

Şekil 4.13'te panel-akü seçim rölesi devresi ve inverter-şebeke seçim rölesi devresi görülmektedir. Panel-akü seçim rölesinin; normalde kapalı kontakları fotovoltaiik panelin çıkış gerilimini düşüren DA-DA konverterin çıkış uçlarına bağlıdır. Rölenin normalde açık kontakları ise rüzgar türbini tarafından şarj edilen aküye bağlanmıştır. Mikro denetleyici tarafından yapılan değerlendirme sonucunda, inverter giriş gerilimini sağlayacak kaynağın seçimi yapılmaktadır. İnverter-şebeke seçim rölesinde ise; rölenin normalde kapalı kontakları inverter çıkışı uçlarına, normalde açık kontakları ise şebeke uçlarına bağlıdır. Yapılan değerlendirme sonucunda, inverter ve şebeke arasında bir seçim yapılmaktadır.



Şekil 4. 13. Panel-akü seçim rölesi ve şebeke-inverter seçim rölesi

Ölçülen panel gerilimi değeri, akü gerilimi değeri ve sistemin güç akışı bilgisi şekil 4.14'te görülen LCD ekran vasıtası ile görülmektedir. Aynı zamanda röle devreleri üzerindeki LED'ler ile kaynak kullanımına ve sistemdeki güç akışına ilişkin anlık bilgi alınabilmektedir. Gerçekleştirilen sistemin kontrolünde kullanılan Arduino tabanlı mikro

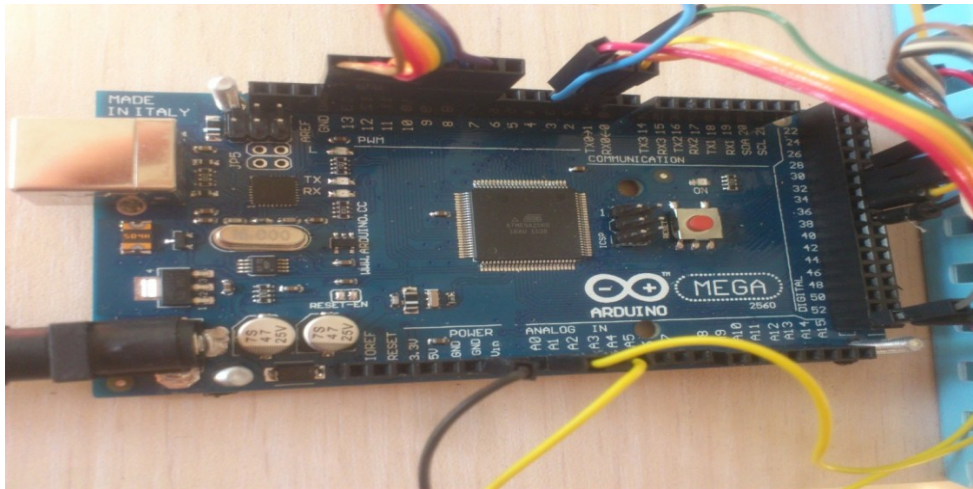
denetleyici şekil 4.16'da görülmektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen deneysel sonuçlar şekil 4.15'te verilen veri kaydedici ile kaydedilmiştir.



Şekil 4. 14. LCD ekran devresi



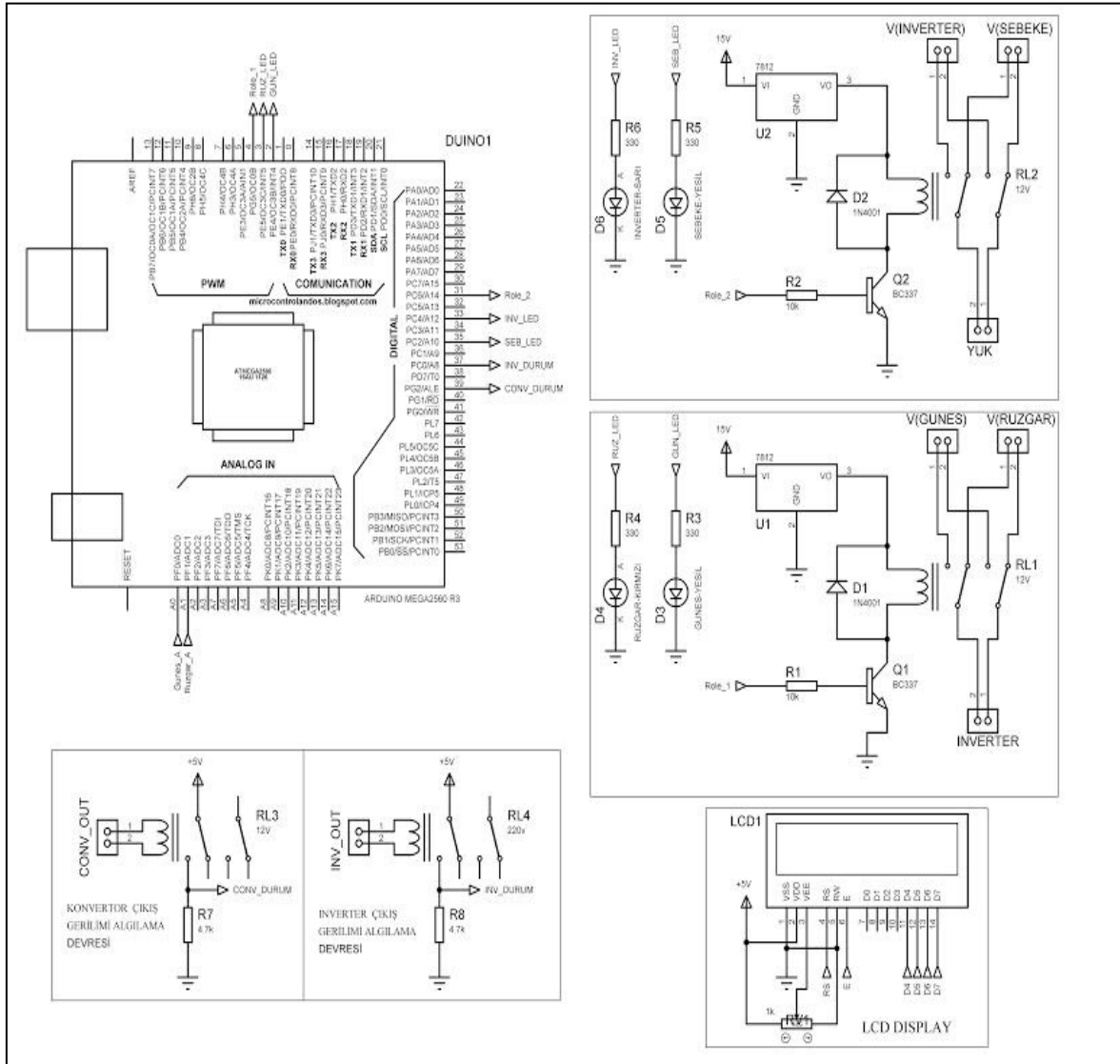
Şekil 4. 15. Veri kaydedici



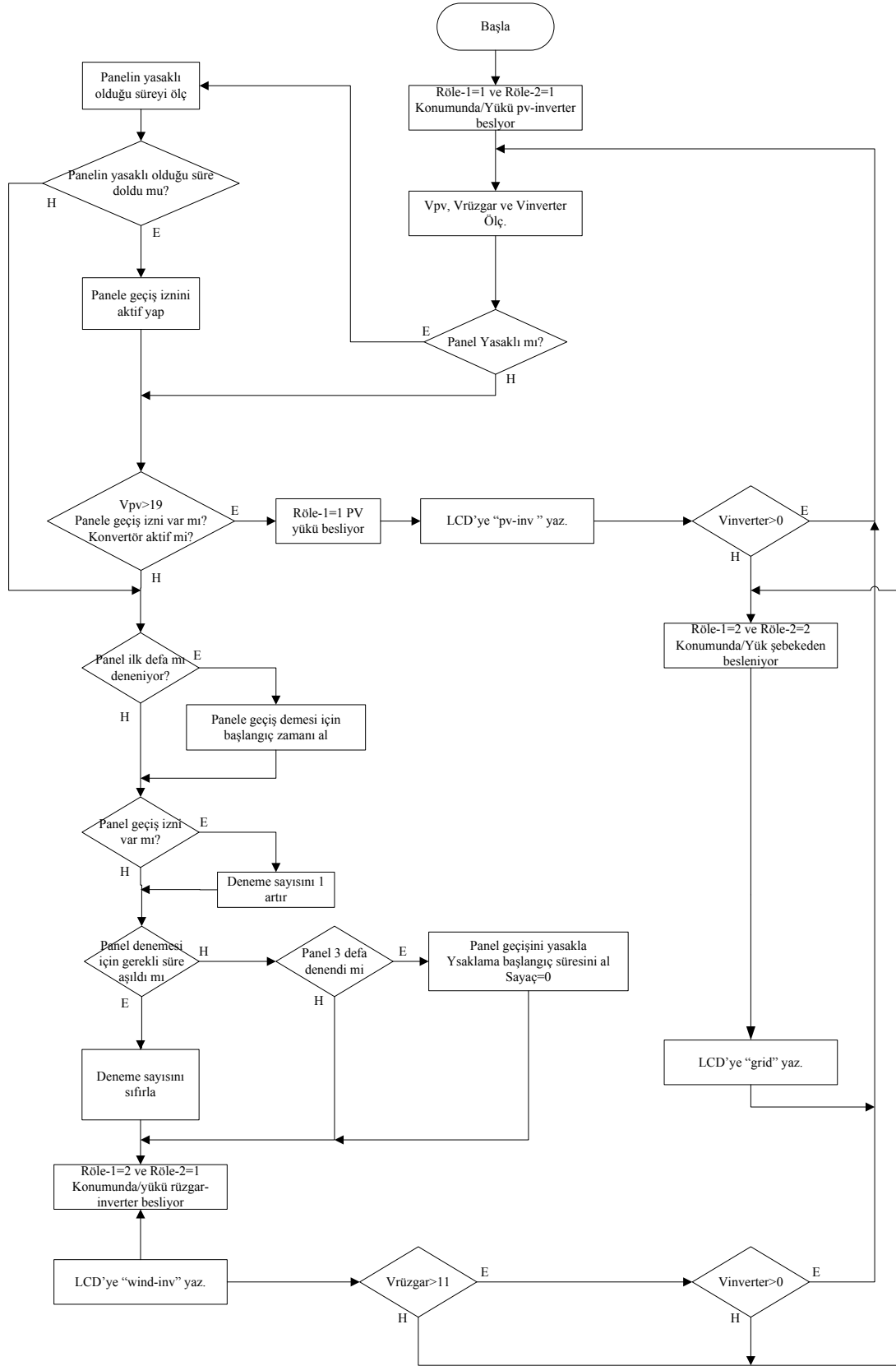
Şekil 4. 16. Arduino tabanlı mikro denetleyici

Kontrol devresinin çalışması, konverter girişine uygulanan fotovoltaik panel geriliminin, sistemde yer alan akünün ve inverter çıkış geriliminin anlık olarak ölçülmesi ve değerlendirilmesi prensibine dayanmaktadır. Sistemde öncelikli kaynak olarak güneş enerjisi tercih edilmiştir.

Şekil 4.17'de gerçekleştirilen sistemde yer alan panel-akü seçim rölesini, inverter-sebeke seçim rölesini, LCD ekran devresini, inverter ve konverter röle devrelerini ve kontrolör olarak kullanılan Arduino Mega'yı içeren devre bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 4. 17. Gerçekleştirilen sisteme ilişkin devre bağlantı şeması



Şekil 4. 18. Hibrit sistem kontrol programı akış diyagramı

Hibrit sistemin kontrolüne ilişkin hazırlanan programın akış diyagramı Şekil 4.18'de gösterilmektedir. Buna göre;

Gerçekleştirilen hibrit sistemde öncelikli enerji kaynağı güneş enerjisi olarak belirlenmiştir. Uygun çevresel koşullar altında yükün güç ihtiyacı fotovoltaiik panel tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda ne panel-akü seçim rölesindeki ne de inverter-şebeke seçim rölesindeki röle bobinleri enerjilendirilmez. Böylece hem panel-akü seçim rölesinin hem de inverter-şebeke seçim rölesinin normalde kapalı kontakları üzerinden yükün güç ihtiyacı fotovoltaiik panel ve inverter vasıtasıyla karşılanacaktır. Bu durumda panel-akü seçim rölesi devresinde güç ihtiyacı fotovoltaiik panelden karşılandığı için yeşil LED, inverter-şebeke rölesinde ise sarı LED enerjili durumdadır. Ayrıca sistem enerji akışı durumunu ve panel-akü gerilim değerlerini içeren bir bilgilendirme LCD ekran vasıtasıyla yapılmaktadır.

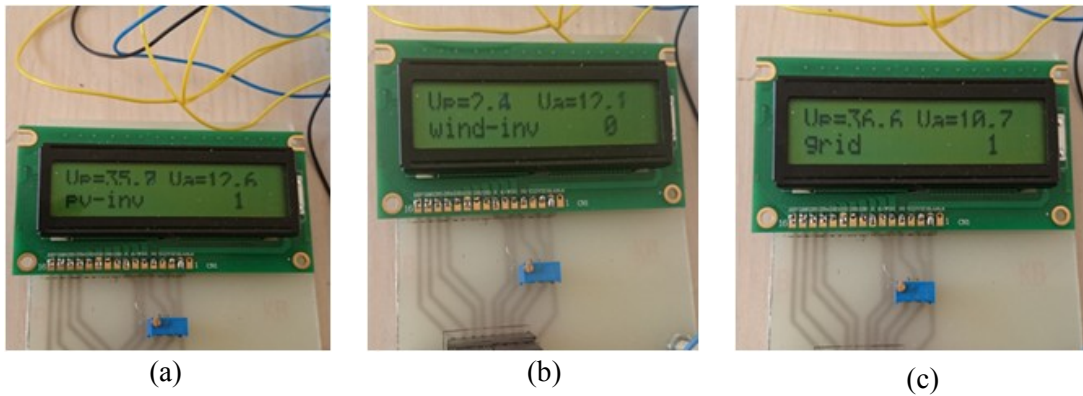
Özellikle fotovoltaiik panelin yüklü olduğu durumda, ışıınım ve sıcaklık değişimine bağılı olarak, fotovoltaiik panel gerilimi 19 V'un altına düşerse; DA-DA konverter 12 V çıkış gerilimini sağlayamayacağı için inverter için uygun giriş gerilimi değeri de sağlayamadığından, yükün güç ihtiyacı karşılanamayacaktır. Bu durumu engellemek için; panel-akü seçim rölesi kontrolör tarafından enerjilenecektir ve yük akımını; rüzgar türbini tarafından beslenen akü sağlayacaktır. Bu durumda panel-akü seçim rölesi devresinde güç ihtiyacı aküden karşılandığı için kırmızı LED, inverter-şebeke rölesinde ise sarı LED enerjilendirilir. Ayrıca sistem enerji akışı durumunu ve panel-akü gerilim değerlerini içeren başka bir bilgilendirme LCD ekran vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu esnada belirlenmiş süre aralıklarıyla panel-akü seçim rölesinin enerjisi kesilerek panelin yüklü koşullardaki gerilim değeri ölçülmektedir ve bu gerilim 19 V'un üzerinde ise yük tekrar fotovoltaiik panel vasıtasıyla beslenecektir. Aksi takdirde yük akü vasıtası ile beslenmeye devam edecektir.

Gerçekleştirilen sistemde; bu koşullar altındaki çalışma durumlarında sistemin kararsız çalışmasına ve panel-akü seçim rölesinin kapalı kontaklarının sürekli değişmesine sebep olabilecek bir durum; hazırlanan yazılım ile engellenmiştir. Kararsızlığı oluşturan durum şu şekilde açıklanabilir; yükü beslemekte olan fotovoltaiik panel istenen gücü sağlayamadığında, panel uçlarındaki gerilim düşer ve kaynak olarak akü devreye girer. Bu gerilim düşümü; rölenin enerjilendirilmesine bağılı olarak yükün akü tarafından beslenmesiyle ortadan kalkacaktır. Boşta çalışan panelin gerilimi hızla artacağından

kontrolör tekrar öncelikli kaynak olarak belirlenen fotovoltaik panel vasıtasıyla yükü beslemek isteyecektir ve röle kontakları ilk konumuna dönecektir. Tekrar yüklenen panelin gerilimi çevresel koşullar değişmemiş ise yine düşecektir ve bu döngü sürekli devam edecektir. Bu kararsızlığı engelleyebilmek için panel-akü seçim rölesi kaynaklar arası geçiş işlemi üç defa ile sınırlamaktadır. En son durumda yüklü panel geriliminin yine 19 V'un altında olması durumunda kaynak olarak akü seçilerek, belirlenen süre kadar panel gerilimini dikkate almayarak geçiş yapmayacaktır. Bu sürenin sonunda sistem yine paneli kaynak olarak seçmeyi deneyecektir, Eğer aynı kararsızlık devam ediyorsa yine aynı süre kadar akü kaynak olarak çalışmayı sürdürecektir.

Panelin ve akünün her ikisinin de yükün ihtiyacı olan gücü karşılayamaması durumunda inverter çıkış gerilimi sıfır olacağı için, inverter-şebeke seçim rölesi konum değiştirerek, yükün şebeke tarafından beslenmesi sağlanacaktır. Aynı durum kaynaklardan sağlanan güç yeterli olsa bile, herhangi bir sebeple inverter gerilinin sıfır olması koşulu için de geçerlidir. Bu durumda panel-akü seçim rölesi devresinde kırmızı LED, inverter-şebeke rölesinde ise yeşil LED enerjilendirilir. Ayrıca sistem enerji akışı durumunu ve panel-akü gerilim değerlerini içeren başka bir bilgilendirme LCD ekran vasıtasıyla yapılmaktadır.

Şekil 4.19'da farklı çalışma koşulları için LCD ekranda yazdırılan bilgi mesajları görülmektedir.



Şekil 4. 19. Farklı çalışma koşulları için LCD ekranda yazdırılan bilgi mesajları a)yükün fotovoltaik panel tarafından beslendiği durum b)yükün akü tarafından beslendiği durum c)yükün şebeke tarafından beslendiği durum

Tablo 4.4.'te gerçekleştirilen hibrit sistemin farklı çalışma durumlarında, yükü besleyen kaynağın hangisi olduğu, LCD ekranda yazdırılan bilgi mesajı ve röle devrelerinde enerjilendirilen Led'lerin durumu gösterilmiştir.

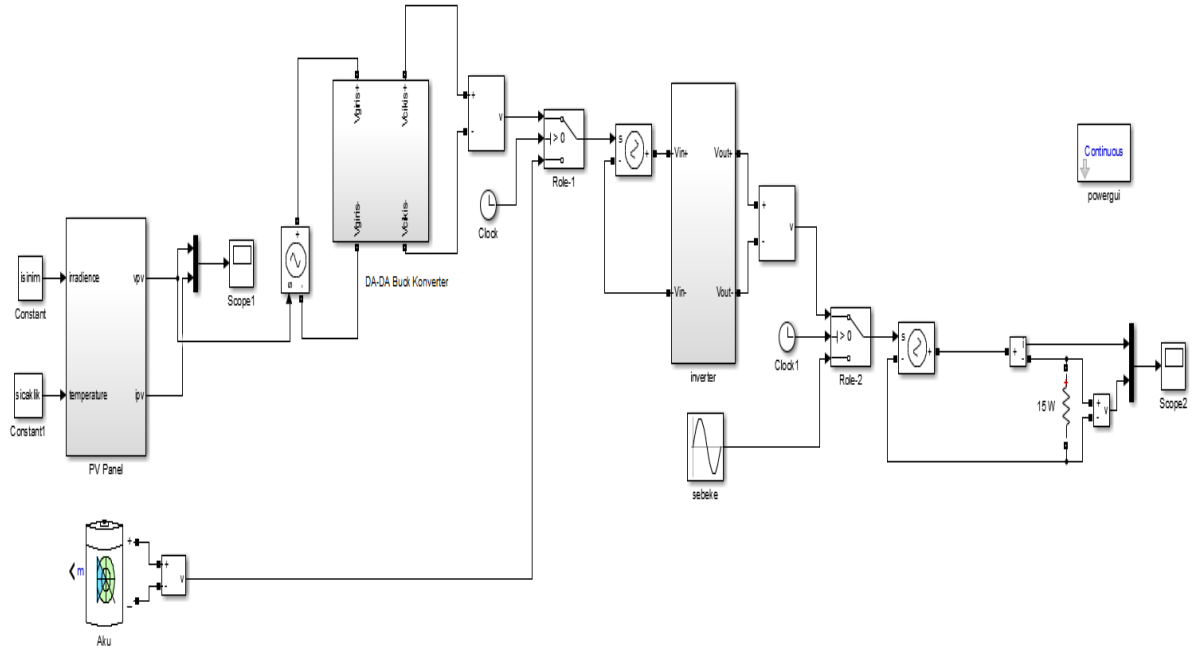
Tablo 4. 4.Gerçekleştirilen hibrit sistemde olası çalışma durumları için yükü besleyen kaynak, LCD ekrandaki bilgi mesajı ve enerjilenen LED'lerin durumu

Çalışma Durumları	V_p	V_a	İnverter	Yükü Besleyen Kaynak	LCD Ekran Bilgilendirme Mesajı	Röle Devrelerinde Enerjilenen Led'lerin Durumu
1.	$V_p > 19 \text{ V}$	$V_a > 11 \text{ V}$	Aktif	Fotovoltaik Panel	"pv-inv"	Yeşil/Sarı
2.	$V_p > 19 \text{ V}$	$V_a < 11 \text{ V}$	Aktif	Fotovoltaik Panel	"pv-inv"	Yeşil/Sarı
3.	$V_p > 19 \text{ V}$	$V_a > 11 \text{ V}$	Aktif Değil	Şebeke	"grid"	Yeşil/Yeşil
4.	$V_p > 19 \text{ V}$	$V_a < 11 \text{ V}$	Aktif Değil	Şebeke	"grid"	Yeşil/Yeşil
5.	$V_p < 19 \text{ V}$	$V_a > 11 \text{ V}$	Aktif	Rüzgar Türbini	"wind-inv"	Kırmızı/Sarı
6.	$V_p < 19 \text{ V}$	$V_a > 11 \text{ V}$	Aktif Değil	Şebeke	"grid"	Kırmızı/Yeşil
7.	$V_p < 19 \text{ V}$	$V_a < 11 \text{ V}$	Aktif Değil	Şebeke	"grid"	Kırmızı/Yeşil

Tablo 4.4'te görülen fotovoltaik panelin aktif kaynak olduğu; Durum-1 ve Durum-2, rüzgar türbini tarafından tahrik edilen sürekli mıknatıslı senkron generatör tarafından şarj edilen akünün aktif kaynak olduğu; Durum-5 ve şebekenin aktif kaynak olduğu; Durum-7 tasarlanan güç sistemindeki olağan çalışma koşullarıdır. İnverterde bakım ya da arıza gibi sebeplerle gerçekleşen Durum-3, Durum-4 ve Durum-6 ise olağan dışı çalışma koşullarını temsil etmektedir. Bu olağan dışı çalışma koşullarına ilişkin kontrol algoritmaları da yazılımda belirtilerek yükün güç ihtiyacının sürekli karşılanması hedeflenmektedir.

4.3.2. Benzetim Çalışması

Deneysel uygulaması yapılan hibrit sistemin Matlab/Simulink programında hazırlanan benzetim çalışması Şekil 4.20'de görülmektedir. Benzetim çalışmasında, enerji kaynakları olarak fotovoltaiik panel ve akü kullanılmıştır. Uygulamada rüzgar türbini tarafından şarj edilen akünün benzetimi yapılırken; Simulink programında hazır bir eleman olarak bulunan aküden faydalanılmıştır. Kurşun-asit olarak seçilen akünün parametreleri uygulamadaki akü esas alınarak belirlenmiştir. Diğer kaynak olarak seçilen fotovoltaiik panele ilişkin oluşturulan matematiksel model üçüncü bölümde yer almaktadır. Fotovoltaiik panel modelinin giriş portlarına, panele ait ışıınım ve sıcaklık bilgisi uygulanırken çıkışında panel akımı ve gerilimi elde edilmiştir.



Şekil 4. 20. Hibrit sisteme ilişkin benzetim çalışması

5. DENEYSEL SONUÇLARIN VE BENZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

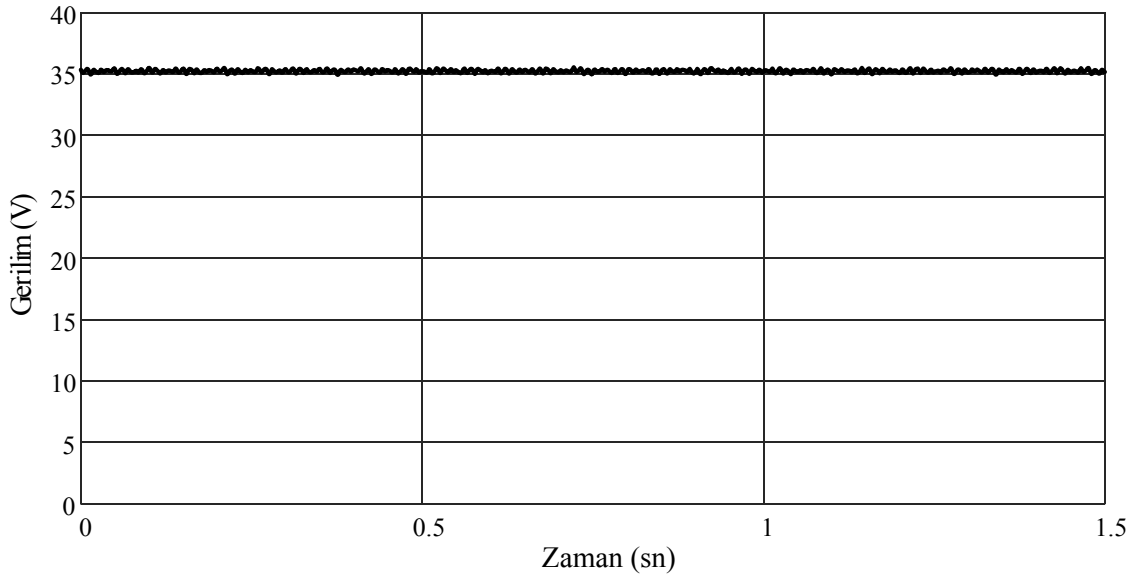
5.1. DeneySEL Sonuçlar

Tezin bu bölümünde, bir önceki bölümde anlatılan sistemin kontrolü ve çalışmasına ilişkin elde edilen deneysel sonuçlar incelenmektedir. Tablo 4.4'te görüldüğü gibi, öncelikle Durum-1, Durum-2, Durum-3 ve Durum-4 olarak adlandırılan ve fotovoltaiik panel geriliminin 19 V'un üzerinde olduğu çalışma durumları incelenmiştir. Daha sonra ise fotovoltaiik panel geriliminin 19 V'un altına düştüğü durumlarda sistemin çalışması incelenmiştir. Akü geriliminin yeterince büyük, fotovoltaiik panel geriliminin ise belirlenen değerdan küçük olduğu Durum-5 ve Durum-6 için özellikle fotovoltaiik panelin ışı nım değeriyle orantılı olarak ürettiği güç değerine bağı lı olarak, uygulamada karşı laşı lan problemler ve bu problemlerin çözümüne yönelik yapılan çalışmalardan da bahsedilmiştir.

5.1.1. Durum-1 ve Durum-2

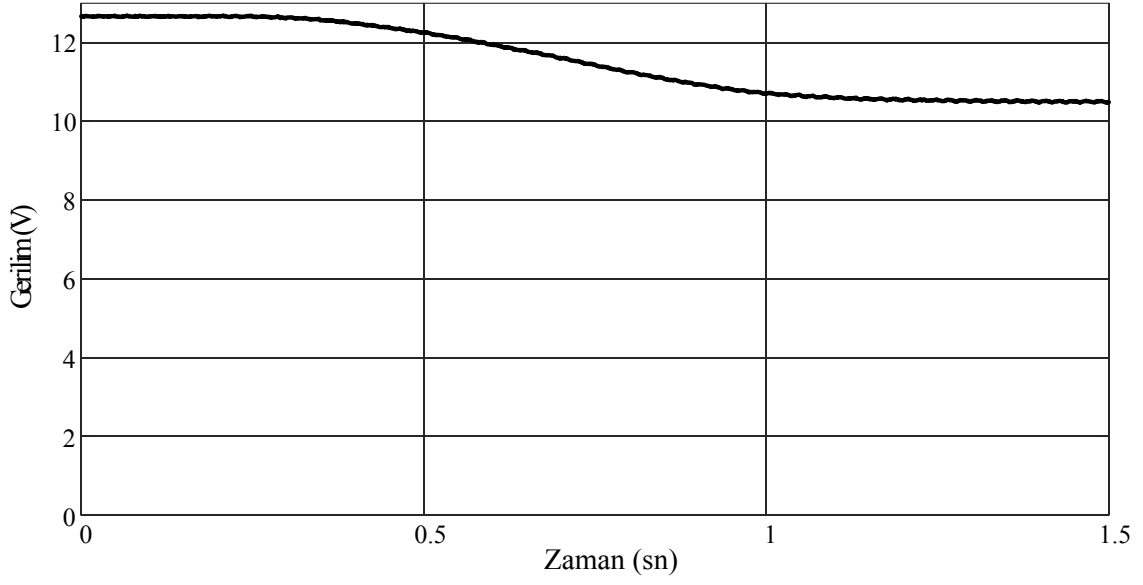
Durum-1 ve Durum-2 olarak adlandırılan çalışma durumları; Tablo 4.4'te de görülebileceği gibi; yüklü çalışmada panel geriliminin 19 V'dan büyük olduğu, yüklü durumda akü geriliminin Durum-1 için 11 V'dan büyük, Durum-2 için ise 11 V'dan küçük olduğu ve her iki çalışma durumu için de inverterin aktif olduğu durumlardır.

Gerçekleştirilen hibrit sistemde öncelikli enerji kaynağı olarak güneş enerjisi belirlenmiştir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi seçilen çalışma süresi aralığı boyunca yüklü durumda panel geriliminin ortalama değeri $V_p=35,2$ V'tur. Yüklü çalışma koşullarında fotovoltaiik panel geriliminin istenen ve yeterli değeri sağlaması sebebiyle yükün enerji ihtiyacı fotovoltaiik panel vasıtasıyla karşı lanmaktadır. Fotovoltaiik panel gerilimi, DA-DA konverterin çıkış uçlarında, inverter için uygun giriş gerilimi olan yaklaşık 12 V değerine düşürülmektedir.

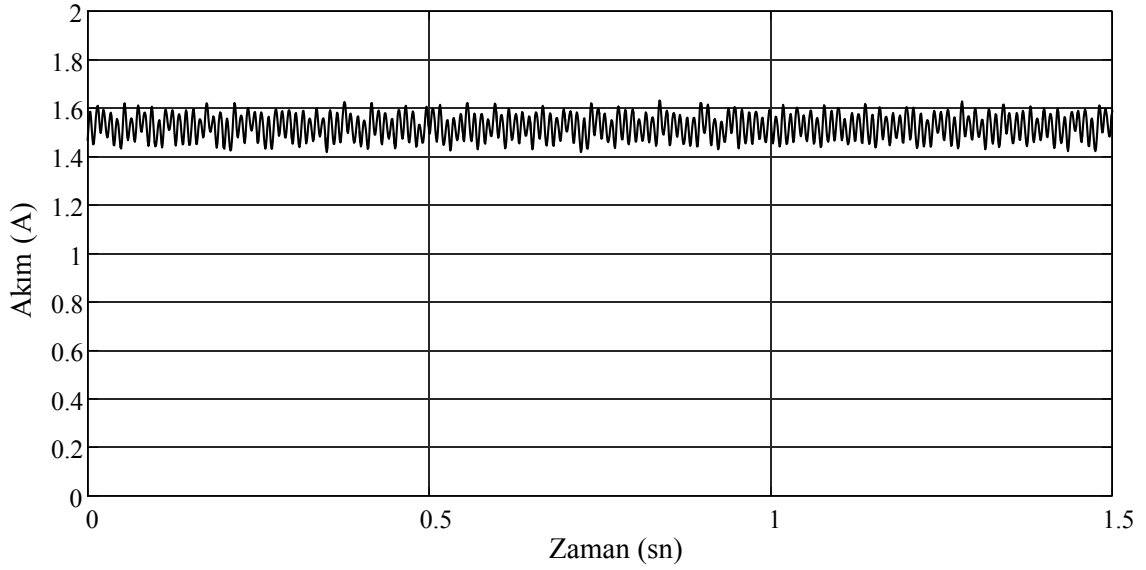


Şekil 5.1. Fotovoltaik panel gerilimi-zaman grafiği

Bu koşullarda; akü geriliminin değişiminin çalışmaya etkisinin gözlemlenebilmesi için akü gerilimi kısa bir zaman aralığında düşürülmüştür. Şekil 5.2'de görülen gerilimi düşümünü istenen zaman aralığında sağlayabilmek için akü yerine laboratuvarında mevcut olan DA güç kaynağından faydalanılmıştır. Aslında yük fotovoltaik panel tarafından beslenirken, aküden herhangi bir değerde akım çekilmeyeceğinden verilen akü gerilimi-zaman karakteristiğinin bu çalışma koşulları için gerçekleşmesi mümkün değildir. Oluşturulan şartlar Tablo 4.4'te gösterilen 1. ve 2. durumu kısa bir zaman aralığında ve bir arada inceleyebilmek adına oluşturulmuştur. Akü gerilimi $t=0$ anında 12,66 V değerinde iken, $t=0,87$ sn'den sonra $V_a=11$ V'un altına düşmektedir. Bu değer akü gerilimi için belirlenen sınır gerilim değeridir. Çalışma süresinin sonu olan $t=1,5$ sn değerinde ise $V_a=10,49$ V değerine kadar düşmektedir. Görüldüğü gibi mevcut koşullarda olduğu gibi, yük fotovoltaik panel tarafından beslenirken akü gerilimindeki bir değişikliğin sistemin çalışmasına herhangi bir etkisi olmamaktadır.

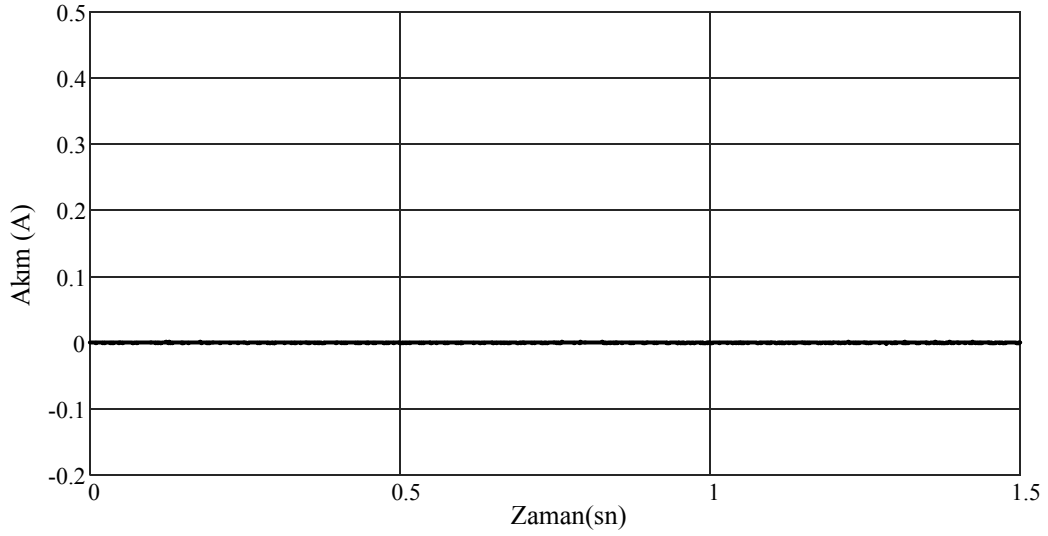


Şekil 5. 2. Akü gerilimi-zaman grafiği

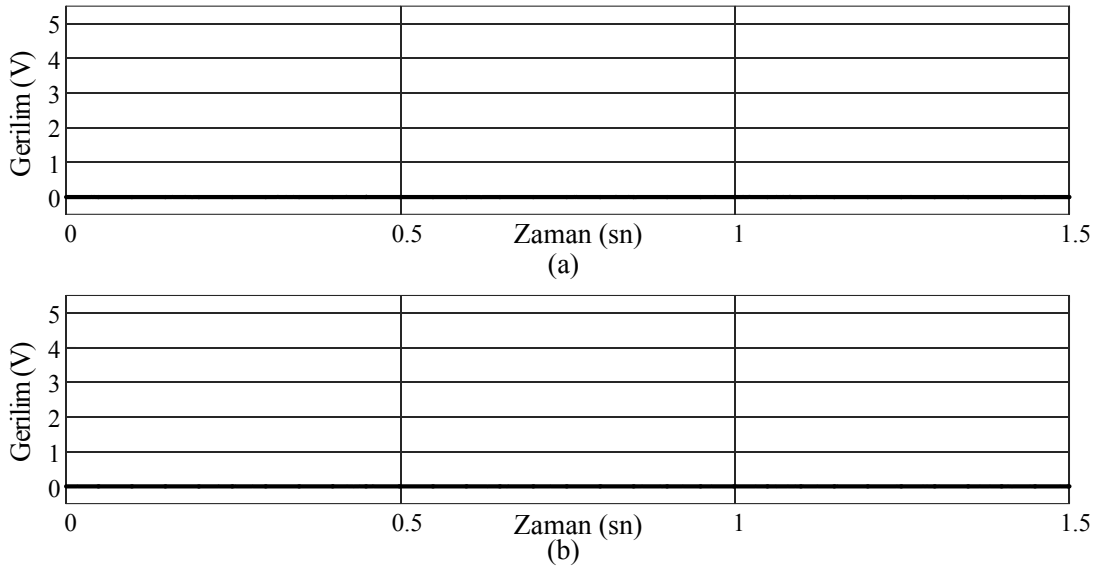


Şekil 5. 3.Panel akımı-zaman grafiği

Şekil 5.3'te görülen grafikte, fotovoltaik panelden çekilen akımının ortalama değeri 1,52 A'dır. Bu çalışma koşullarında, akünün yükü beslemediği ve aküden akım çekilmediği Şekil 5.4'te verilen akü akımı-zaman grafiğinde görülmektedir.

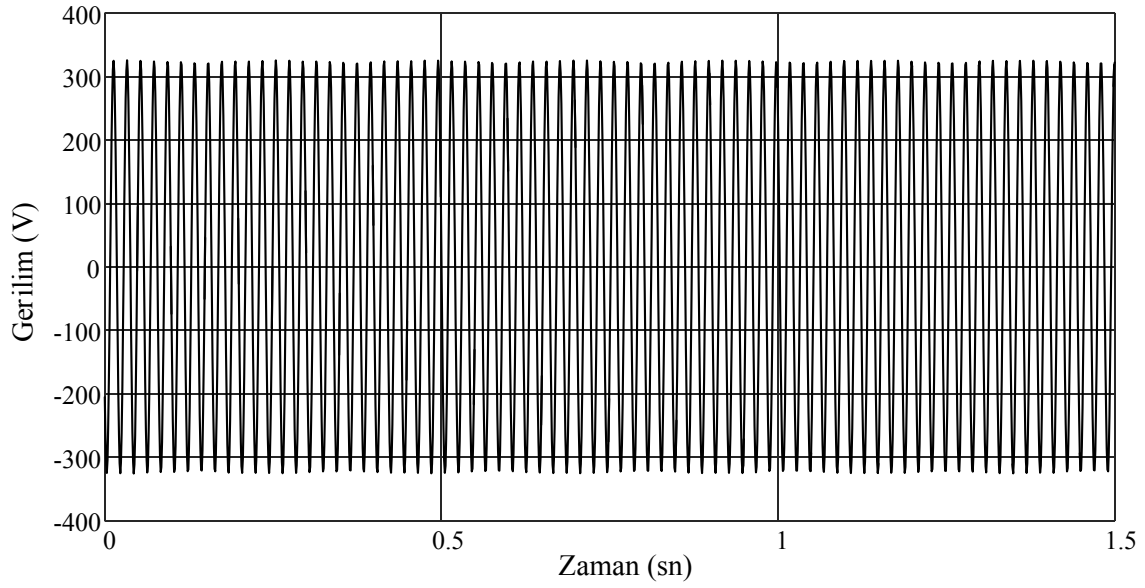


Şekil 5. 4. Akü akımı-zaman grafiği



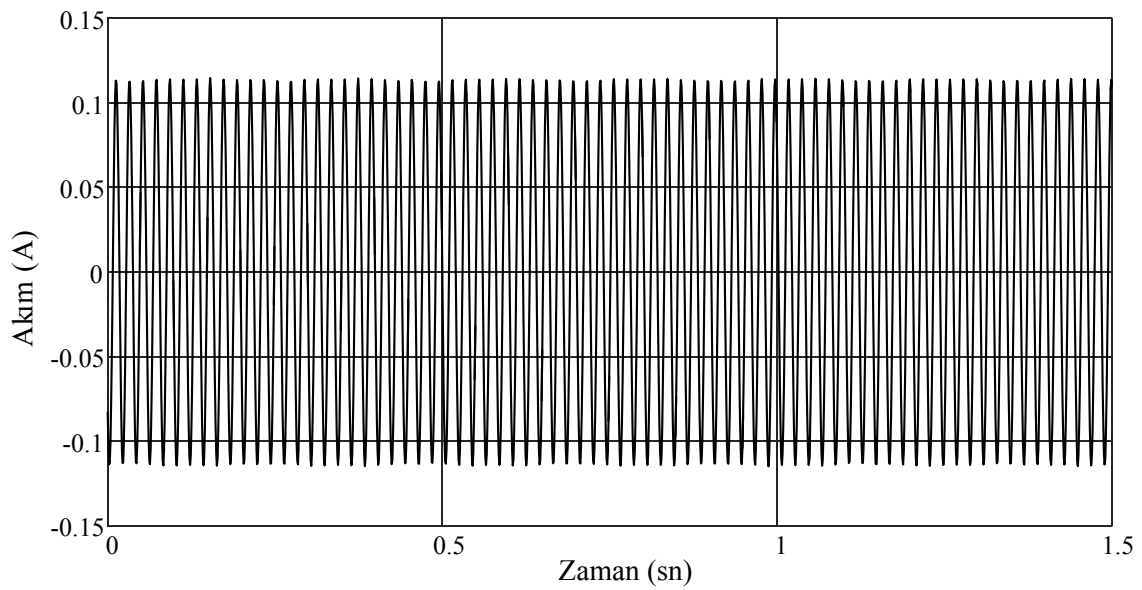
Şekil 5. 5. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği

Panel-akü seçim rölesinin normalde kapalı kontakları DA-DA konverterin çıkış uçlarına, normalde açık kontakları ise rüzgar türbini tarafından şarj edilen akünün uçlarına bağlıdır. İnverter-şebeke seçim rölesinin normalde kapalı kontakları ise inverterin çıkış uçlarına bağlı iken, normalde açık kontakları şebekeye bağlıdır. Çalışma süresi boyunca, fotovoltaik panelden yük beslenebildiği için her iki röle devresinde de röle bobini kontrolör devresi tarafından enerjilendirilmemektedir. Duruma ilişkin sonuçlar akü-panel seçim rölesi için şekil 5.5.a'da, inverter-şebeke seçim rölesi için şekil 5.5.b'de verilmiştir.



Şekil 5. 6. Yük gerilimi-zaman grafiği

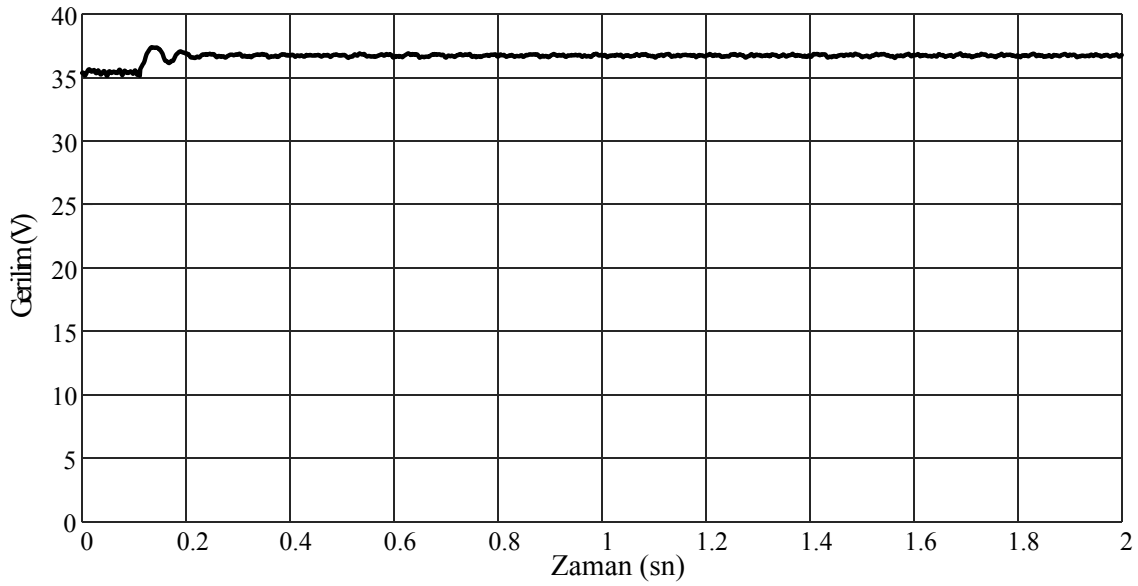
Çalışma süresi boyunca, yükün güç ihtiyacı fotovolttaik panelden karşılanmaktadır. Panelden elde edilen DA gerilim kullanılan tam sinüs inverter aracılığıyla Şekil 5.6'da görüldüğü gibi 50 Hz frekans değerine sahip, yaklaşık 230 V AA gerilime dönüştürülmektedir. Sistemde omik yük olarak gücü 15 W olan halojen ampul kullanılmıştır. Şekil 5.7'de yükün çektiği akımın; yük gerilimi ile aynı fazda olduğu ve akımın efektif değerinin 77 mA değerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 7. Yük akımı-zaman grafiği

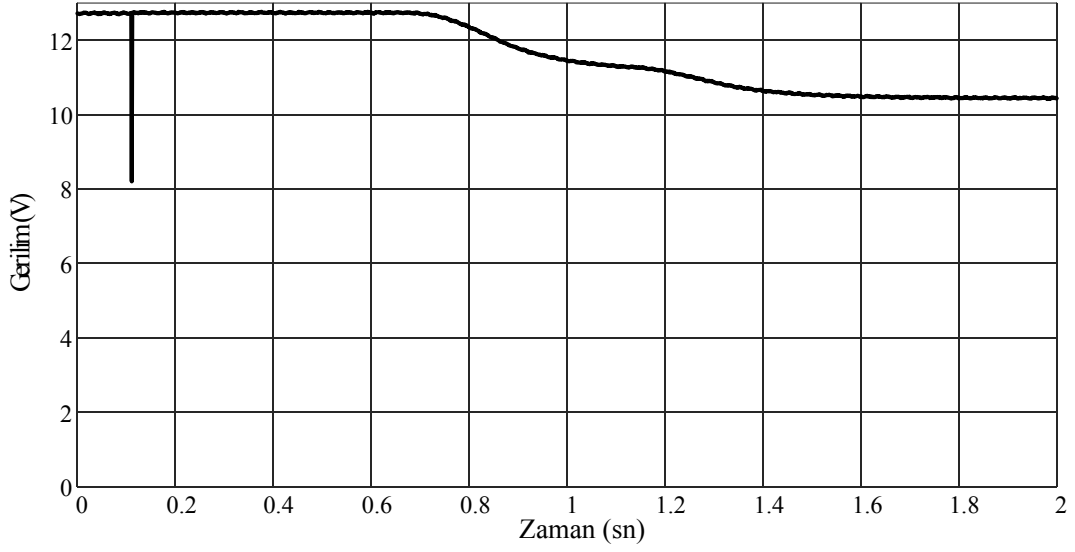
5.1.2.Durum -3 ve Durum-4

Bu kısımda, gerçekleştirilen güç sisteminde öncelikli kaynak olan fotovoltaik panel yükü beslerken ve akü gerilimi istenen değerin altında veya üzerinde iken; sistemde kullanılan inverterin herhangi bir sebeple çıkış gerilimi vermemesi durumunda; panel gerilimi ve akımı, akü gerilimi ve akımı, yük gerilimi ve akımına ilişkin veriler elde edilmiştir.



Şekil 5. 8. Fotovoltaik Panel Gerilimi-Zaman Grafiği

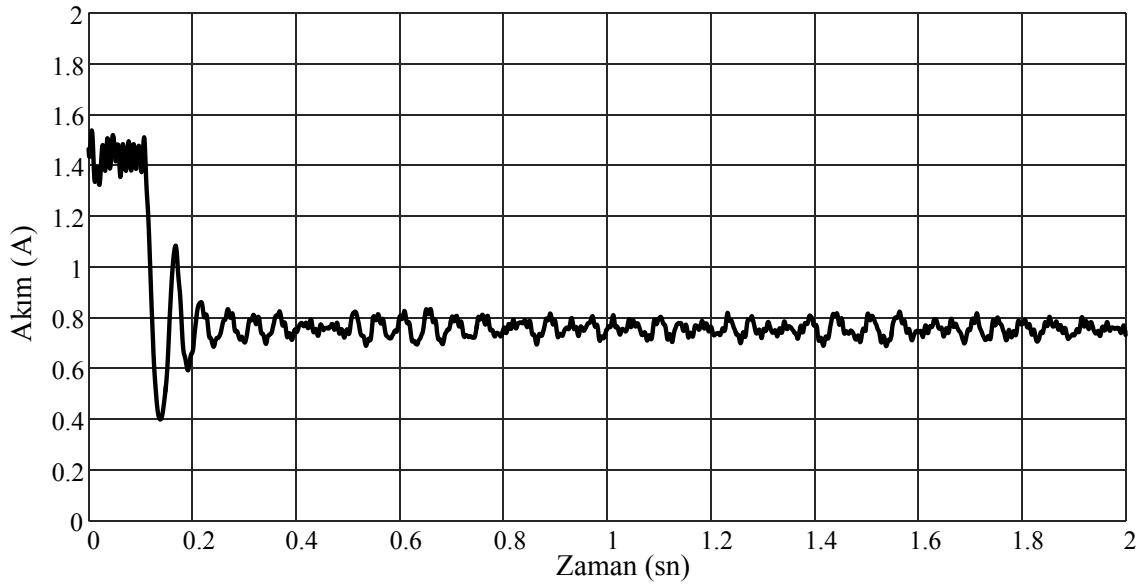
Belirtilen çalışma koşullarında, yüklü durumda panel gerilimi $t=0$ anında 35,1 V'tur. Panel gerilimi 19 V'un üzerinde olduğundan, yük fotovoltaik panel vasıtasıyla beslenmektedir. Kaynak gerilimi ise $t=0,1$ sn anında, her iki sistem de yükü besleyebilecek şartları sağlıyorken, inverter geriliminin sıfır olduğu bilgisi ile, inverter-şebeke seçim rölesi enerjilendirilerek, yükün şebeke tarafından beslenmesi sağlanmaktadır. Yeni durumda fotovoltaik panel sadece DA-DA konverteri beslediğinden, gerilim değeri $t=0,1$ sn anında yükselerek 37,3 V değerine kadar çıkmıştır. Sürekli durumda ise panel gerilimin ortalama değeri 36,6 V olmuştur.



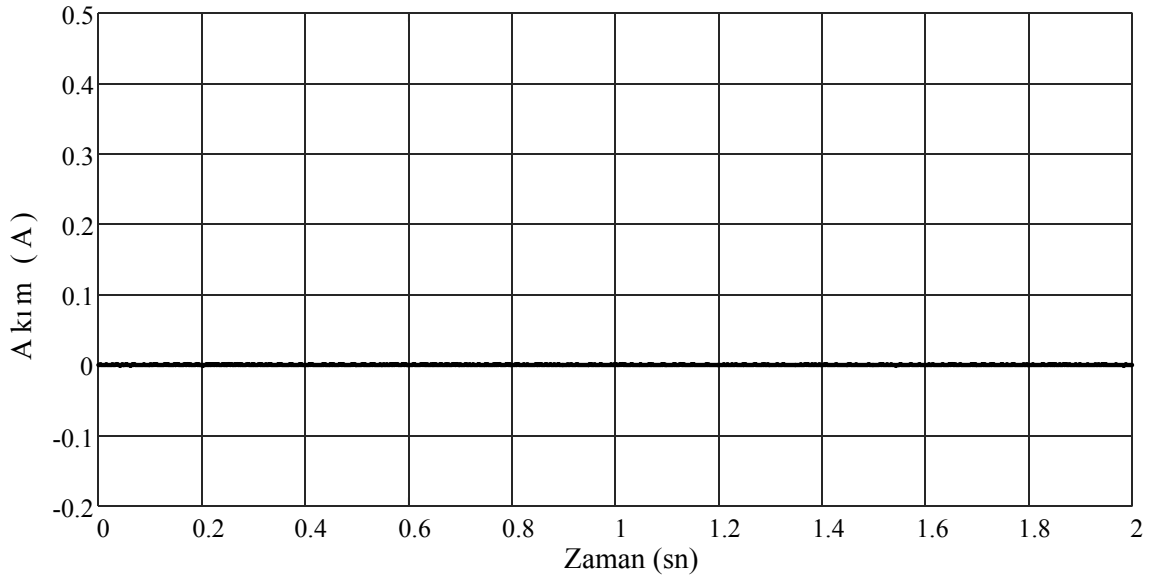
Şekil 5. 9. Akü gerilimi-zaman grafiği

Bir önceki durumda olduğu gibi bu çalışma koşullarında da, akü geriliminin değişiminin çalışmaya etkisinin gözlemlenebilmesi için akü gerilimi kısa bir zaman aralığında düşürülmüştür. Şekil 5.9'da görülen gerilimi düşümünü istenen zaman aralığında sağlayabilmek için akü yerine laboratuvarında mevcut olan DA güç kaynağından faydalanılmıştır. Yük önce fotovoltaiik panelden ve $t=0,1$ sn anından sonra ise şebekeden beslendiğinden ve bu durumda aküden herhangi bir akım çekilmeyeceğinden verilen akü gerilimi-zaman karakteristiğinin bu çalışma koşulları için gerçekleşmesi mümkün değildir. Oluşturulan şartlar Tablo 4.4'te gösterilen 3. ve 4. durumu kısa bir zaman aralığında ve bir arada inceleyebilmek adına oluşturulmuştur.

Şekil 5.9'da görüldüğü gibi belirlenen çalışma süresinde akü gerilimi yavaşça düşürülmektedir, uygun gerilimi düşümünü istenen zamanda sağlayabilmek için akü yerine laboratuvarında mevcut olan DA güç kaynağından faydalanılmıştır. Kaynak gerilimi $t=0$ anında 12,7 V değerinde iken, $t=1,26$ sn'den sonra $V_a=11$ V değerinin altına düşmektedir. Çalışma süresinin sonu olan $t=2$ sn değerinde ise $V_a=10,45$ V değerine kadar düşmektedir. Mevcut koşullarda akü geriliminin değişiminin sistem üzerinde bir etkisi olmamıştır. Mevcut durumda $t=0-0,1$ sn aralığında yük fotovoltaiik panelden beslendiği için fotovoltaiik panelden çekilen akım Şekil 5.10'da görüldüğü gibi yaklaşık 1,5 A civarındadır. Anahtarlama anından sonra yükün güç ihtiyacı şebeke tarafından karşılanmaktadır ve panelden konverter ve inverterin boşa çalışma kayıplarını karşılamak için akım çekilmektedir. Aküden akım çekilmediği Şekil 5.11'de görülmektedir

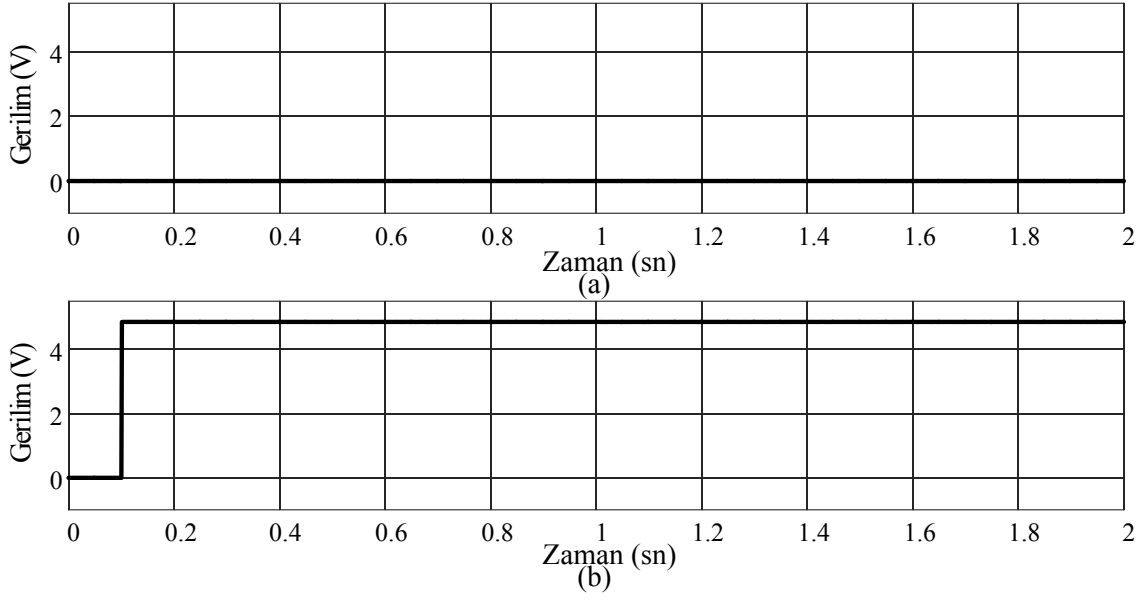


Şekil 5. 10. Panel akımı-zaman grafiği



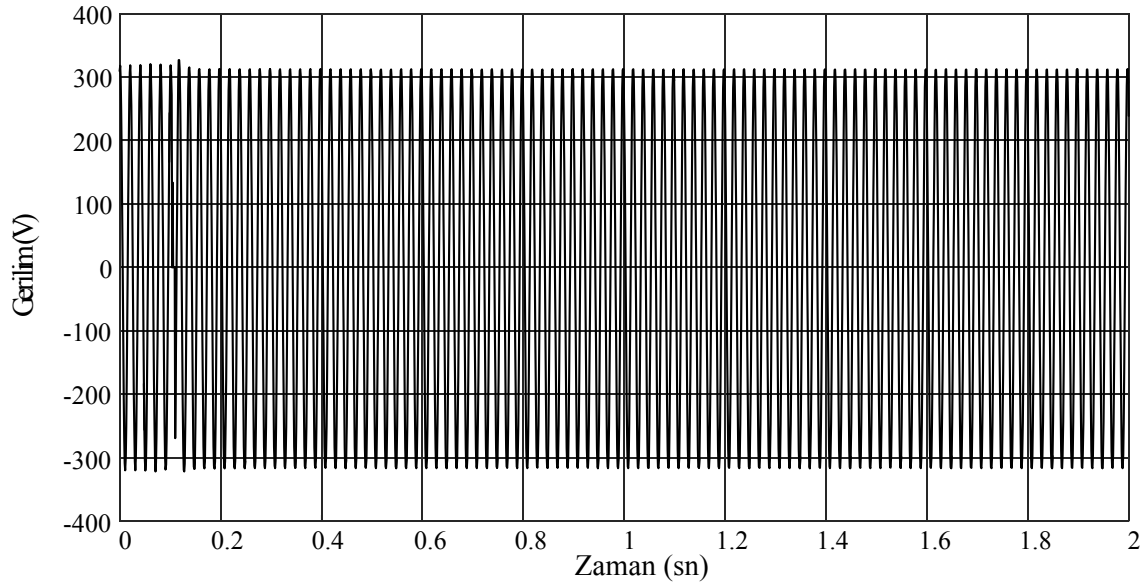
Şekil 5. 11. Akü akımı-zaman grafiği

Çalışma aralığı boyunca panel gerilimi; 19 V'un altına düşmediğinden, akü kaynak olarak seçilmemiştir. Bu durumda panel-akü seçim rölesi enerjilendirilmemiştir. $t=0,1$ anında hem panel hem de akü yükü besleyebilecek durumda olmasına rağmen, inverter gerilimi bilgisinin kontrolöre sıfır olarak iletilmesi ile inverter-şebeke seçim rölesi enerjilendirilerek kaynak olarak şebekenin seçilmesi sağlanmıştır. Duruma ilişkin sonuçlar akü-panel seçim rölesi için Şekil 5.12.a'da, inverter-şebeke seçim rölesi için Şekil 5.12.b'de verilmiştir.

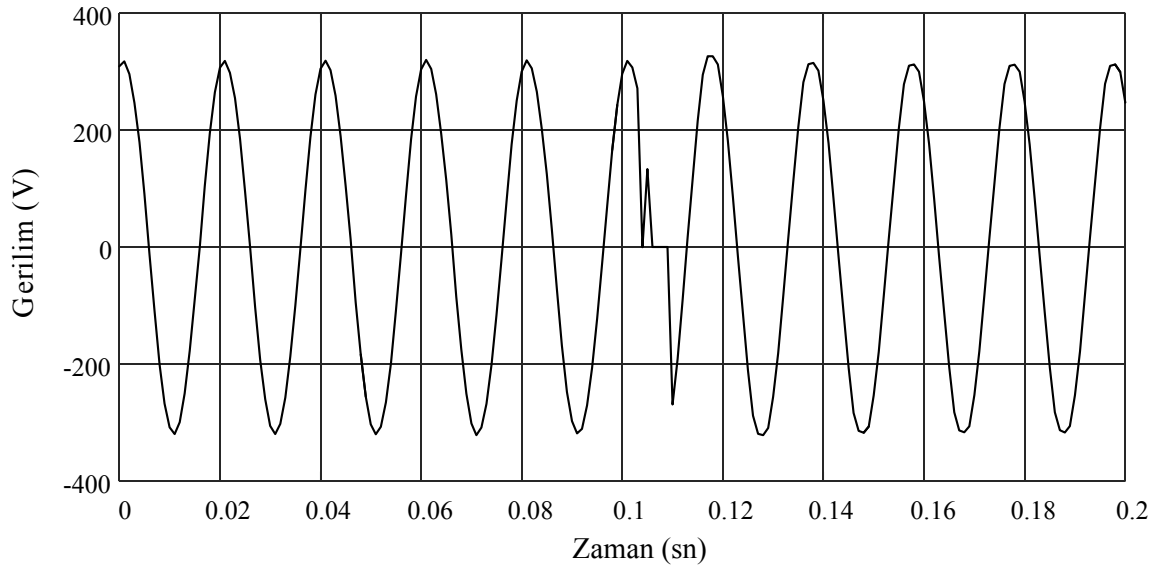


Şekil 5. 12. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği

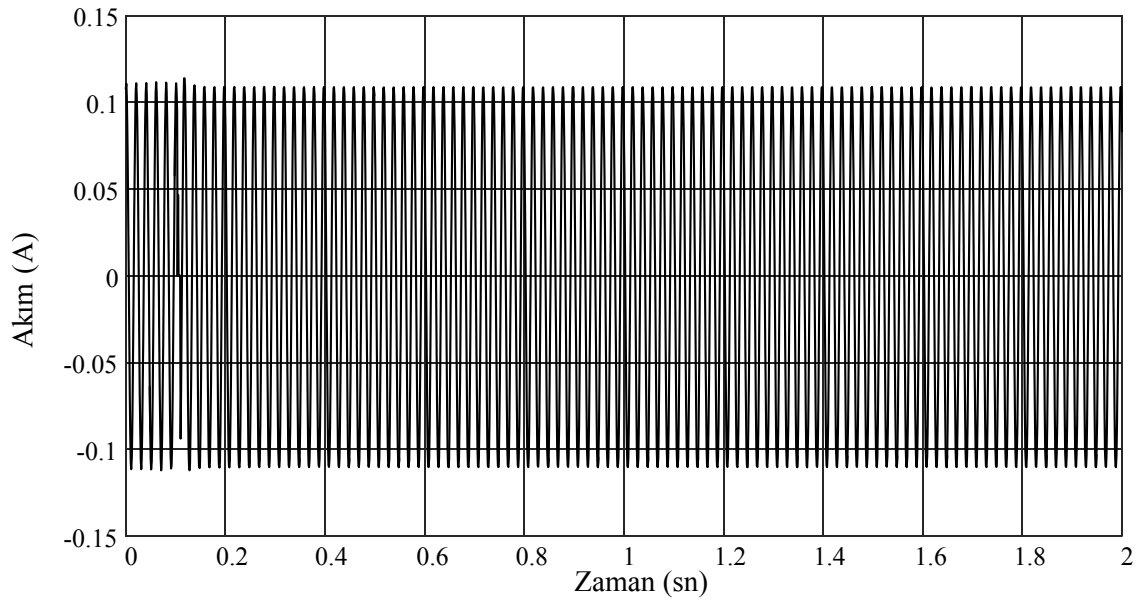
Şekil 5.13'te ve 5.14'te verilen yük gerilimi-zaman grafiklerinde de görüldüğü gibi $t=0,1$ sn anına kadar yük akım ve gerilimi inverter vasıtası ile sağlanırken bu andan sonra yük şebeke tarafından beslenmeye başlamıştır.



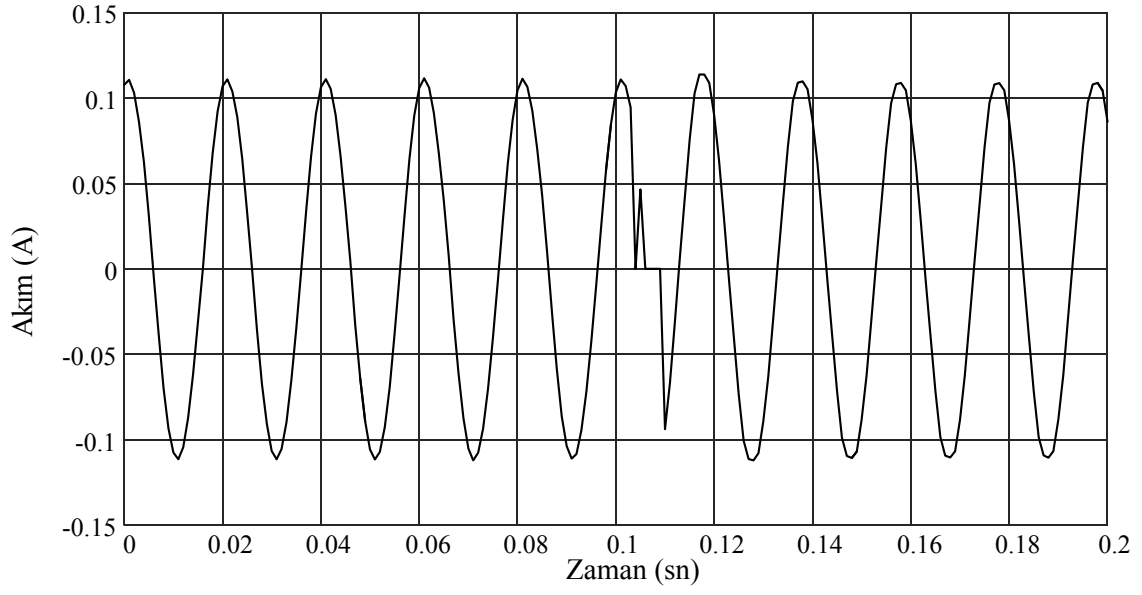
Şekil 5. 13. Yük gerilimi-zaman grafiği



Şekil 5. 14. Yük gerilimi-zaman grafiği (0-0.2 sn aralığı için)



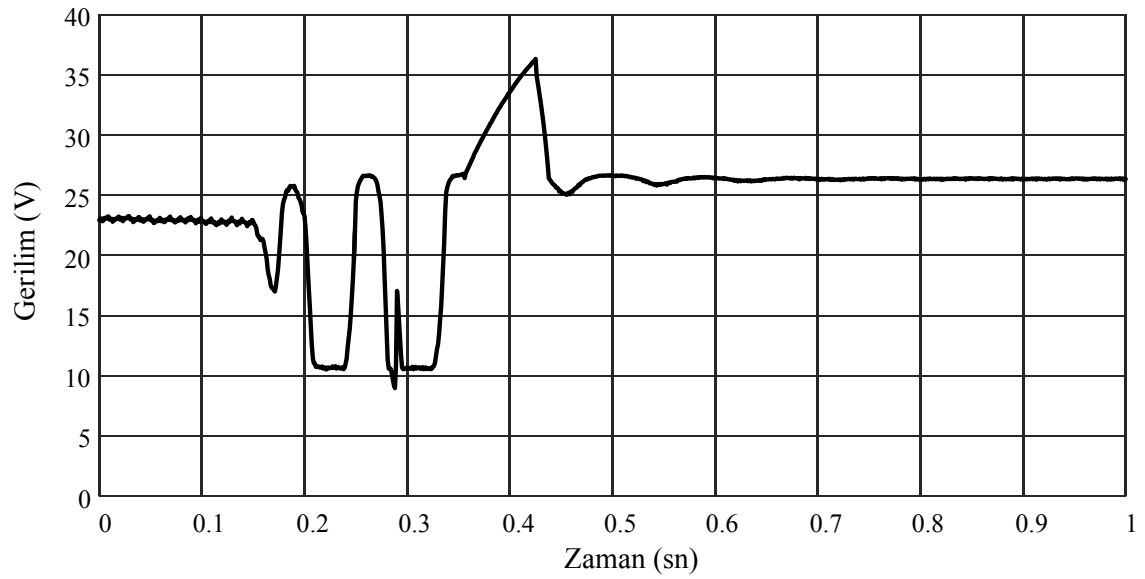
Şekil 5. 15. Yük akımı-zaman grafiği



Şekil 5.16. Yük akımı-zaman grafiği (0.-0.2 sn aralığı için)

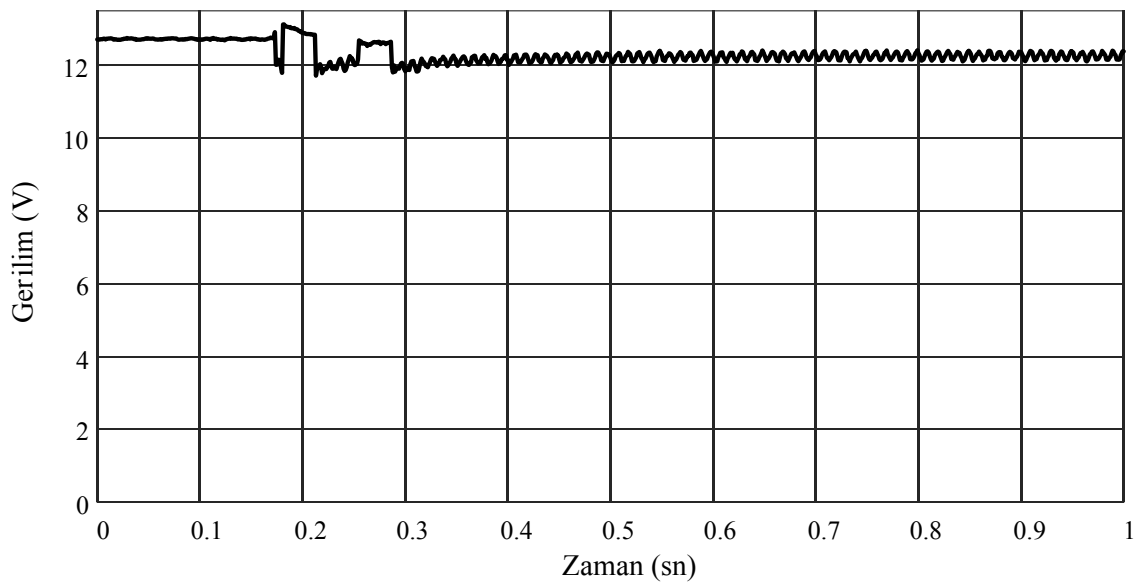
5.1.3. Durum-5

Bu kısımda, hibrit sistemde öncelikli kaynak olan fotovoltaik panelin geriliminin belirlenen değerin altında olması ve akü geriliminin belirlenen değerin üzerinde olması durumunda panel gerilimi ve akımı, akü gerilimi ve akımı, yük gerilimi ve akımına ilişkin veriler elde edilmiştir.



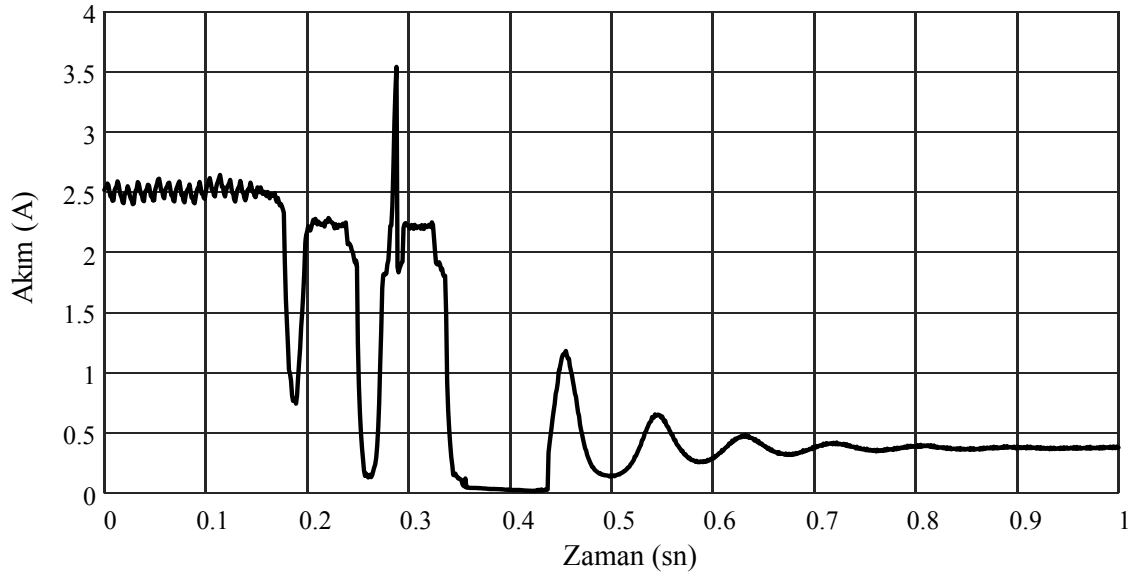
Şekil 5.17. Fotovoltaik Panel Gerilimi-Zaman Grafiği

Şekil 5.17'de $t=0-0,15$ saniye aralığında, yüklü durumda fotovoltaiik panel geriliminin ortalama değeri $V_p=22,8$ V'dur ve yük fotovoltaiik panel tarafından beslenmektedir. $t=0,15$ anında panele etkiyen ışınım değeri azaltılmıştır. Bu durumda panelin ürettiği güç azalmıştır. Buna bağlı olarak, yüklü durumdaki panel geriliminin düşmeye başladığı görülmektedir ve panel gerilimi değeri $t=0,16$ saniye anında 19 V'un altına düşmektedir. Bu durumda kontrolör; panel-akü seçim rölesini enerjilendirerek, yükün rüzgar türbini tarafından şarj edilen akü tarafından beslenmesini sağlamaktadır. Bu durumda ise, aynı yetersiz çevresel koşullar altında olmasına rağmen yüksüz durumdaki panel gerilimi artarak 25,6 V değerine kadar çıkmıştır. Buna bağlı olarak kontrolör; panel-akü seçim rölesini enerjilendirmeyi bırakmaktadır ve yük tekrar öncelikli kaynak olarak belirlenmiş fotovoltaiik panel tarafından beslenmektedir. Yeterli gücü sağlayamayan panel gerilimi tekrar hızla düşmektedir ve yaklaşık 20 ms boyunca $V_p=10$ V değerinde kalmaktadır. Bu durum kontrolörün röleyi tekrar enerjilendirmesine ve aktif kaynak olarak akünün yükü beslemesine sebep olmaktadır. Bu şekilde sistem kararsız şekilde çalışmayı sürdürecektir. Bunu engellemek için dördüncü bölümde anlatıldığı gibi, rölenin kaynaklar arasındaki geçişi üç defa ile sınırlandırılmıştır. Son durumda fotovoltaiik panel yüklü iken gerilimi hala belirlenen değerin altında ise aktif kaynak akü olacaktır ve yük akü tarafından beslenecektir. Bu sebeple Şekil 5.17'de görüldüğü gibi rölenin üç defa kaynaklar arasında geçiş yaptıktan sonra $t=0,35$ sn anında kaynaklar arasında son kez geçiş yapılmıştır ve aktif kaynak akü olarak belirlenmiştir. Bu andan sonra, panel yüksüz durumda olduğundan gerilimi artmıştır ve sürekli durumda $V_p=26$ V'dur.



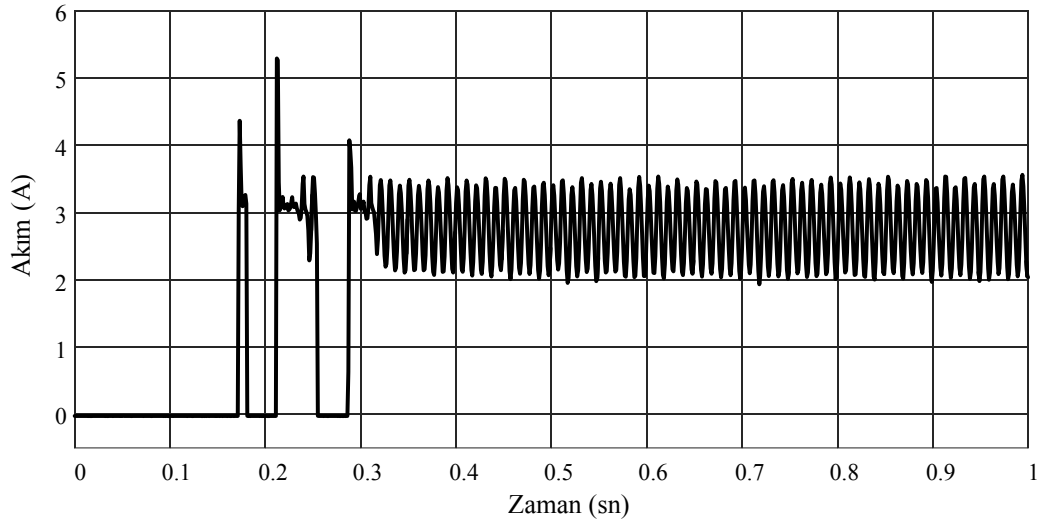
Şekil 5. 18. Akü gerilimi-zaman grafiği

Çalışma süresi boyunca, şekil 5.18'de görülen akü geriliminin başlangıçta $V_a=12,7$ V'dur. Işının azaltılmasına bağlı olarak panel geriliminin azalması ve 19 V'un altına düşmesi ile $t=0,15$ sn anında akü kaynak olarak seçilerek yükü beslemektedir ve buna bağlı olarak akü gerilimi düşmektedir. Bu durum tüm kararsız çalışma durumu için tekrarlamaktadır. Sürekli durumda ise akü yükü besleyen kaynak olduğundan gerilimi yaklaşık 12,2 V değerine düşmektedir.

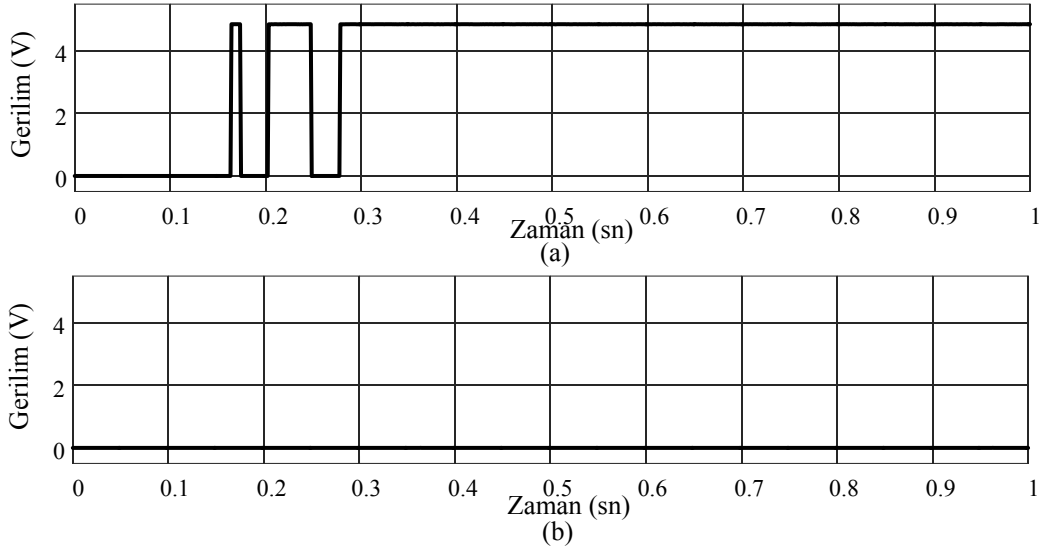


Şekil 5. 19. Panel akımı-zaman grafiği

Şekil 5.19'da görüldüğü gibi yük fotovoltaik panelden; $t=0,15$ saniyeye kadar ortalama 2,5 A akım çekmektedir. Sürekli durumda ise aktif kaynak akü olduğundan, panelden çekilen akım 0,37 A değerine düşmektedir. Çekilen bu akım konverterin boşa çalışma akımıdır. Şekil 5.20'de verilen akü akımı-zaman grafiğinden de görüldüğü gibi, panel akımı $t=0,15$ saniyeye kadar sıfırken, sürekli durumda ortalama 2,75 A'dır.



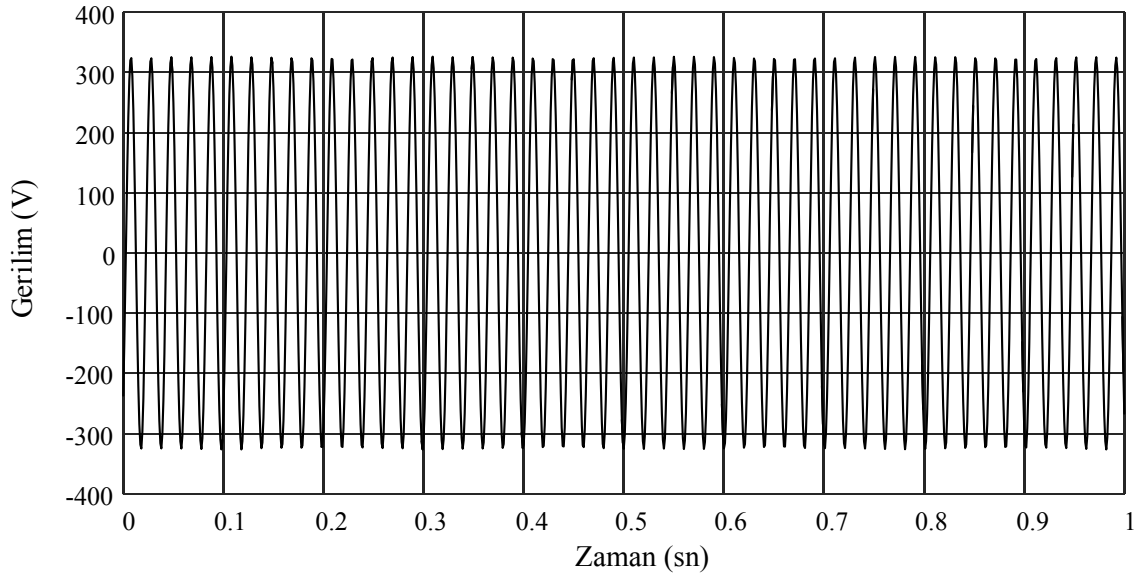
Şekil 5. 20. Akü akımı-zaman grafiği



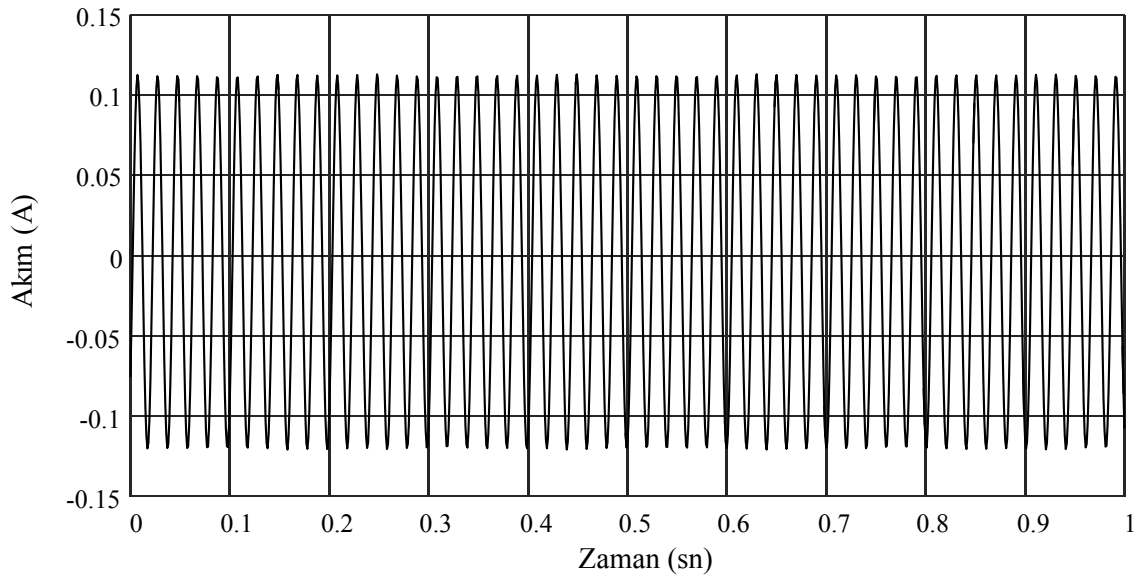
Şekil 5. 21. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği

Şekil 5.21.a'da görüldüğü gibi, $t=0,16$ sn anında, ışınımın azalmasına bağlı olarak yüklü durumda panel geriliminin değerinin azalması ve 19 V'un altına düşmesi ile birlikte, panel-akü seçim rölesi de enerjilenerek, aktif kaynak olarak akü seçilmiştir. Sistemin bir süre kararsız çalışması sebebi ile, iki kez daha röle enerjisi kesilerek aktif kaynağın fotovoltaiik panel olarak seçilmesi sağlanmıştır. Son durumda fotovoltaiik panelin yüklü durum geriliminin hala 19 V'un altında olması sebebi ile aktif kaynak belirli bir süre için akü olmuştur ve bu sebeple panel-akü seçim rölesi enerjili olarak kalmaktadır. Çalışma

süresi boyunca sistem şebekeye bağlanma ihtiyacı duymadığından, inverter-şebeke rölesi ise enerjilenmemiştir.



Şekil 5.22. Yük gerilimi-zaman grafiği



Şekil 5.23. Yük akımı-zaman grafiği

Çalışma süresi boyunca, yükün güç ihtiyacı fotovoltaik panelden karşılanmaktadır. Panelden elde edilen DA gerilim kullanılan tam sinüs inverter aracılığıyla Şekil 5.22'de görüldüğü gibi 50 Hz frekans değerine sahip, yaklaşık 230 V AA gerilime dönüştürülmektedir. Sistemde omik yük olarak gücü 15 W olan halojen ampul

kullanılmıştır. Şekil 5.23'te yükün çektiği akımın; yük gerilimi ile aynı fazda olduğu ve akımın efektif değerinin 77 mA değerinde olduğu görülmektedir.

5.1.4. Durum-6

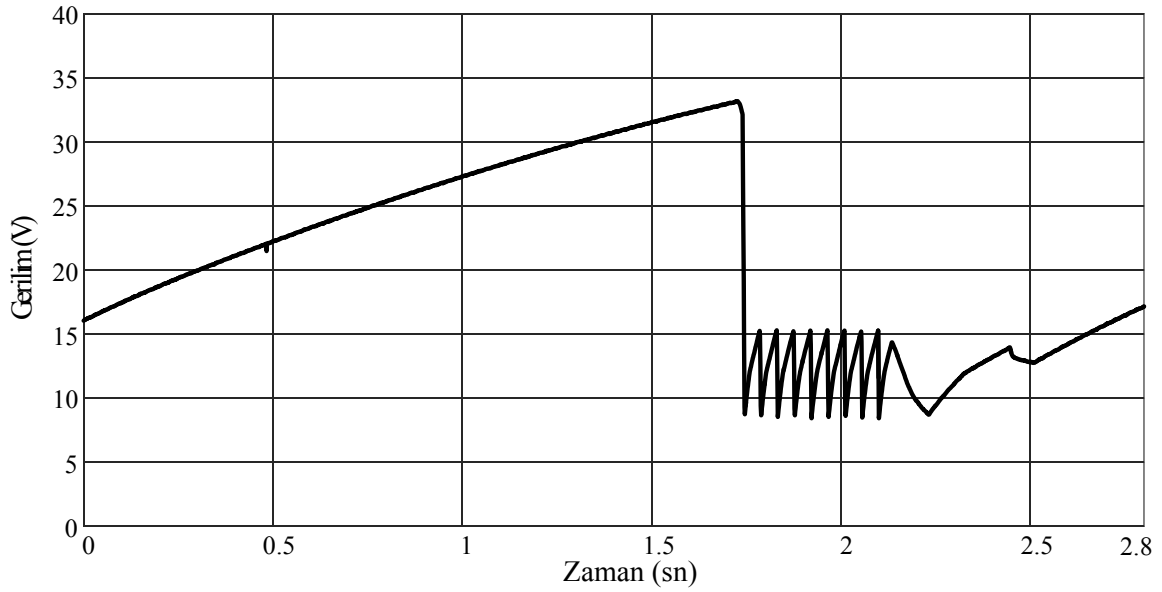
Bu kısımda, fotovoltaiik panelin ışıınıımı azaltılarak, gerilim değeriinin çok küçük olduğu bir çalışma aralığı seçilmiştir. Bu çalışma koşullarında beklenen durum; fotovoltaiik panel gerilimi 19 V'un altında ve akü gerilimi de 11 V'un üzerinde olduğundan inverter devrede iken yükün akü vasıtası ile beslenmesidir. İnverter aktif durumda değilken de yükün şebekeden beslenmesi gerekmektedir. $t=0,48$ saniyeye kadar sistem belirlenen koşullarda ve inverter aktif olarak çalışmaktadır. Bu durumda yük aküden beslenmektedir. Çalışma koşulları bu hali ile Durum-5'i sağlamaktadır. Bu durumda deneysel çalışmada karşılaşılan başka bir probleme ve çözümüne de değinilmiştir.

Seçilen çalışma koşullarında, panele etkiyen ışıınıım değeri çok az olduğundan dolayı panel konverterin boştta çalışma gücünü bile karşılayamamaktadır. Bu durumda panel gerilimi konverterin çalışma geriliminin altına düştüğünden konverter devreden çıkmaktadır. Buna bağılı olarak panel gerilimi yüksüz durumda yeniden artacağından, konverterin çalışma gerilimini sağlar ve konverter devreye girmeye ve bir çıkış gerilimi oluşturmaya çalışır ancak devreye giremez. Bu kararsızlık anında fotovoltaiik panel gerilimi 19 V'un üstündedir. Bu sebeple kontrolör yükü fotovoltaiik panel ile beslemeye çalışmaktadır. Ancak bu geçiş sırasında, konverter fotovoltaiik panel geriliminin hızlı artışına rağmen bir anda enerjilenememektedir ve bu sebeple çıkış uçlarında bir gerilim oluşmayacaktır. Bu şartlarda konverter çıkış gerilimi hala sıfır olduğundan inverter devre dışı kalır. Akü yeterli durumda olsa bile; aktif kaynağın akü olarak çalıştığı durumda da inverter aktif duruma gelemmez. Bu durum uygulamada kullanılan inverttere özgü bir durumdur. Böylece yük şebekeden beslenmek zorunda kalır. Bu durumu engellemek için; konverter çıkışında konverter gerilimi ile enerjilendirilen bir röle devresi kullanılarak konverterin devrede olup olmadığı bilgisi mikro denetleyiciye aktarılmaktadır. Böylelikle konverterin devrede olmadığı durumda, sistem hiçbir zaman kaynak olarak fotovoltaiik panele geçmeyi denememektedir ve böylelikle inverter devre dışı kalmayarak; böyle bir durumda akü yeterli durumdaysa yükün aküden beslenmesi sağlanmaktadır.

Şekil 5.24'te $t=0-0,48$ saniye aralığında yükün aküden beslenmesi bu şekilde sağlanmaktadır. Bu anda fotovoltaiik panel boştta olduğundan $V_p=22$ V değerindedir. $t=1,72$

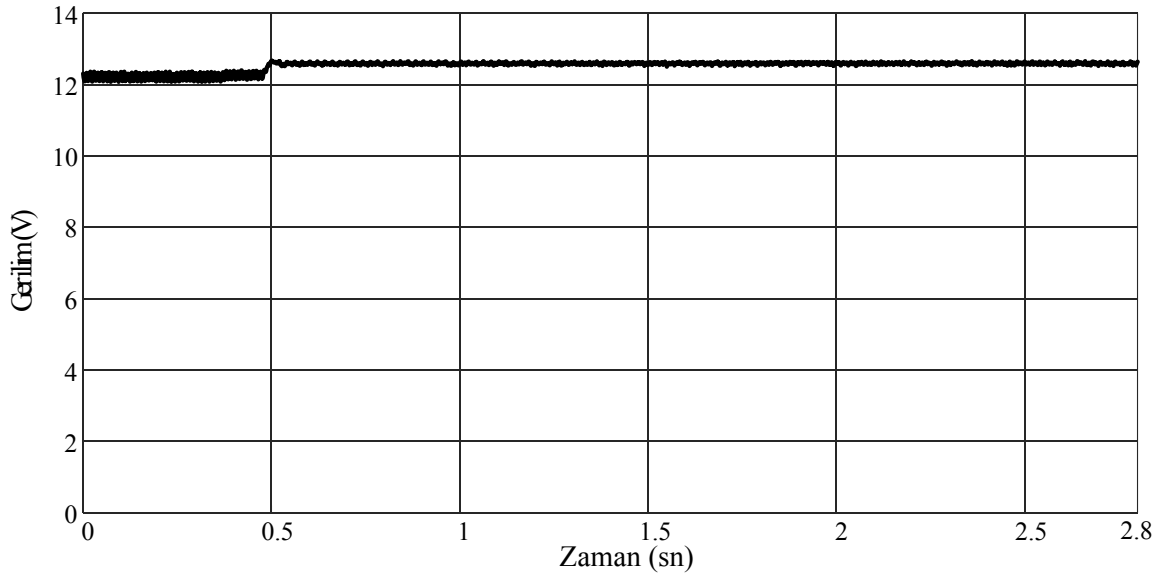
saniye anında ise panel gerilimi 33 V değerine kadar yükselir. Çalışma süresinin en başından bu ana kadar fotovoltaiik panel gerilimi belirlenen değerin üzerinde olmasına rağmen, konverter henüz aktif konuma gelemediği ve çıkış gerilimi bu sebeple sıfır olduğundan dolayı yapılan yazılımsal engelleme ile fotovoltaiik panelin aktif kaynak olarak seçilmesi engellenmiştir. Tam bu anda konverter devreye girmeye çalıştığından panel gerilimi hızla düşmektedir ve konverter çıkış gerilimi tekrar sıfır olur. İnverterin devre dışı kalmasına kadar sistemde aktif kaynak olarak akünün seçili kalması bu şekilde sağlanmaktadır.

$t=0,48$ anında ise Durum-6 şartlarını oluşturabilmek için; inverter gerilimi sıfır yapılmaktadır. Bu duruma kadar sistemde aktif kaynak akü iken, bu andan sonra şebeke olacaktır. Panel gerilimi yükselmesine ve 19 V'u geçmesine rağmen sistemin böyle bir durumda aktif kaynak olarak fotovoltaiik paneli geçmesine izin verilmemektedir.

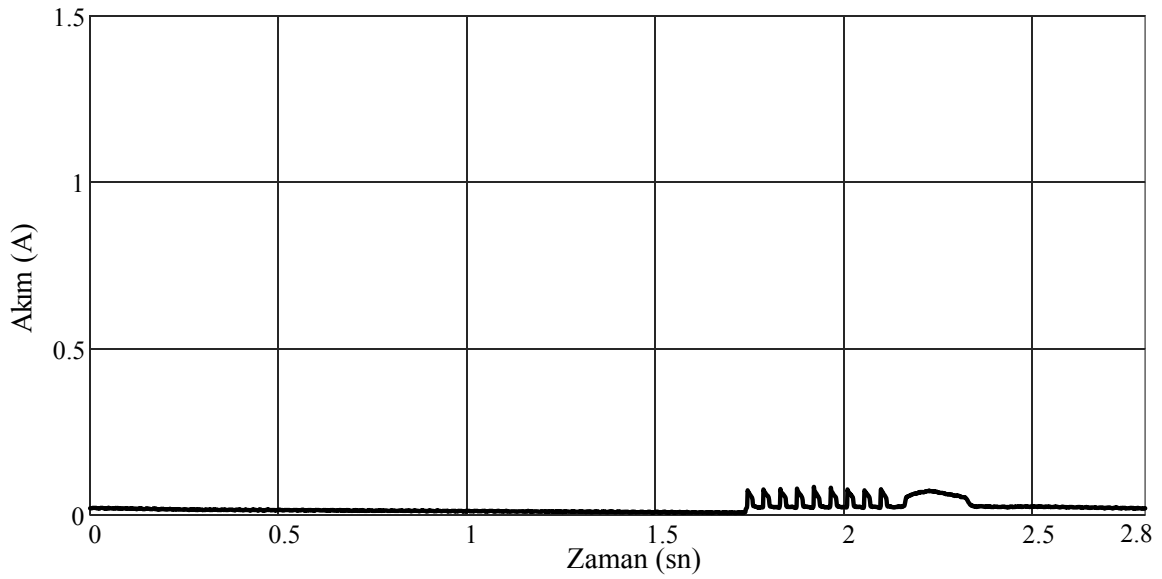


Şekil 5. 24. Fotovoltaiik Panel Gerilimi-Zaman Grafiği

Şekil 5.25'de görüldüğü gibi, akü sistemde aktif kaynak olarak çalışırken, akü gerilimi 12,2 V değerindedir. Aktif kaynağın şebeke olması ile $t=0,48$ saniye anından sonra ise akü yüksüz duruma geçtiğinden gerilimi 12,6 V'a yükselmektedir.

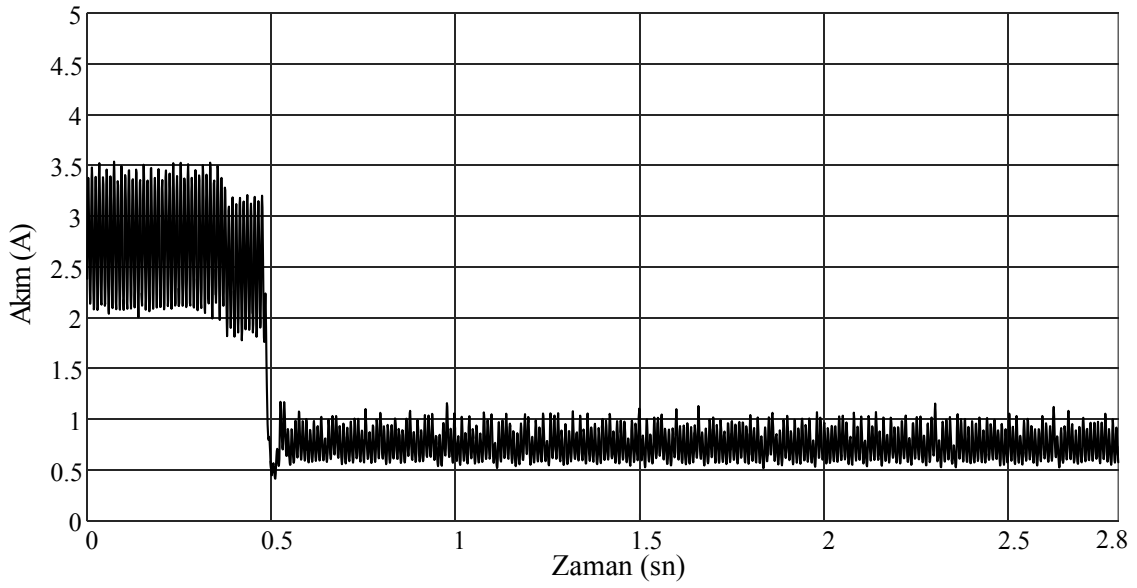


Şekil 5. 25. Akü gerilimi-zaman grafiği



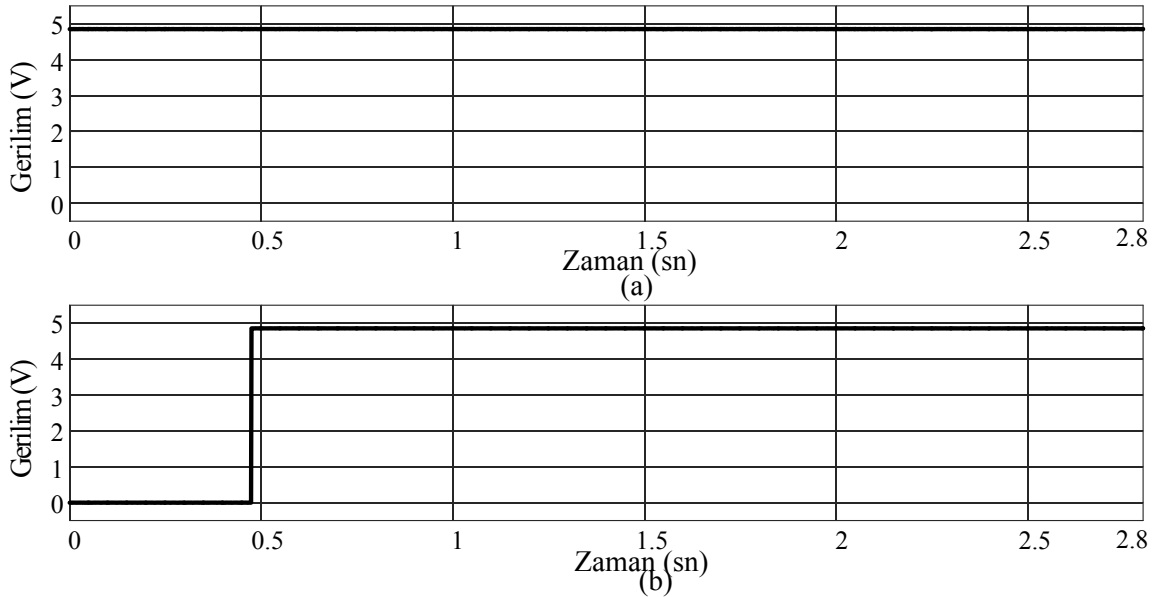
Şekil 5. 26. Panel akımı-zaman grafiği

Çalışma süresinde hiç bir anda panel aktif kaynak olmadığından, panel akımı sıfırdır. Sadece $t=1,74-2,23$ saniye aralığında konverter devreye girmeye çalışarak küçük bir akım çekmeye çalışmaktadır. Şekil 5.27'de görüldüğü gibi, başlangıçta akü aktif kaynak olduğundan yük akımı aküden çekilmektedir. İnverterin devre dışı bırakıldığı andan ($t=0,48$) itibaren yük şebeke tarafından beslendiğinden aküden çekilen akım sadece inverterin boşa çalışma kayıplarını karşılayacak bir değere düşmektedir.



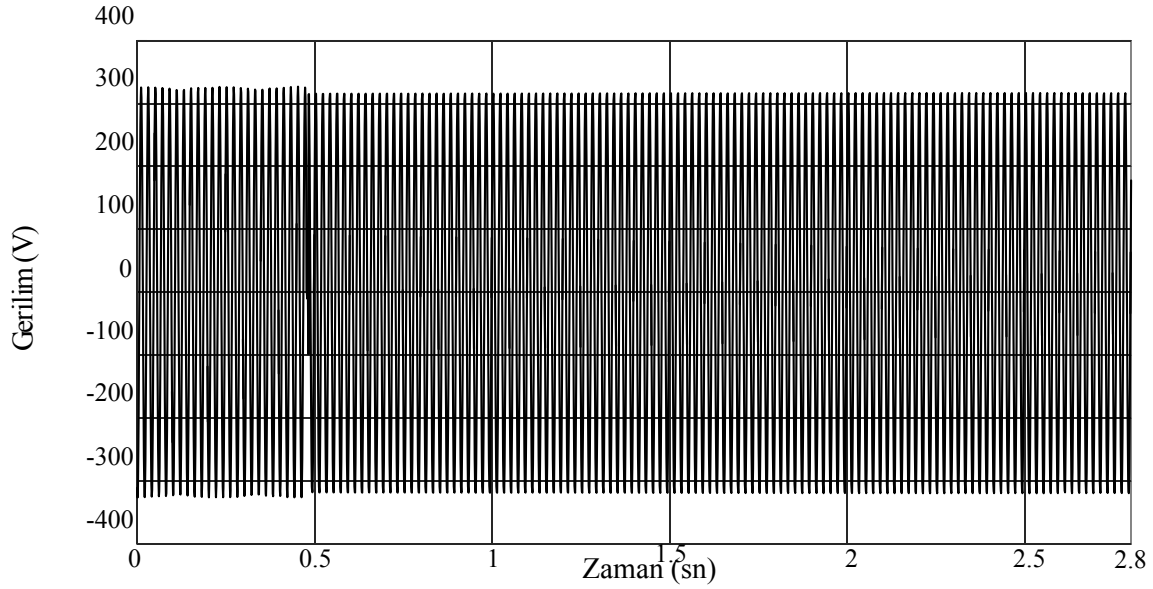
Şekil 5. 27. Akü akımı-zaman grafiği

Akü akımının ortalama değeri $t=0,48$ sn anına kadar 2,75 A iken; inverterin bu andan sonra devre dışı edilmesi ile akü akımı yaklaşık 0,75 A değerine düşmektedir. Bu değer inverterin boşa çalışma kayıplarını karşılamak için çekilmektedir. Bu durumda kontrolöre iletilen V_i inverter gerilimi bilgisi kesilmesine rağmen inverter tamamı ile kapatılmadığı için bu akım değerinin aküden çekildiği görülmektedir. Normal şartlarda aküden çekilen akımın sıfır olması gerekmektedir.

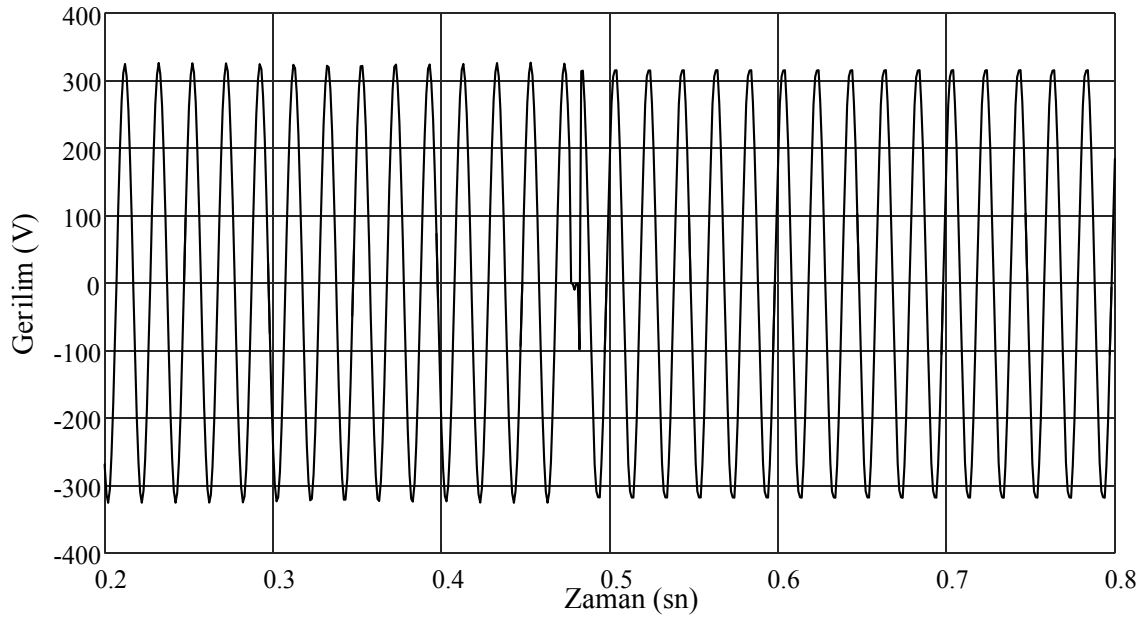


Şekil 5. 28. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği

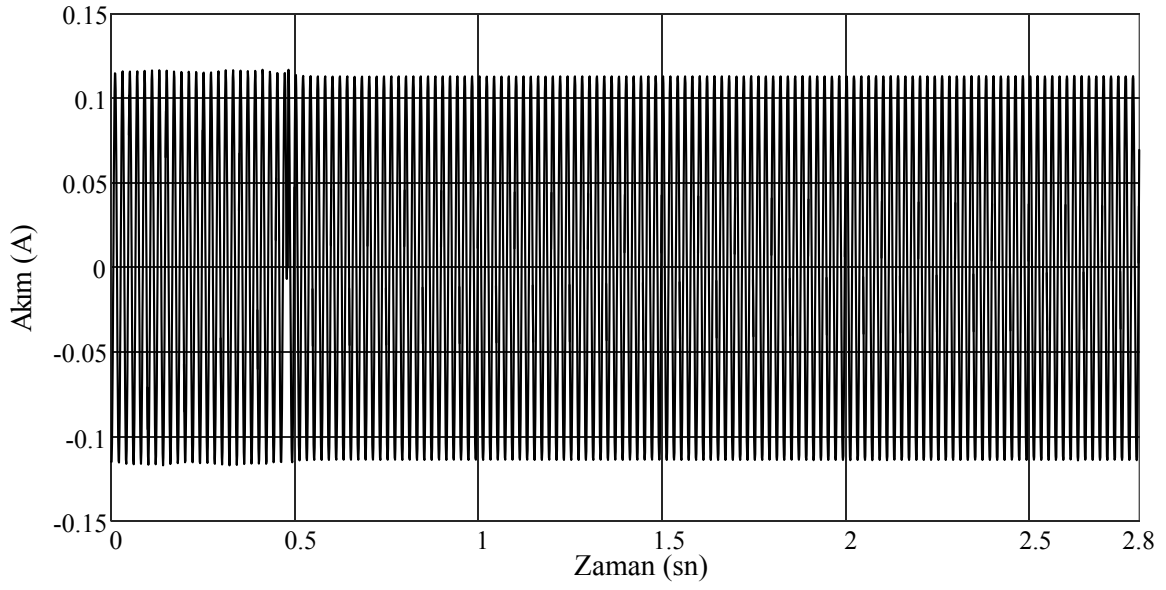
Şekil 5.28'de görüldüğü gibi, tüm çalışma süresi boyunca fotovoltaik panelin aktif kaynak olması mevcut şartlar dolayısıyla kontrolör tarafından engellendiği için panel-akü seçim rölesi enerjili olarak kalmaktadır ve aktif kaynak seçimi akü olarak yapılmaktadır. $t=0,48$ sn anında, inverter çıkış gerilimi sıfır olduğundan inverter-şebeke rölesi ise bu anda enerjilendirilmiştir ve yük şebeke tarafından beslenmeye başlamıştır.



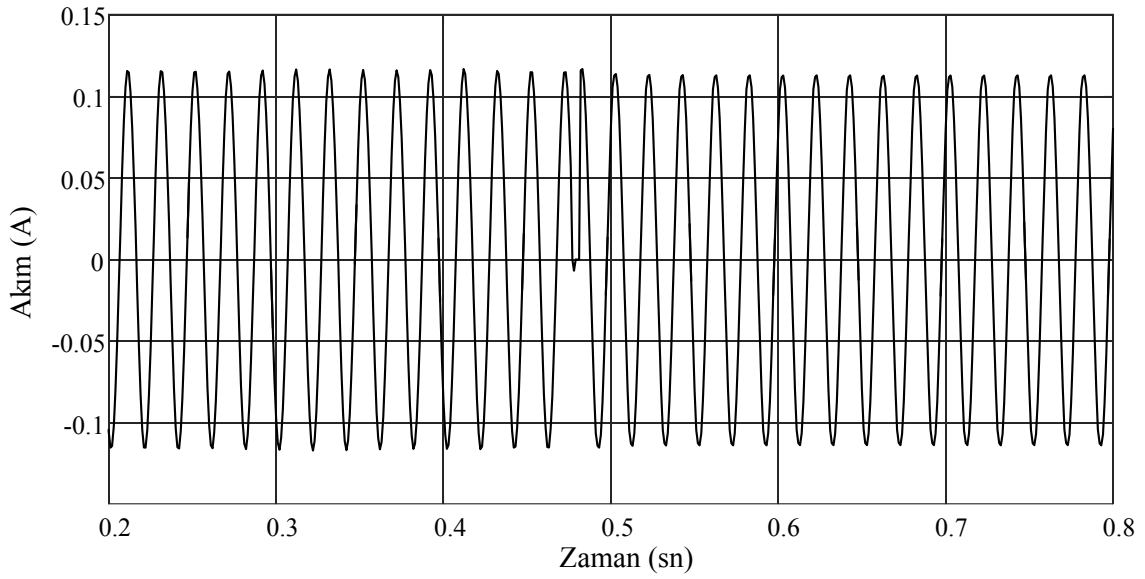
Şekil 5. 29. Yük gerilimi-zaman grafiği



Şekil 5. 30. Yük gerilimi-zaman grafiği ($t=0,2-0,8$ sn arası)



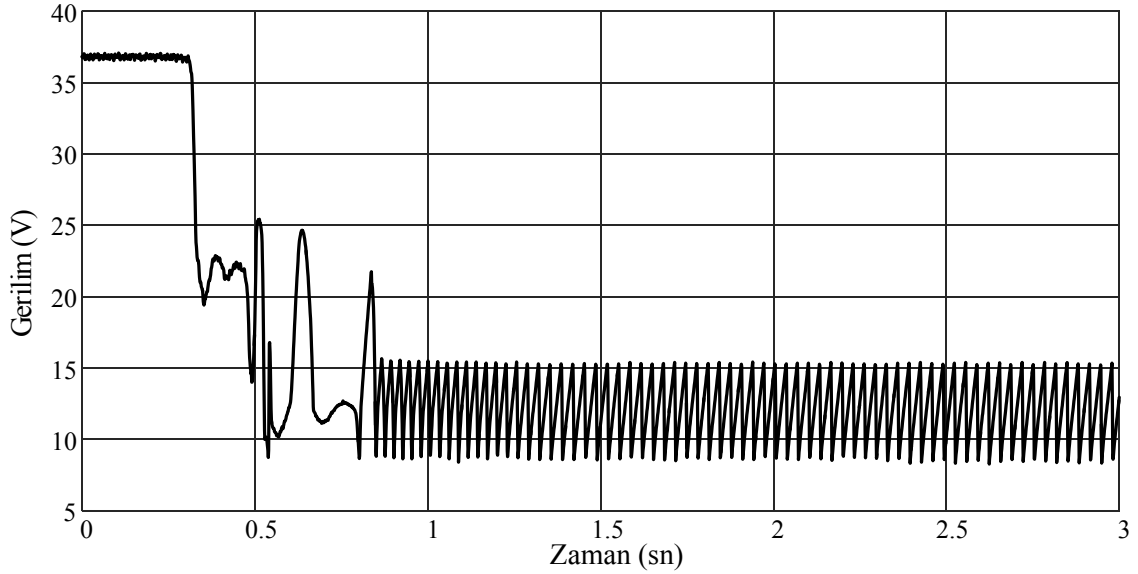
Şekil 5. 31. Yük akımı-zaman grafiği



Şekil 5. 32. Yük akımı-zaman grafiği (t=0,2-0,8 sn arası)

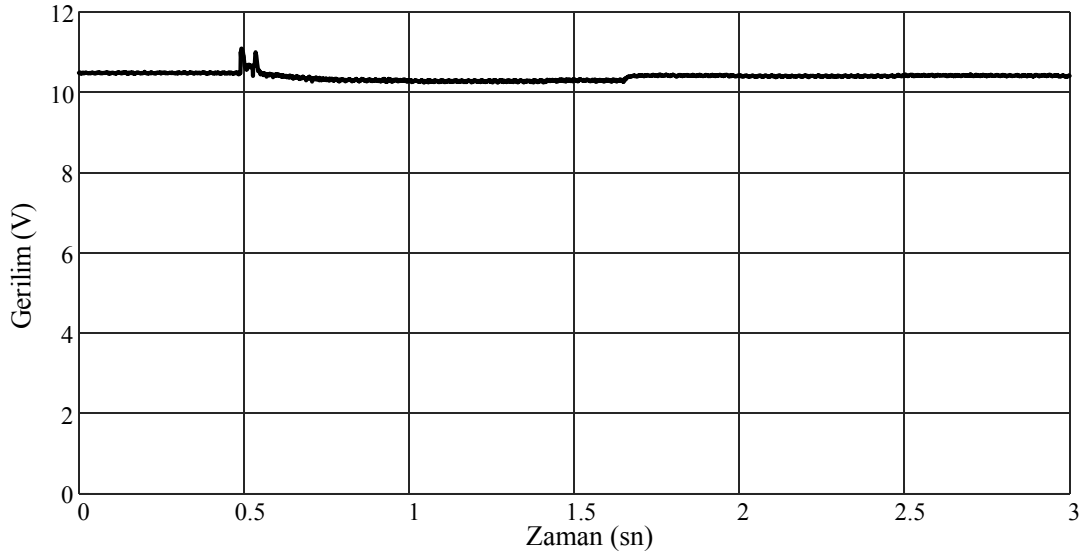
Bu çalışma durumunda; yük t=0-0,48 sn aralığında aküden, t=0,48 sn anından sonra ise şebeke tarafından beslenmeye başlamaktadır.

5.1.5. Durum-7

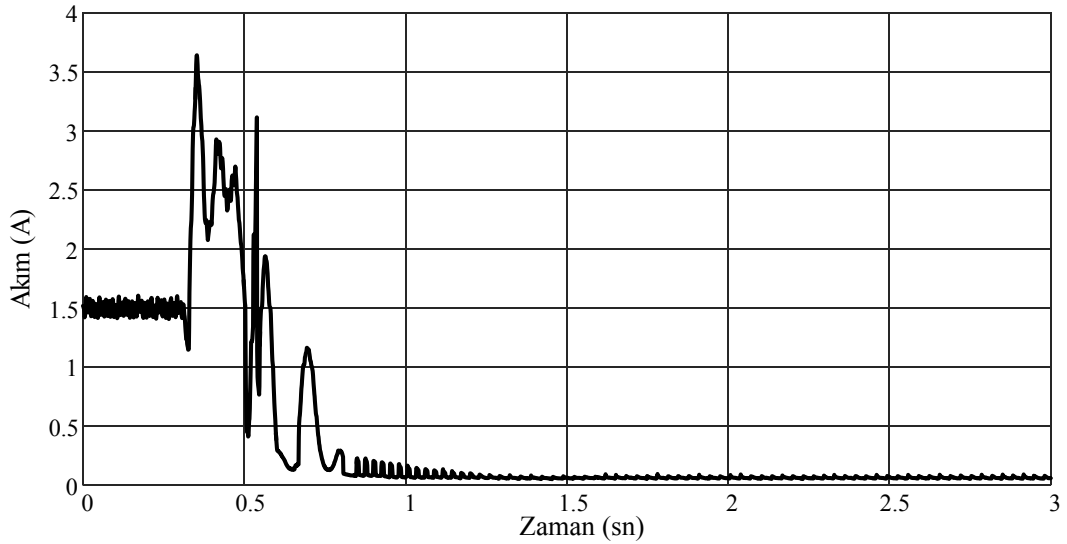


Şekil 5. 33. Fotovoltaik panel gerilimi-zaman grafiği

Çalışma aralığının başında $V_p=37$ V olduğundan yük fotovoltaik panel tarafından beslenmektedir. Fotovoltaik panelin ışınımı azaltılarak $t=0,48$ sn anında, yüklü panel geriliminin 19 V'un altına düşmesi sağlanmıştır. Bu durumda panel-akü seçim rölesi enerjilendirilerek akü kontaklarının kapalı konuma geçmesi sağlanmıştır. Sürekli durumda panel geriliminin ortalama değeri yaklaşık 13 V'dur. Şekil 5.34'te görüldüğü gibi akü gerilimi belirlenen çalışma süresinin tamamında 11 V'un altındadır. Buna rağmen panel gerilimi 19 V'un altına düşünce, panel-akü seçim rölesi enerjilendirilmiştir. Bu şartlarda inverter için uygun giriş geriliminin aküden sağlanması beklenmektedir ancak aküde uygun gerilimi sağlayamadığından inverter çıkış gerilimi sıfır olur. Bu durumda inverter-şebeke rölesi enerjilendirilerek yükün güç ihtiyacının şebekeden karşılanması sağlanmaktadır.

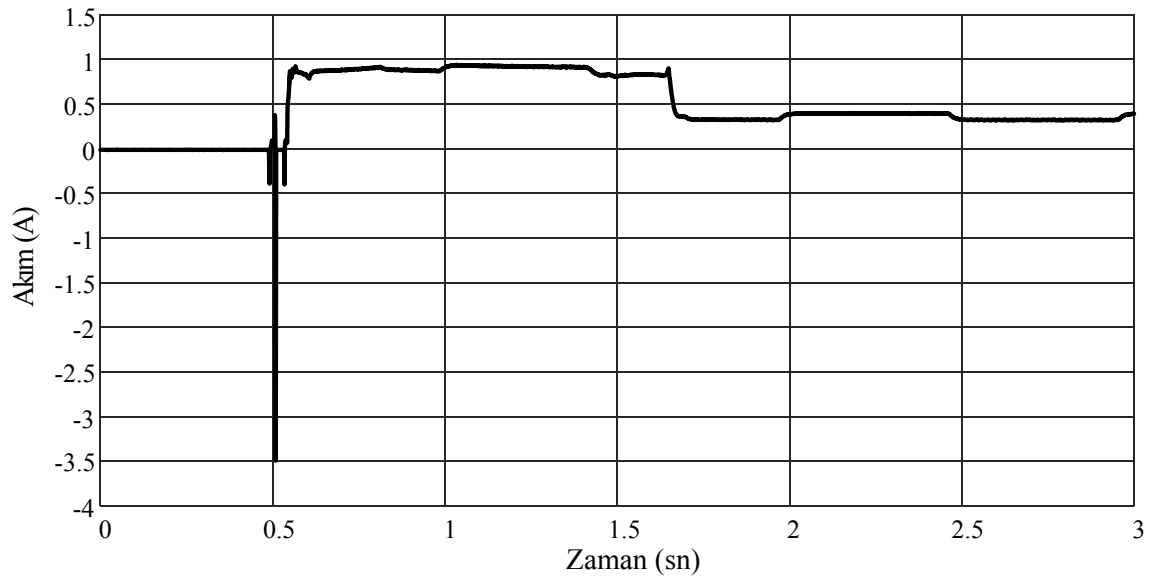


Şekil 5. 34. Akü gerilimi-zaman grafiği

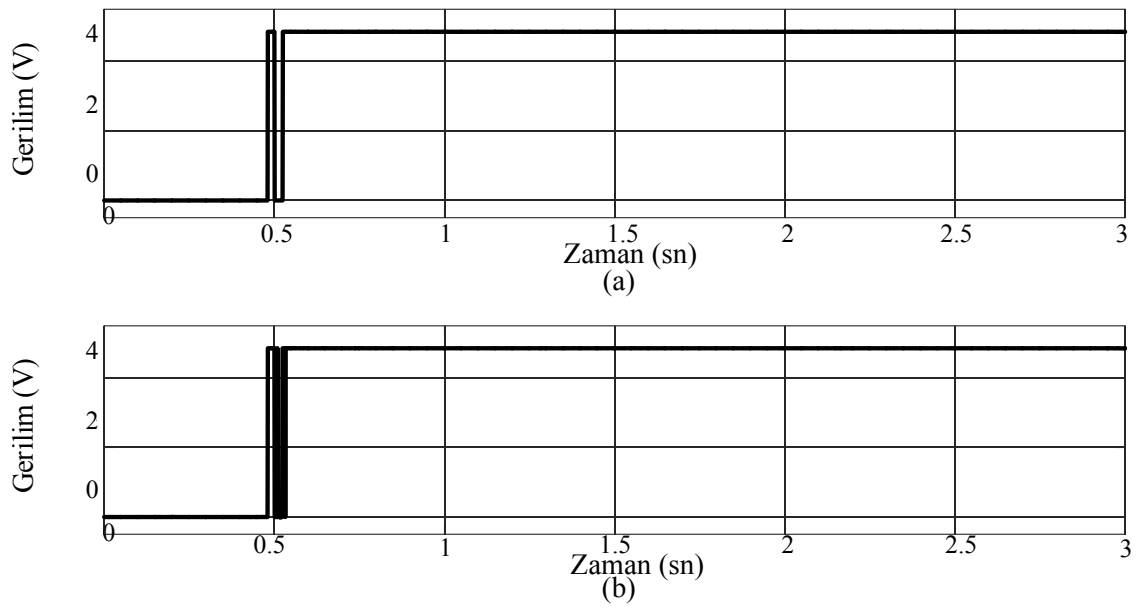


Şekil 5. 35. Panel akımı-zaman grafiği

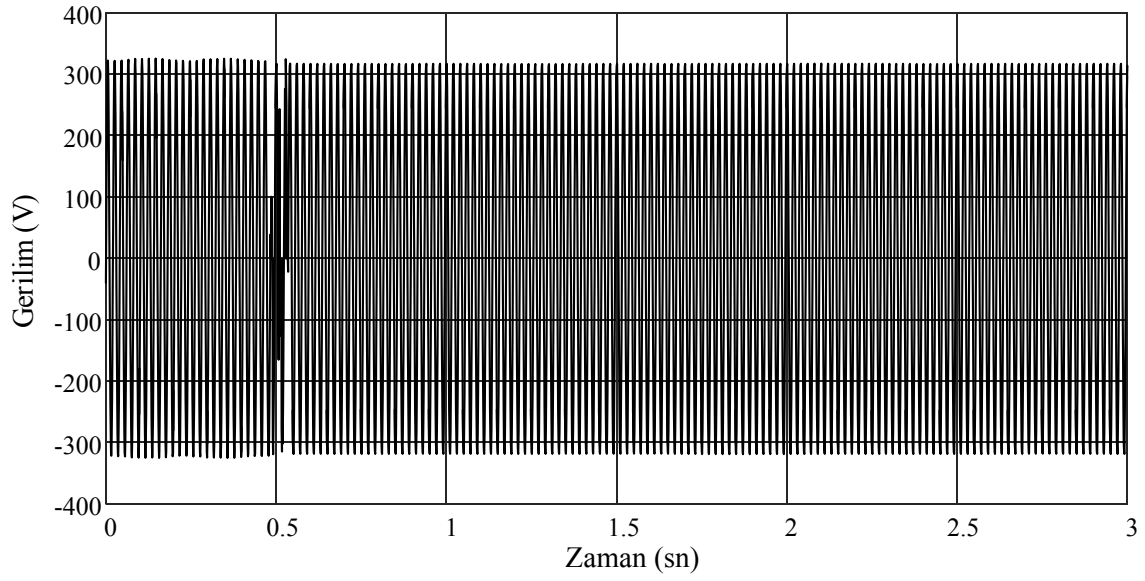
Şekil 5.35'de; $t=0,3$ saniye anında panel ışınımı azaltılmıştır. Bu durumda panel gerilimi 19,4 V'a kadar düşmektedir ve buna bağlı olarak panelden çekilen akım artmaktadır. $t=0,48$ saniye anında sonra panelin yük ile bağlantısı kesilerek, sadece konverterin boşa çalışma gerilimini karşılaması sağlanmaktadır. Şekil 5.36'da verilen grafikte; $t=0,48$ anında yükü besleyen aktif kaynak olması için röle enerjilendirilene kadar akü akımının sıfır olduğu görülmektedir. Bu andan sonra ise yük şebeke tarafından beslenmekte olduğundan, akü inverterin boşa çalışma akımını karşılamaktadır.



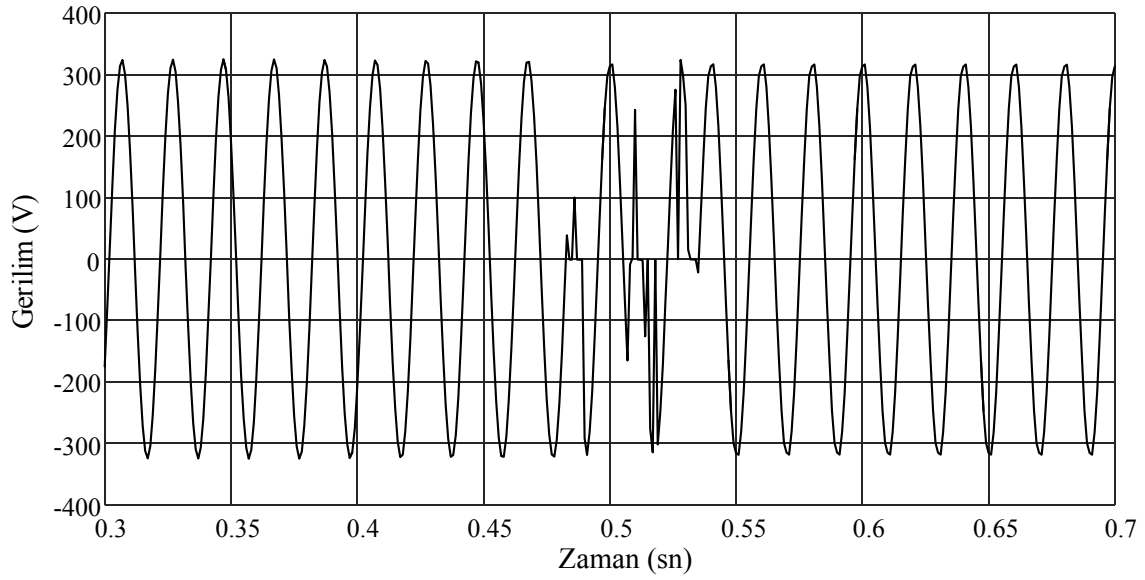
Şekil 5. 36. Akü akımı-zaman grafiği



Şekil 5. 37. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği

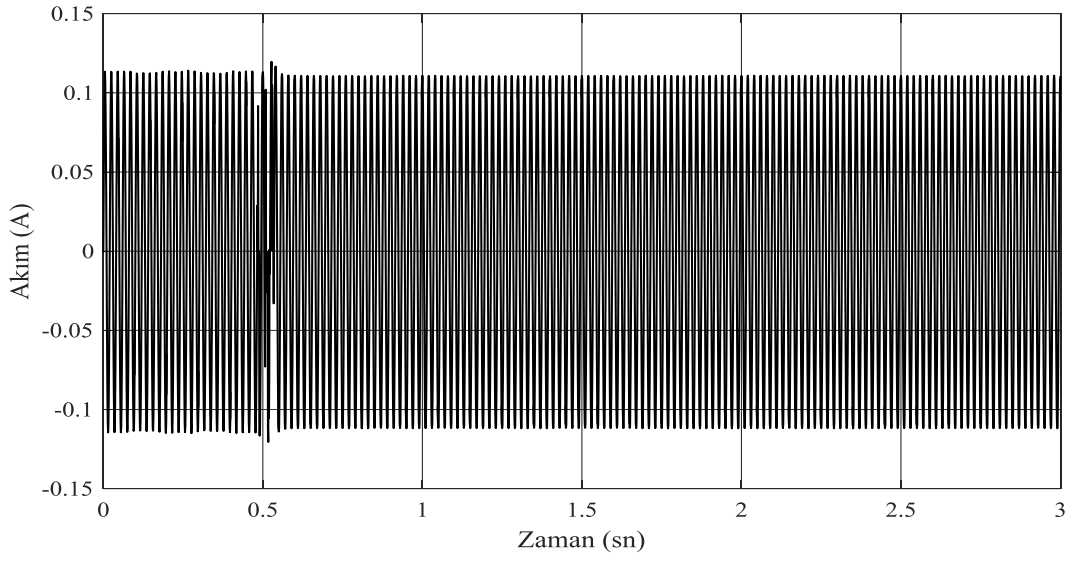


Şekil 5. 38. Yük gerilimi-zaman grafiği

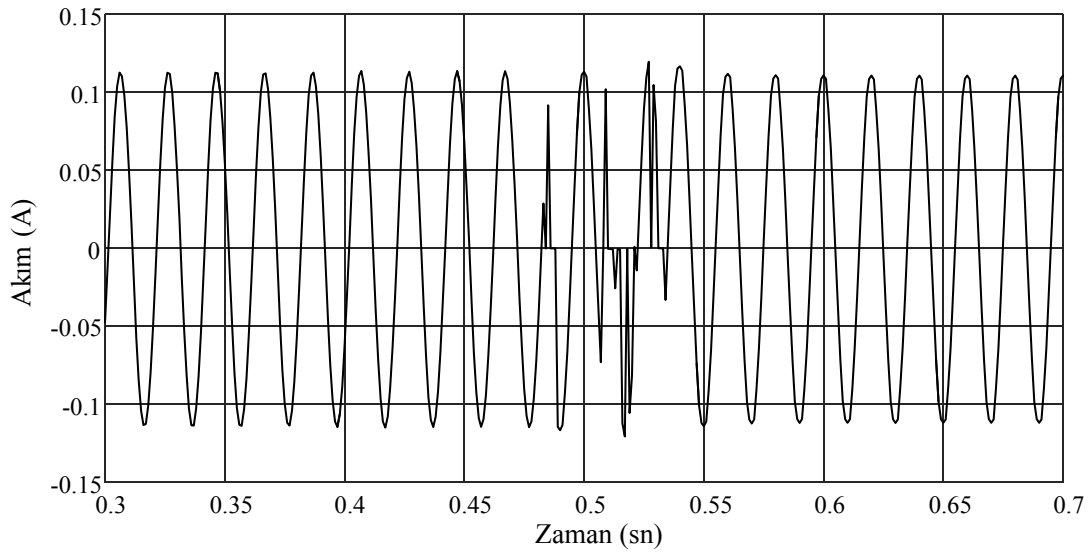


Şekil 5. 39. Yük gerilimi-zaman grafiği (t=0,3-0,7 sn arası)

Şekil 5.38'de ve şekil 5.39'da görüldüğü gibi, yükün gerilimi $t=0,48$ sn anına kadar inverterden sağlanırken, bu anda panel geriliminin de 19 V'un altına düşmesi sebebi ile; bu andan sonra şebeke tarafından karşılanmaktadır ve yük gerilimi $t=0,53$ sn anından sonra sürekli duruma gelmektedir.



Şekil 5. 40. Yük akımı-zaman grafiği



Şekil 5. 41. Yük akımı-zaman grafiği (t=0,3-0,7 sn arası)

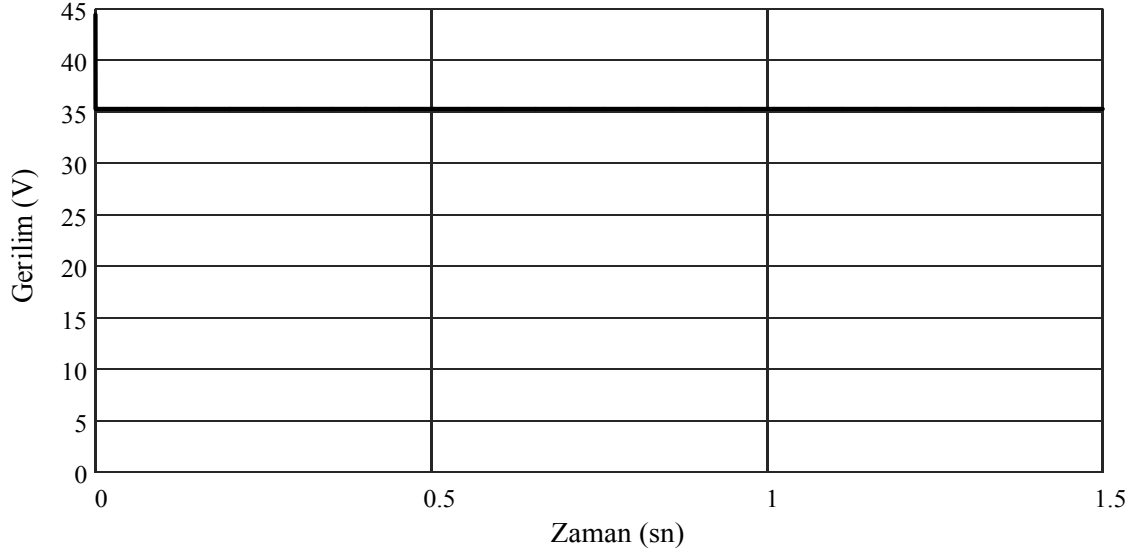
Şekil 5.40'da ve şekil 5.41'de görüldüğü gibi, yük 15 W değerinde halojen ampul olduğundan yük akımının da yük gerilimi ile aynı fazda olduğu görülmektedir.

5.2. Benzetim Sonuçları

Tezin bu bölümünde, bir önceki bölümde anlatılan hibrit sistemin kontrolü ve çalışmasına ilişkin elde edilen benzetim sonuçları incelenmektedir. Sistemin benzetim

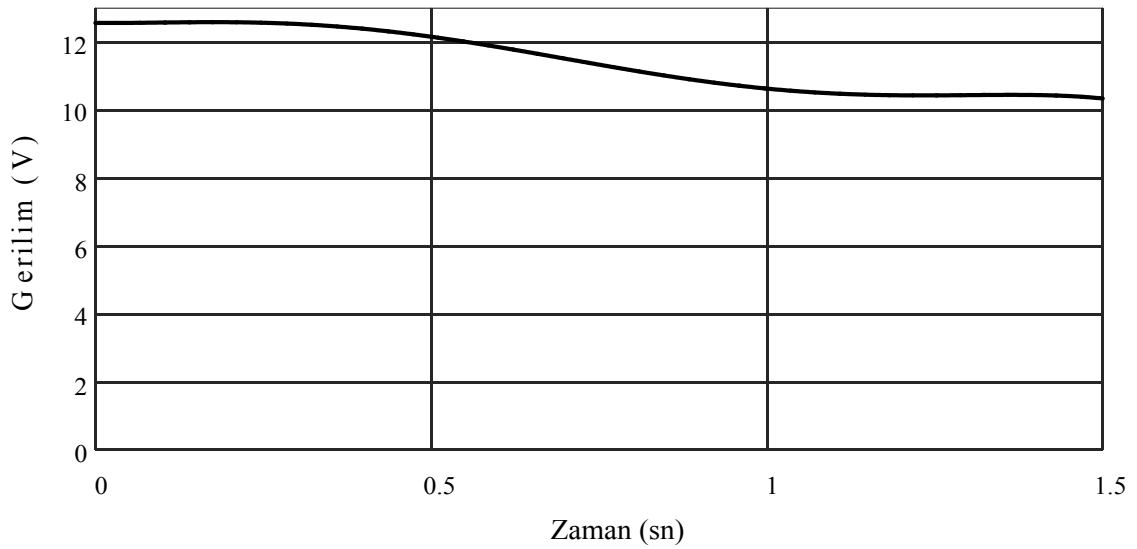
çalışması yapılırken; yükün fotovoltaiik panel tarafından beslendiği (Durum-1 ve Durum-2) ve yükün şebeke tarafından beslendiği (Durum-3 ve Durum-4) birer durum ele alınmıştır.

5.2.1. Durum-1 ve Durum-2



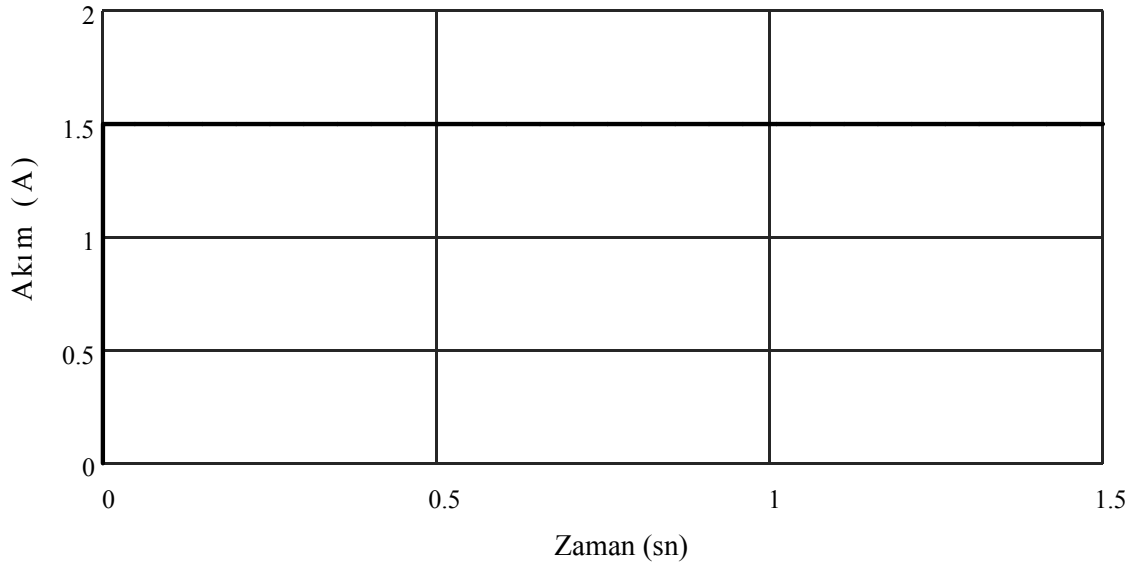
Şekil 5. 42. Fotovoltaiik panel-zaman grafiği

Şekil 5.42'de görüldüğü gibi benzetim çalışmasında da deneysel çalışmada olduğu gibi, seçilen çalışma süresi boyunca yüklü durumda panel geriliminin ortalama değeri $V_p=35,2$ V'dur.



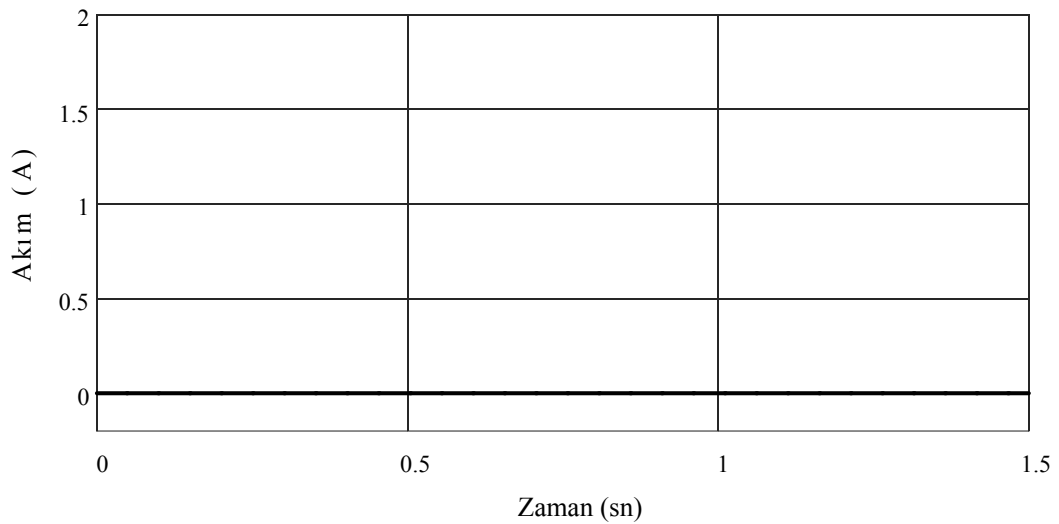
Şekil 5. 43. Akü Gerilimi-Zaman Grafiği

Akü geriliminin deneysel çalışmadaki değişiminin benzetim çalışmasına uygulayabilmek için veri kaydedici ile alınan anlık verinin MATLAB'da eğri uydurma yöntemi ile denklemi çıkarılmıştır. Bu denklem daha sonra benzetim çalışmasında akü gerilimi olarak kullanılmıştır.

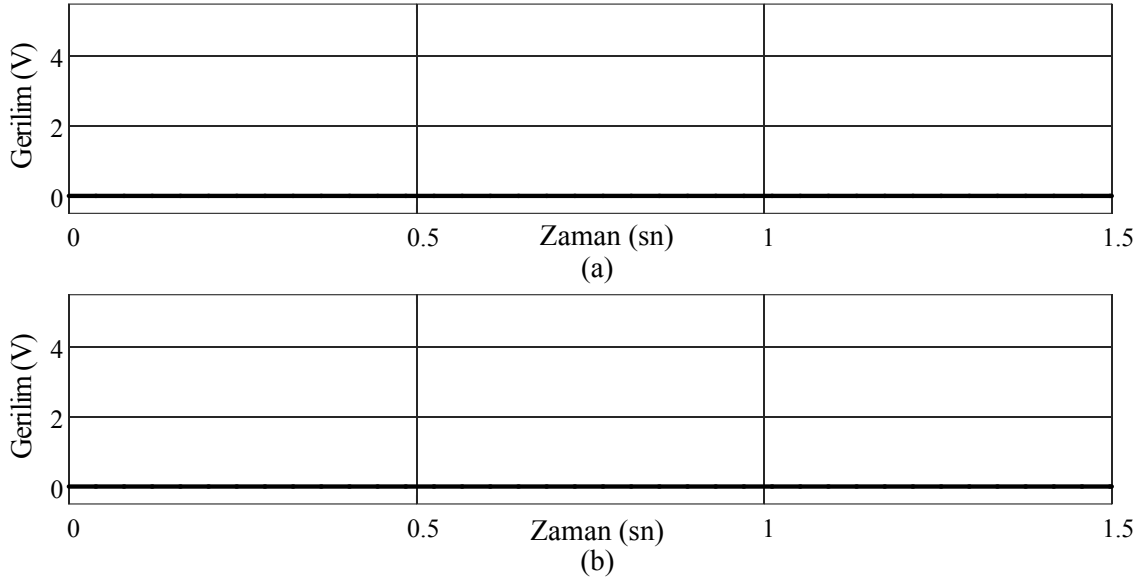


Şekil 5. 44. Panel akımı-zaman grafiği

Yüklü çalışma koşullarında fotovoltaik panel geriliminin istenen ve yeterli değeri sağlaması sebebiyle yükün enerji ihtiyacı fotovoltaik panel vasıtasıyla karşılanmaktadır. Bu durumda fotovoltaik panel akımı 1,5 A değerindedir. Bu koşullarda aküden ise akım çekilmemektedir.

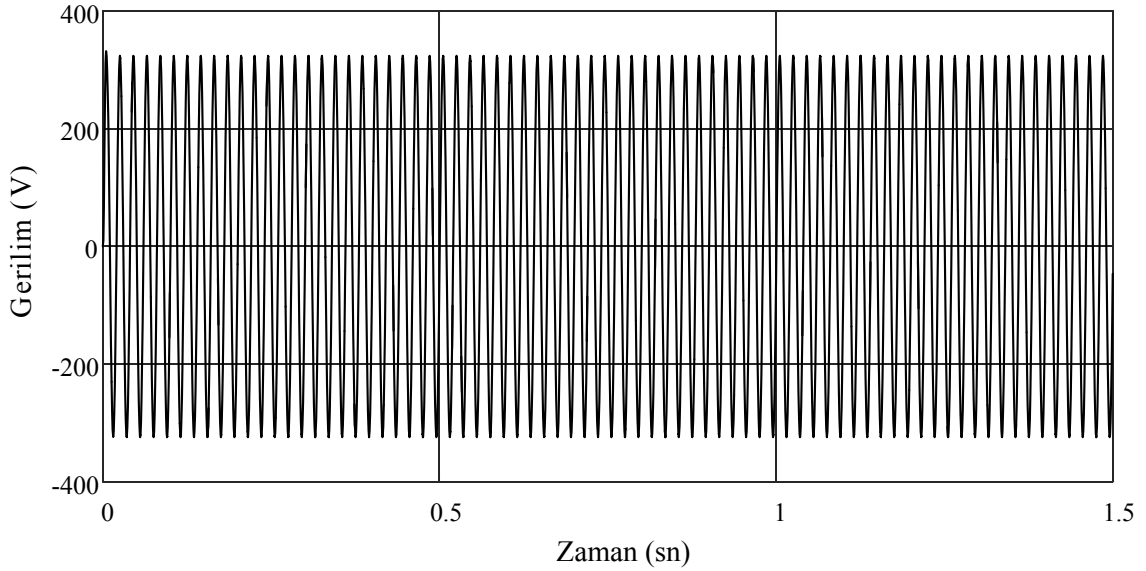


Şekil 5. 45. Akü akımı-zaman grafiği

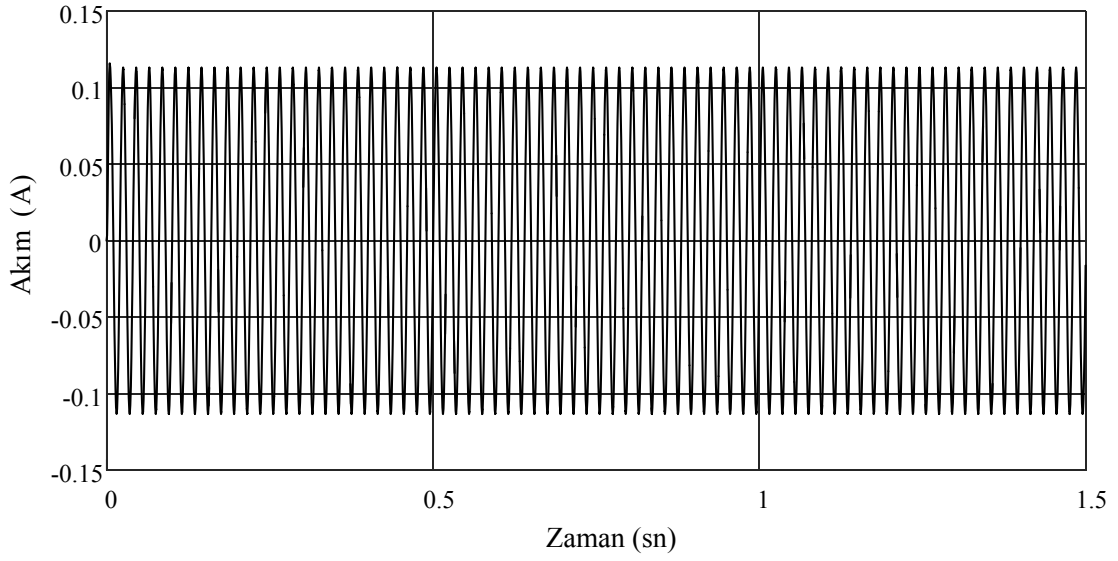


Şekil 5. 46. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği

Çalışma süresi boyunca, yükte çalışmada panel gerilimi belirlenen gerilimin altına düşmediğinden, fotovoltaik panelden yük beslenebildiği için her iki röle devresinde de röle bobini kontrolör devresi tarafından enerjilendirilmemektedir.



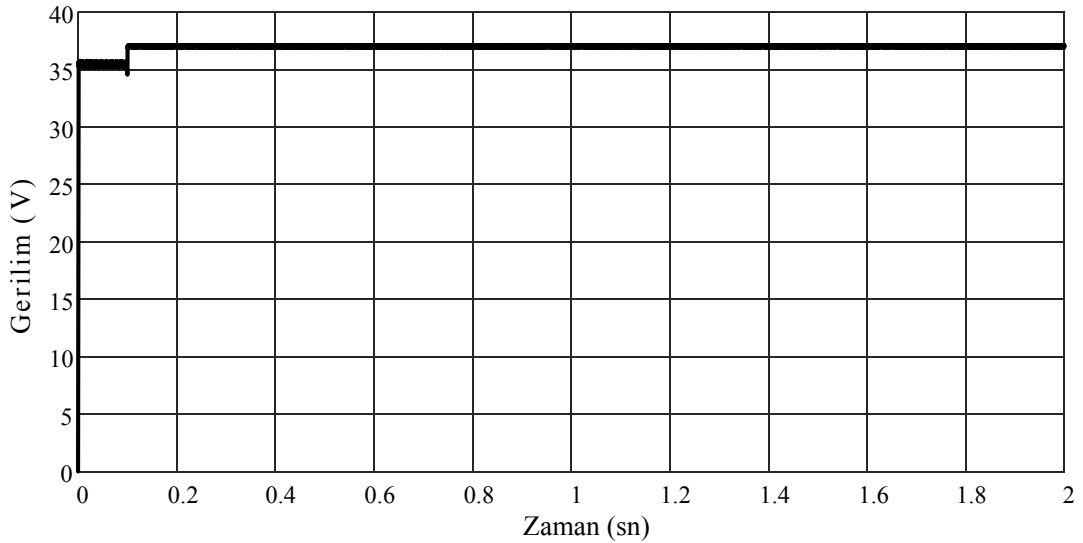
Şekil 5. 47. Yük Gerilimi-Zaman Grafiği



Şekil 5. 48. Yük akımı-zaman grafiği

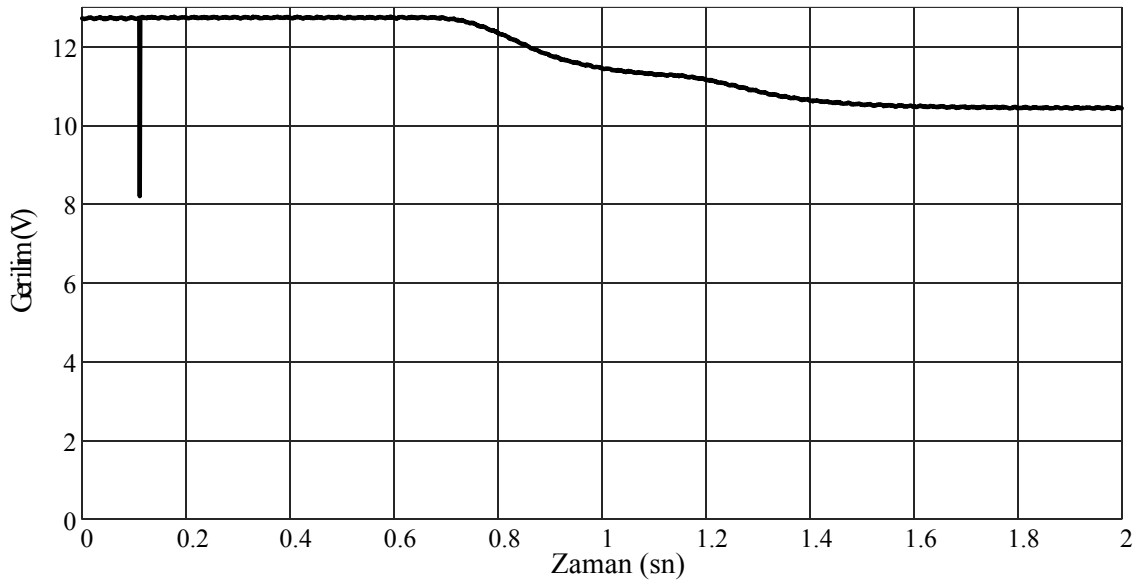
Yükün güç ihtiyacı fotovoltaiik panelden karşılanmaktadır. Panelden elde edilen DA gerilim kullanılan tam sinüs inverter aracılığıyla Şekil 5.47'de görüldüğü gibi 50 Hz frekans değerine sahip, yaklaşık 230 V AA gerilime dönüştürülmektedir. Sistemde omik yük olarak gücü 15 W olan halojen ampul kullanılmıştır. Şekil 5.48'de görüldüğü gibi yükün çektiği akımın; yük gerilimi ile aynı fazda olduğu ve akımın efektif değerinin 77 mA değerinde olduğu görülmektedir.

5.2.2. Durum-3 ve Durum-4



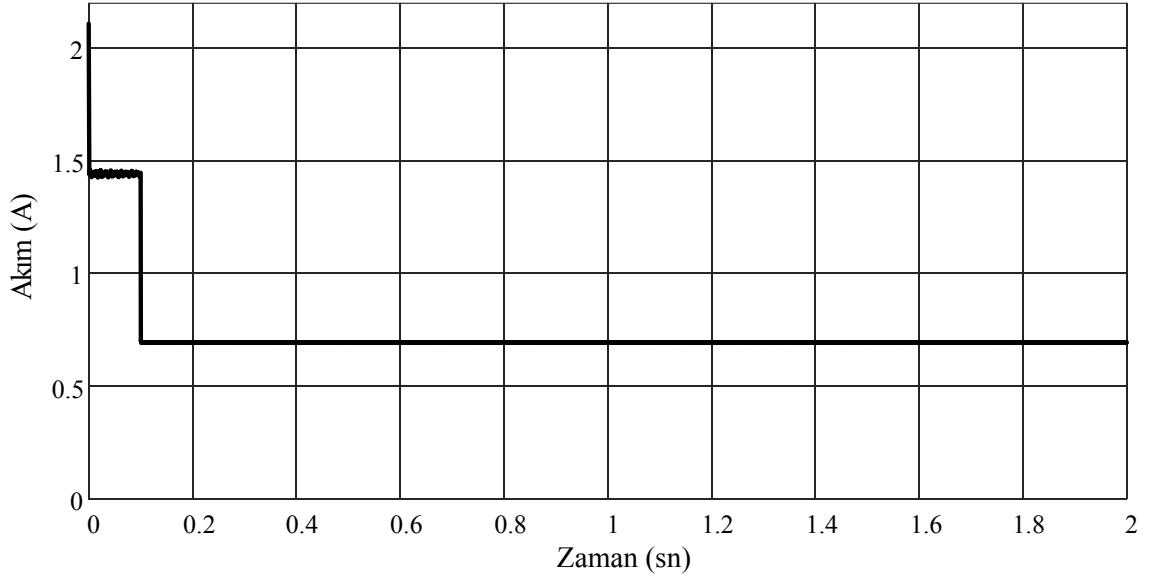
Şekil 5. 49. Panel gerilimi-zaman grafiği

Belirtilen çalışma koşullarında, yüklü durumda panel gerilimi $t=0$ anında 35,7 V'tur. Panel gerilimi 19 V'un üzerinde olduğundan, yük fotovoltaik panel vasıtasıyla beslenmektedir. Kaynak gerilimi ise $t=0,1$ sn anında, her iki sistem de yükü besleyebilecek şartları sağlıyorken, inverter geriliminin sıfır olduğu bilgisi ile, inverter-şebeke seçim rölesi enerjilendirilerek, yükün şebeke tarafından beslenmesi sağlanmaktadır. Yeni durumda fotovoltaik panel sadece DA-DA konverteri beslediğinden, gerilim değeri $t=0,1$ sn anında yükselmiştir ve değeri 37 V olmuştur.

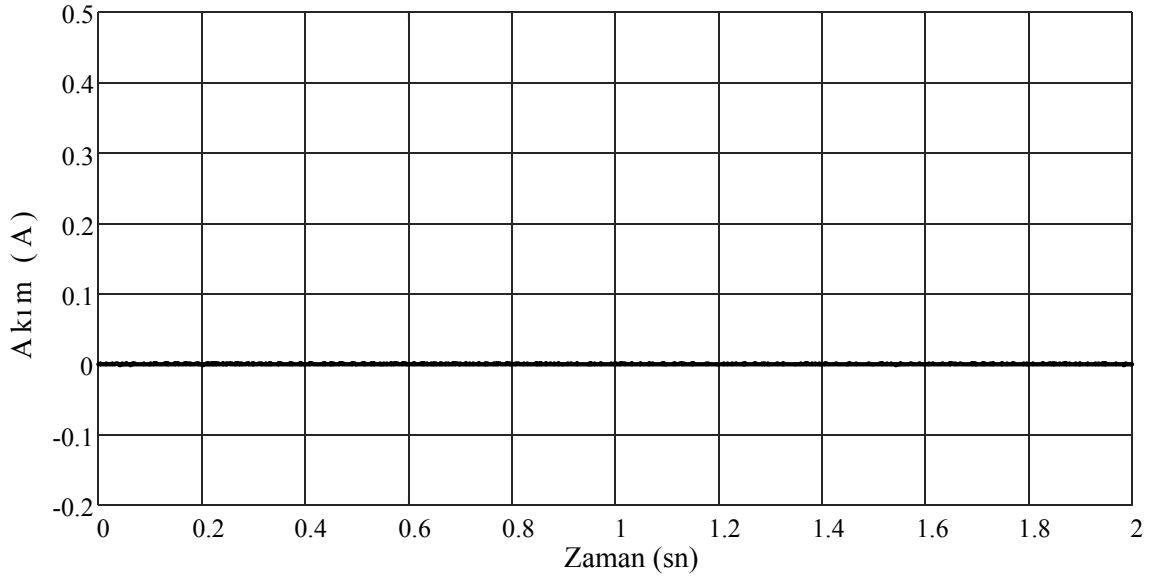


Şekil 5. 50. Akü gerilimi-zaman grafiği

Akü geriliminin deneysel çalışmadaki değişiminin benzetim çalışmasına uygulayabilmek için veri kaydedici ile alınan anlık verinin MATLAB'da eğri uydurma yöntemi ile denklemi çıkarılmıştır. Bu denklem daha sonra benzetim çalışmasında akü gerilimi olarak kullanılmıştır.

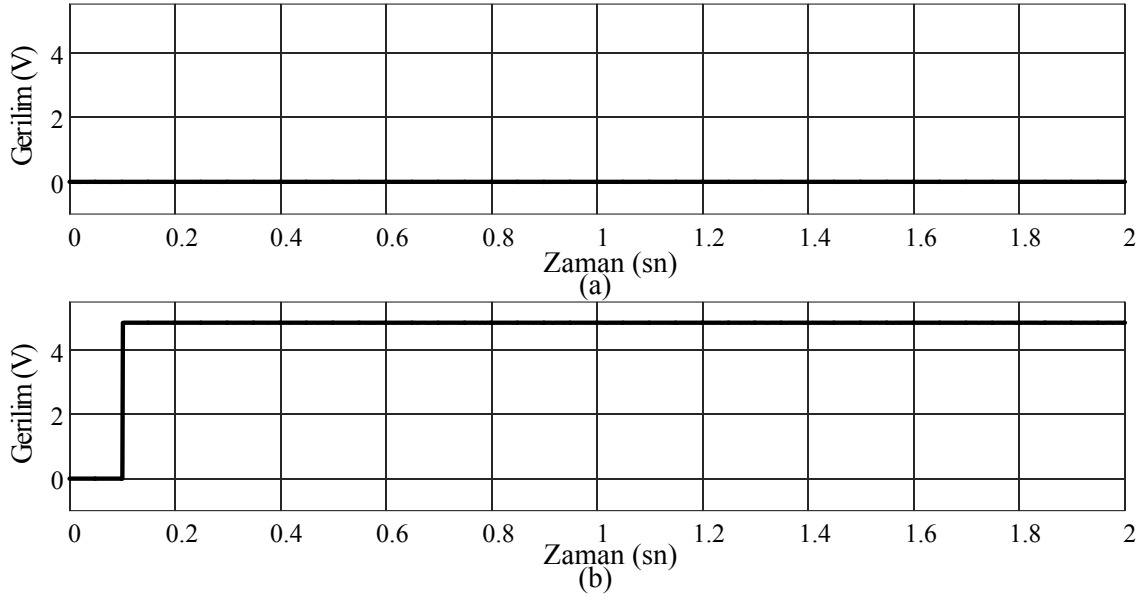


Şekil 5. 51. Panel akımı-zaman grafiği

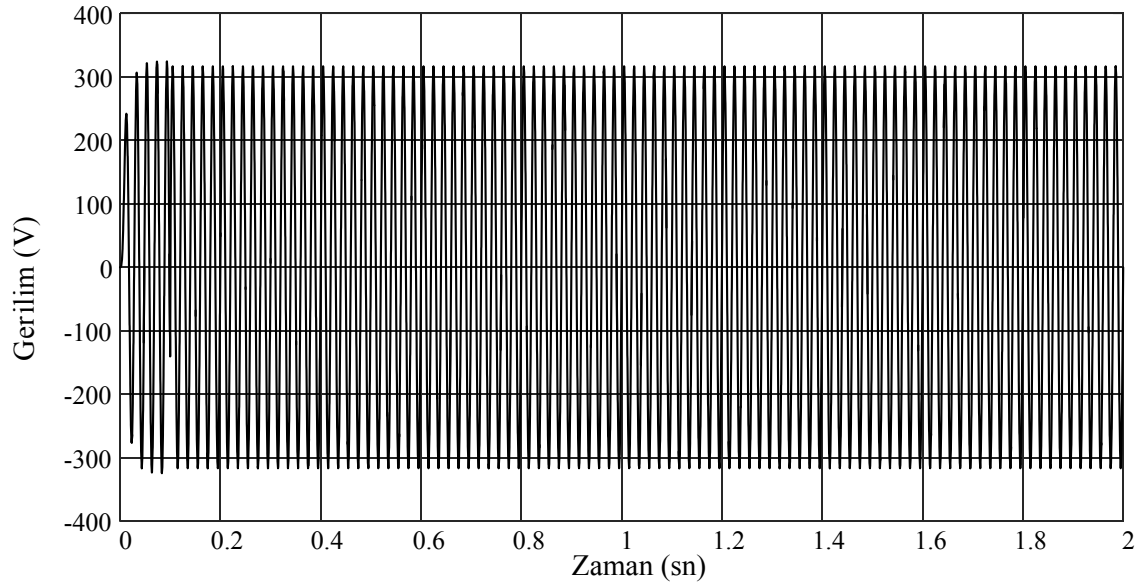


Şekil 5. 52. Akü akımı-Zaman Grafiği

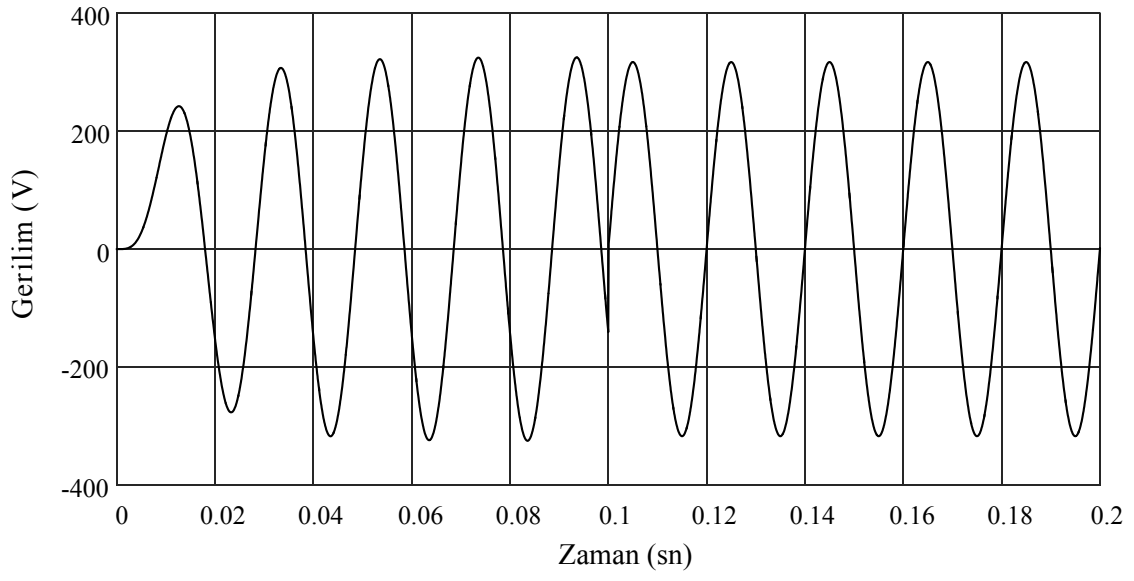
Mevcut durumda $t=0-0,1$ sn aralığında yük fotovoltaik panelden beslendiği için fotovoltaik panelden çekilen akım şekil 5.51.'de görüldüğü gibi yaklaşık 1,5 A civarındadır. Anahtarlama anından sonra yükün güç ihtiyacı şebeke tarafından karşılanmaktadır ve panelden konverter ve inverterin boşa çalışma kayıplarını karşılamak için akım çekilmektedir. Aküden akım çekilmediği şekil 5.52'de görülmektedir



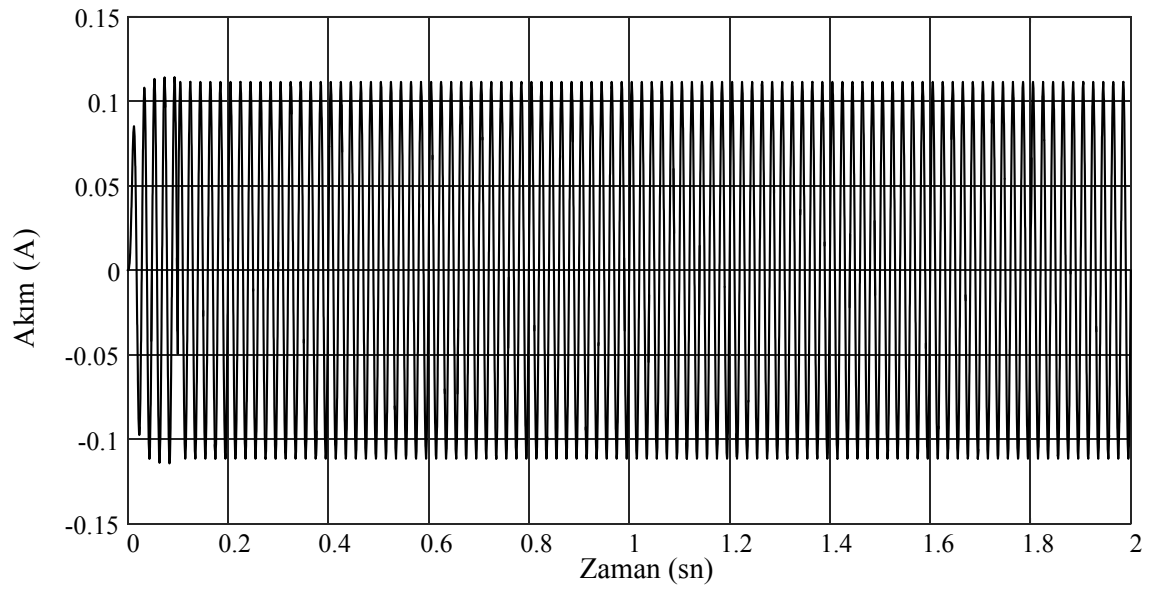
Şekil 5. 53. a)Panel-akü seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği b)İnverter-şebeke seçim rölesine uygulanan gerilim-zaman grafiği



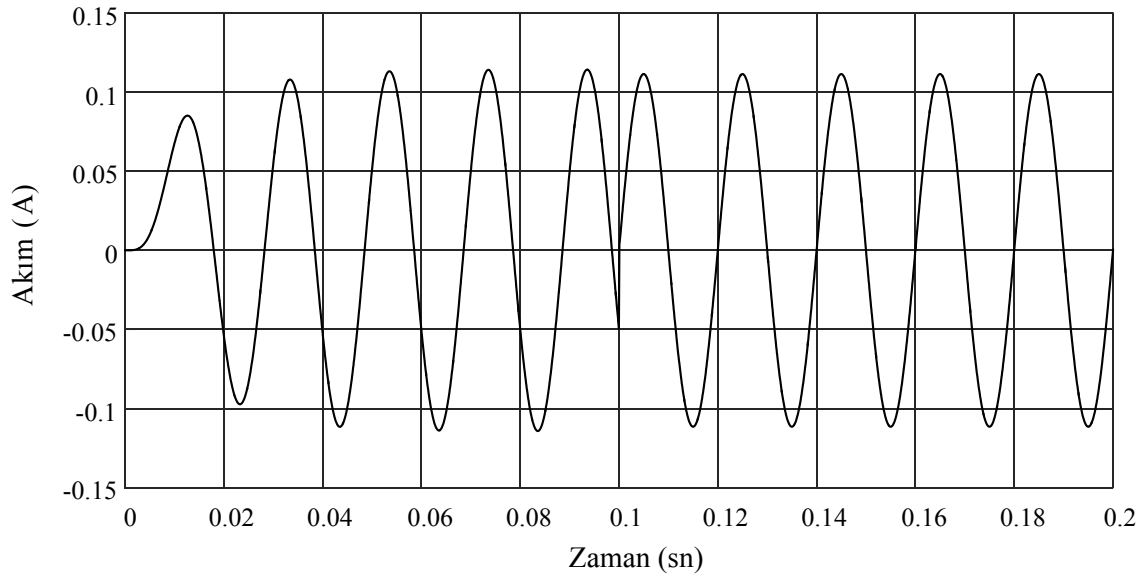
Şekil 5. 54. Yük gerilimi-zaman grafiği



Şekil 5. 55. Yük gerilimi-zaman grafiği (t=0-0,2 sn aralığı)



Şekil 5. 56. Yük akımı-zaman grafiği



Şekil 5. 57. Yük akımı-zaman grafiği (t=0-0,2 sn aralığı)

Şekil 5.54 ve Şekil 5.55'de verilen yük gerilimi-zaman grafiklerinde de görüldüğü gibi t=0,1 sn anına kadar yük akım ve gerilimi inverter vasıtası ile sağlanırken bu andan sonra yük şebeke tarafından beslenmeye başlamıştır. Sistemde 15 W gücünde omik yük kullanılmıştır. Şekil 5.56'da ve Şekil 5.57'de yükün çektiği akımın; yük gerilimi ile aynı fazda olduğu ve akımın efektif değerinin 77 mA değerinde olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Tüm dünyada elektrik enerjisinin üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve bu konu hakkındaki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri teknolojisindeki gelişmeler, sistemlerin verimini ve güvenilirliğini arttırmaya yönelik çalışmalara odaklanması sebebi ile yenilenebilir enerji sistemleri gün geçtikçe daha çok tercih edilmektedir. Bu sebeple çevresel koşullara bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin "süreklilik arz etmemesi" dezavantajını ortadan kaldıracabilecek hibrit sistemler konusundaki çalışmaların önemi aşıkardır.

Ülkemizdeki rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi potansiyelleri düşünüldüğünde, yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecek yıllarda enerji üretimi konusunda daha önemli bir rol oynayacağı görülecektir. Rüzgar türbini ve güneş pilinden oluşan hibrit bir güç üretim sisteminin kullanımı ile özellikle elektrik enerjisinin ulaşımının zor olduğu kırsal bölgelerde konutların gerekli elektrik enerjisi çevresel şartlara bağlı olmadan sürekli olarak karşılanmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki önemi daha da artacaktır. Hibrit sistemden elektrik enerjisi üretimi, enerjisini fosil yakıtlardan sağlayan ve bu yakıtların çoğunu yurtdışından ithal eden ülkemiz ekonomisine önemli bir katkı sağlayacaktır.

Gerçekleştirilen güç sisteminde, farklı çevresel koşullara bağlı olarak değişken performans gösteren yenilenebilir enerji kaynakları aynı sistemde kullanılarak ve sistemin güç akışı kontrolü yapılarak tek başına kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının zayıf yönlerinden biri olan sürekli olmama durumu elimine edilmeye çalışılmıştır. Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisinin doğaları gereği, birbirini tamamlayıcı özelliklere sahip olması sebebi ile günün her saatinde ve yılın her mevsiminde farklı tip ve büyüklükte yükleri besleyebilecek bir sistem oluşturulması hedeflenmiştir.

6.2. Öneriler

Bu kısımda gerçekleştirilen tez çalışmasına ilişkin olarak; ilerleyen zamanlarda sistemin kullanılabilirliğini ve verimini arttırmaya yönelik önerilerden bahsedilecektir.

Gerçekleştirilen sistemin kontrolünde kaynak gerilimlerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesinin esas alınması yerine; kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği ve yükün tükettiği anlık güç değerlerini ölçülmesini ve değerlendirilmesini ele alacak bir kontrol algoritmasının geliştirilmesine yönelik çalışmalar ele alınabilir. Ayrıca tasarlanan sistemin kontrolünde inverter çıkış gerilimin büyüklük değerini değil; sadece bir inverter gerilimi olup olmadığını kontrol etmeye yönelik olmuştur. Bu durumda yapılacak yazılımsal bir iyileştirme ile kontrol sistemi geliştirilebilir. Rüzgar türbini tarafından şarj edilen akünün gerilim değerinin yanı sıra, akü şarj yüzdesinin de sistem kontrolünde etkin bir veri olması gerekmektedir. Gerçekleştirilen sistem belirtilen durumları sağlayacak şekilde geliştirilebilir.

Sistemde kullanılan fotovoltaik panelin maksimum güç noktasının takibini yapabilecek sistemlerle ve fotovoltaik panel için bir güneş takip sisteminin kullanılması da sistem verimini arttıracaktır.

Gerçekleştirilen sistemde, fotovoltaik panel ve rüzgar türbinini ayrı birer kaynak olarak kullanılmasının yanı sıra, kullanılan kaynakların paralel olarak aynı anda daha büyük yükleri besleyebileceği değişiklikler yapılabilir.

Üretilen enerjinin, sürekliliği sağlayabilmek için şebeke yerine, yakıt pili gibi yenilenebilir başka bir kaynağın alternatif olacağı bir sistem gerçekleştirilerek, sistemin şebekeye ihtiyaç duymadan şebekeden uzak, kırsal yerleşim yerleri için de kullanılabilir hale getirilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] **Demirtaş, M.**, 2008. Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] **Salmanoğlu, F.**, 2009. Rüzgar-Fotovoltaik Otonom Güç Sistemlerinin Algoritmik Bir Yaklaşımla Optimal Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [3] **Fesli, U.**, 2009. Mikro denetleyici Denetimli Düşük Güçlü Yenilenebilir Enerji Üretici Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [4] **Guda, S. R.**, 2005. Modeling and Power Management of A Hybrid Wind/Microturbine Power Generation System, *MSc Thesis*, Montana State University, Bozeman.
- [5] **Wei, Z.**, 2007. Simulation and Optimum Design of Hybrid Solar-Wind and Solar-Wind-Diesel Power Generation Systems, *PhD Thesis*, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.
- [6] **Sirasani, K., Kamdi, S. Y.**, 2013. Solar Wind Hydro Hybrid Energy System Simulation, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, **2**, pp. 2231-2307.
- [7] **Dursun, E.**, 2013. Şebekeden Bağımsız Rüzgar, Güneş ve Hidrojen Kaynaklı Hibrit Enerji Sisteminin Analizi, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [8] **Nema, P., Nema, R. K., Rangnekar, S.**, 2009. A Current and Future State of Art Development of Hybrid Energy System Using Wind and PV-Solar: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 2096-2103.
- [9] **Deshmukh, M.K., Deshmukh, S.S.**, 2008. Modeling of Hybrid Renewable Energy Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12**, 235-249.
- [10] **Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., Yang, H.**, 2010. Current Status of Research On Optimum Sizing of Stand Alone Hybrid Solar-Wind Power Generation Systems, *Applied Energy*, **87**, 380-389.
- [11] **Bayrak Z. U.**, 2014. "Evsel Yükler için Yakıt Pili-Güneş Pili Hibrit Sisteminin Tasarımı, Modellenmesi ve Uygulaması", *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [12] **Başaran, K., Çetin, N.S., Çelik, H.,** 2011. Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, May 16-18, 114-119.
- [13] **Engin, M.,** 2010. Bornova İçin Güneş-Rüzgar Hibrid Enerji Üretim Sistemi Tasarımı, *Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, **2**, 11-20.
- [14] **Balasubramanian, G., Singaravelu, S.,** 2013. Fuzzy Controller for Stand Alone Hybrid PV-Wind Generation Systems, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 314-320.
- [15] **Wang, Y., Wu, J., Xu, J., Zhang, Y., Chen, N.,** 2009. Wind/Photovoltaic Hybrid Power Generator Based on Fuzzy Control, *International Power Electronics and Motion Control Conference*, 17-20 May, pp. 2284-2287.
- [16] **Enchkal, A. G., Abraham A. C., Shareena MK., Shijina, K.,** 2015. A Relay Based Controller Designing of Hybrid Power Systems, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, **4**, 2505-2511
- [17] **Dali, M., Belhadj, J., Roboam, X.,** 2011. Theoretical and Experimental Study of Control and Energy Management of A Hybrid Wind-Photovoltaic System, *8th International Multi-Conference on Systems, Signals&Devices*, 22-25 March, 1-7.
- [18] **Wang, C., Nehrir, M., H.,** 2008. Power Management of A Stand-Alone Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Energy System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **3**, 957-967.
- [19] **Prabhuraj, P.M., Sasiraja, R.M.,** 2013. Controller for Standalone Hybrid Renewable Power Generation, *International Journal of Engineering Trends and Technology IJETT*, **4**, 2498-2502.
- [20] **Abdin, S., Xu, W.,** 2000. Control Design and Dynamic Performance Analysis of a Wind Turbine-Induction Generator Unit , *IEEE Trans. on Energy Convers.*, **15**, 91-96.
- [21] **Öner, Y., Özçira, S., Bekiroğlu, N.,** 2008. Düşük Güçlü Uygulamalar İçin Konvansiyonel Senkron Generatörler İle Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatörlerin Karşılaştırılması, *ELECO 2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 26-30 Kasım.
- [22] **Gupta, J., Kumar, A.,** 2012. Fixed Pitch Wind Turbine-Based Permanent Magnet Synchronous Machine Model for Wind Energy Conversion Systems, *Journal Of Engineering and Technology*, **2**, 52-62.
- [23] **El Saady, G., Ibrahim, E.N.A., Ziedan,H., Soliman, M.M.,** 2013. Analysis of Wind Turbine Driven Permanent Magnet Synchronous Generator under

Different Loading Conditions, *Innovative Systems Design and Engineering*, **4**, 97-111.

- [24] **Öner, Y.**, 2009. Sürekli Mıknatıslı DC Motor ile Tahrik Edilen Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatörün Çıkış Geriliminin Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] **Uyar, M., Gençoğlu, M.T., Yıldırım, S.**, 2005. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri için Generatör Sistemleri, *YEKSEM 2005 III. Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 173-178.
- [26] **Eminoğlu, U.**, 2013. Değişken Hızlı Rüzgar Türbini Sistemlerinin Çıkış (Güç) Karakteristiğinin Modellenmesi, *III. Ulusal Elektrik Tesisat Kongre ve Sergisi Güç ve Enerji Sistemleri Sempozyumu*, İzmir, 21-24 Kasım.
- [27] **Dursun E., Binark, A. K.**, 2008. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES'2008*, İstanbul, 17-19 Aralık, 667-674.
- [28] **Li, H., Chen, Z.**, 2008. Overview of Different Wind Generator Systems and Their Comparisons, *IET Renewable Power Generation*, **2**, 123–138.
- [29] **Çelikdemir, S.**, 2014. Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatörlü Rüzgar Santrali", *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [30] **Trinadha, K., Kumar, A.**, 2011. Performance of Wind Driven Induction Generator Under Balanced/Unbalanced Load and Excitation, *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 24-29 July.
- [31] **Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E.**, 2001. Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons Ltd., England.
- [32] **El-Shatter, T.F., Eskander, M.N., El-Hagry, M.T.**, 2006. Energy Flow and Management of a Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Generation System, *Energy Conversion and Management*, **47**, 1264-1280.
- [33] **Das, D., Esmaili, R., Dave Nichols, L., X.**, 2005. An Optimal Design of a Grid Connected Hybrid Wind/Photovoltaic/Fuel Cell System for Distributed Energy Production, *IEEE Industrial Electronics Conference*, pp. 2499-2504, November.
- [34] **Pilaji, K., Deshpande, A., Yadav, A.**, 2015. Hybrid Power Management Using Micro-Controller, *International Journal of Electrical and Electronics Research*, **3**, pp. 181-186.
- [35] **Park, S.J., Kang, B.B., Yoon, J.P., Cha, I.S., Lim, J.Y.** 2004. A Study on The Stand-Alone Operating or Photovoltaic Wind Power Hybrid Generation

System, *35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2095-2099.

- [36] **Valenciaga, F., Puleston, P.F., Battaiotto P.E. Mantz, R.J.**, 2000.Passivity/Sliding Mode Control of a Stand-Alone Hybrid Generation System, *IEEE Proceedings on Control Theory and Applications*, 147(6) 680 – 686, December.
- [37] **Beltran, B.,Ahmed-Ali, T., El Hachemi Benbouzid, M.**,2008. Sliding Mode Power Control of Variable Speed Wind, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 551-558
- [38] **Eskander, M. N., El-Shatter T. F., El-Hagry M. T.** , 2002, Energy Flow and Management of A Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Generation System, *IEEE 33rd Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC '02)*, pp. 347–353.
- [39] **Bansal, R.C.** 2006, Automatic Reactive Power Control of Wind–Diesel Hybrid Power Systems, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, **53**, 1116-1126.
- [40] **Bansal, R., C.; Bhatti, T., S.; Kothari, D., P.**, 2003, Automatic Reactive Power Control of Wind-Diesel-Micro-Hydro Autonomus Hybrid Power Systems Using ANN Tuned Static VAR Compensator, *IEEE Transaction*, **14**, 182-188.
- [41] **Senjyu, T., Hayashi, D., Urasaki, N., Funabashi, T.**,2006, Optimum Configuration for Renewable Generating Systems in Residence Using Genetic Algorithm, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **21**, 459-467.
- [42] **Chedid, R.B., Karaki, S.H., El-Chamali, C.**, 2000. Adaptive Fuzzy Control for Wind–Diesel Weak Power System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **15**, 71-78.
- [43] **Yang, J.M., Cheng, K.W.E., Wu, J., Dong, P., Wang, B.**, 2004. The Study of the Energy Management System Based-on Fuzzy Control for Distributed Hybrid Wind- Solar Power System, *Proceedings of First International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, November, pp. 113-117.
- [44] **Ranjit, S., S., S., Abbod, M., Balachandran, W.**, 2015. Renewable Energy Resource Self-Intervention Control Technique Using Simulink/Stateflow Modeling, *Power Engineering Conference (UPEC) 50th International Universities*, Staffordshire University, United Kingdom, September 1-4,1-6.
- [45] **Öztürk, H., Kaya, D.**, 2013. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji, Umuttepe Yayınları, Kocaeli

- [46] **Bayrak, G., Cebeci, M.,** 2012. 3.6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **28**, 198-204.
- [47] **Özil, E., Şişbot, S., Özpınar A., Olgun B.,** 2013. Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği Cilt-IV Yeni ve Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Çevre, Türkiye Elektrik Sanayicileri Birliği, İstanbul.
- [48] **Boujemaa, M., Rachid, C.,** 2014. Different methods of modeling a photovoltaic cell using Matlab/Simulink/Simscape, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, **5**, 671-677.
- [49] **Pandiarajan, N., Muthu R.,** 2011. Mathematical modeling of photovoltaic module with Simulink, *International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES 2011)*, Tamilnadu, India, January 3-5.
- [50] **Bellia, H., Youcef, R., Fatima, M.,** 2014. A Detailed Modeling of Photovoltaic Module Using MATLAB, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, **3**, 53-61.
- [51] **Babu, B., C., Gurjar, S.,** 2014. A Novel Two Diode Model of Photovoltaic (PV) Module, *IEEE Journal of Photovoltaics*, **4**, 1156-1161.
- [52] **Villava, M. G., Gazoli, J.R., Filho, E.R.,** 2009. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **24**, 1198-1208
- [53] **Salem F., A., Saleh, B.,** 2015. Modeling, Simulation and Control Studies on Photovoltaic-Converter System for Mechatronics Design of Solar Electric Application, *Intelligent Systems and Applications*, **01**, 9-30
- [54] **Glasner, I., Appelbaum, J.,** 1996. Advantage of Boost vs. Buck Topology for Maximum Power Point Tracker in Photovoltaic Systems, *Electrical and Electronics Engineers in Israel, Nineteenth Convention*, Jerusalem, 5-6 November, 355 - 358.
- [55] **Atallah, A., M., Abdelaziz, A., Y., Jumaah, R., S.,** 2014. Implementation of Perturb and Observe MPPT of PV System with Direct Control Method Using Buck and Buck-Boost Converters, *Emerging Trends in Electrical, Electronics & Instrumentation Engineering: An international Journal EEIEJ*, **1**, 31-44.
- [56] **Alsadi, S., Alyasid, B.,** 2012. Maximum Power Point Tracking Simulation for Photovoltaic Systems Using Perturb and Observe Algorithm, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, **2**, 80-85.
- [57] **Dağteke, S., E.,** 2015, Hızlı Çevresel Değişimlerden Az Etkilenen Hibrit Bir Maksimum Güç Noktası Takibi Metodunun Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

EKLER

Ek 1. DSP-160 Fotovoltaik Panel

Max. Güç:160 W

Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim Değeri: 35,2 V

Maksimum Güç Noktasındaki Akım Değeri: 4,44 A

Açık Devre Gerilimi: 43,3 V

Kısa Devre Akımı: 4,98 A

Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı: 0,0038

Seri Bağlı Hücre Sayısı:9

Paralel Bağlı Hücre Sayısı:4

Güneş Pili Yapısı: Mono Kristal Silisyum

Ek 2.SD-200B-12 DA-DA Konverter (Meanwell)



Boyutlar:215×11×550 mm

Özellikler

- Sınırlayıcı DC girişi aktif akımı
- Geniş 04:01 ~ 02:01 DC giriş aralığı 24V: 19 ~ 72VDC
- Sıcaklığı, giriş polaritesi fazla aşırı voltaj aşırı yük kısa devre,, (sigorta ile) koruyucuları
- 2000VAC I / O İzolasyon
- Dahili DC fan tarafından Cebri hava soğutmalı
- Çıktı OK Sinyali
- Uzaktan ON-OFF kontrol Dahili
- Dahili uzaktan anlamda işlevi

19 Kompakt 500W tek çıkış DC-DC Çevirici ~ 72VDC giriş ve 12V, 24V ve 48V çıkış düzeyi seçenekleri. Sıcaklık ve giriş polaritesi fazla aşırı voltaj aşırı yük kısa devre,, built-in bu seriden ayrıca çıkış OK sinyali gibi fonksiyonları içeren korumaları, uzaktan ON / kontrol ve uzaktan duyu fonksiyonu KAPALI.

Giriş Voltajı 19 ~ 72VDC

Giriş Akımı 12A/48VDC

Yüksüz 0.2A/48VDC Anda Girdi

Yığılma Akımı 60A/48VDC

Tam yükte Zaman 500ms, 50ms Rise, Set Up

Yük Koruması 105 ~ 125% nominal çıkış gücü fazla

Sabit akım yaklaşık 5 saniye sonra, kapatma o / p gerilim sınırlayıcı., Yeniden güç kurtarmak için

Kurtarmak için Aşırı Gerilim Koruması kapatın o / p gerilim, yeniden güç

Aşırı Sıcaklık Koruması 85A ° C $\pm$ 10A ° C (TSW2) O / P diyot soğutucu üzerinde tespit;

80 ° C $\pm$ 5A ° C (TSW1) güç transistör soğutucu üzerinde tespit

Soğuyuncaya sonra o / p gerilimi kapatın, otomatik kurtarır

Lütfen Açık / Kapalı Kontrol Uzaktan pdf bakın

10mA: Çıkış PSU yanar OK Sinyal Açık kollektör sinyali düşük, Max akım batar

Çalışma Sıcaklığı-20A ° C ~ +60 ° C (çıkış yük eğrisine bakın)

Nem 20 Çalışma ~% 90 RH yoğunlaşmamış

Depolama Sıcaklığı, Nem-40A ° C ~ +85 ° C, 10 ~ 95% RH

Sıcaklık Katsayısı A $\pm$ 0.02% / ° C (0 ~ 50A ° C)

Titreşim 10 ~ 500Hz, 2G 10 dk. / 1 devir, 60dk. X, Y, Z eksen boyunca her bir

Dayanım Gerilimi I / PO / P: 2KVAC I / P-FG: 1.5KVAC O / P-FG: 0.5KVAC

İzolasyon Direnci I / PO / P, I / P-FG, O / P-FG: 100M Ohms/500VDC 25A ° C 70% RH

Güvenlik Standartları IEC60950-1 CB TUV tarafından onaylı

EN55022 (CISPR22) Sınıf B EMC Uyum;

EN61000-4-2, 3,4,6,8; ENV50204, hafif sanayi düzeyinde, kriter A

MTBF 196.3K saat min. MIL-HDBK-217 (25A ° C)

Part Number	Voltage (max/rated)	Current (amps)	Power (watts)	R&N (mV)	Efficiency (%)
SD-500L-12	12V	40A	480W	150mV	85%

Ek 3. Xantrex PROwatt-SW 700i



Özellikler

Güç:700 W

Demeraj Gücü:1400 W

Giriş Gerilimi:12 V DA

Çıkış Gerilimi:230 V AA±%10

Verim:%90

Frekans:50/60 Hz

Yüksüz akım çekimi:<1000 mA

Çıkış Dalga Şekli: Tam Sinüs

Boyutlar: 310×185×90 mm

Ağırlık:2.7 kg

Sertifikalar: CE onaylı

- Düşük gerilim kapanması(10.5 V DC)
- Düşük Gerilim Alarmı (11.0 V DC)
- Yüksek Gerilim Koruması (15.5 V DC)
- Aşırı Yük Kapanması
- Aşırı Sıcaklık Kapanması

Ek 4. FirstPower Kurşun-Ait Akü

FirstPower Technology Co., Ltd.

LFP12100D(12V100Ah)

Specifications

Nominal Voltage	12 V	
Capacity (25°C)	10HR(10.8V)	100 Ah
	5HR(10.5V)	87Ah
	1HR(9.60V)	62.5Ah
Dimension	Length	330 ± 2mm (12.99inch)
	Width	171 ± 2mm (6.73inch)
	Height	214 ± 2mm (8.43inch)
	Total Height	T5: 224 ± 2mm (8.82inch) T9: 220 ± 2mm (8.66inch)
Approx. Weight	30kg (66.2lbs) ± 4%	
Terminal type	T5/T9	
Internal resistance (Fully charged, 25°C)	Approx. 4.5m Ω	
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature	25°C ± 3°C (77°F ± 5°F)	
Operating temperature range	Discharge	-15°C ~ 50°C (5°F ~ 122°F)
	Charge	-10°C ~ 50°C (14°F ~ 122°F)
	Storage	-20°C ~ 50°C (-4°F ~ 122°F)
Float charging voltage(25°C)	13.50 to 13.80V Temperature compensation: -18mV/°C	
Cyclic charging voltage(25°C)	14.50 to 14.90V Temperature compensation: -30mV/°C	
Maximum charging current	30A	
Terminal material	Copper	
Maximum discharge current	800A(5 sec.)	
Designed floating life(20°C)	7~10 years	

- ◆ Absorbent glass mat technology;
- ◆ Recognized by UL & CE;
- ◆ ABS container.

Constant Current Discharge Characteristics (A, 25°C)

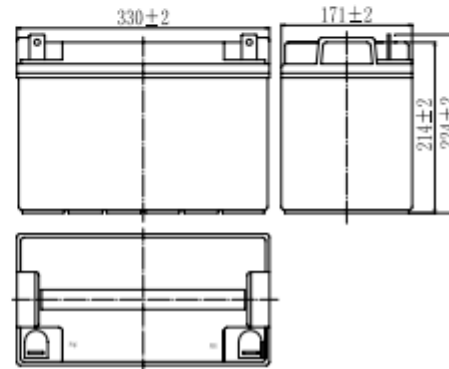
F.V/TIME	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
9.60V	214	167	101	62.6	36.5	25.5	20.9	17.9	12.2	10.2	5.34
9.90V	208	163	99.0	61.7	36.3	25.4	20.8	17.7	12.2	10.2	5.33
10.2V	199	157	96.0	60.1	36.0	25.2	20.6	17.6	12.1	10.1	5.32
10.5V	191	151	93.6	58.9	35.5	25.0	20.5	17.5	12.0	10.1	5.29
10.8V	180	143	90.2	57.1	34.6	24.3	19.9	17.0	11.6	10.0	5.25

Constant Power Discharge Characteristics (Watt, 25°C)

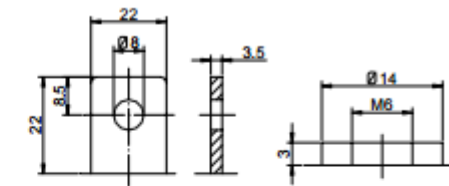
F.V/TIME	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
9.60V	2313	1830	1133	714	423	300	246	211	145	122	64.1
9.90V	2244	1786	1111	703	421	298	244	210	145	121	64.0
10.2V	2151	1720	1077	685	417	296	243	208	144	121	63.8
10.5V	2059	1661	1050	672	411	294	241	207	143	120	63.4
10.8V	1943	1574	1012	651	400	285	234	201	138	119	63.0

Note: The above characteristics data can be obtained within three charge/discharge cycles.

Dimensions



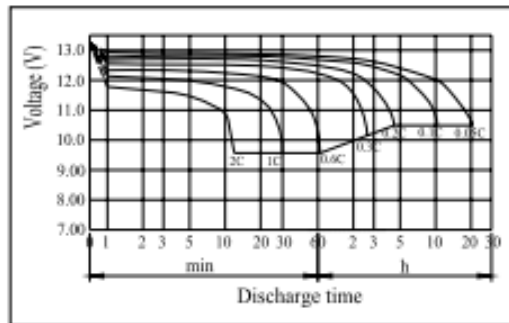
Terminal



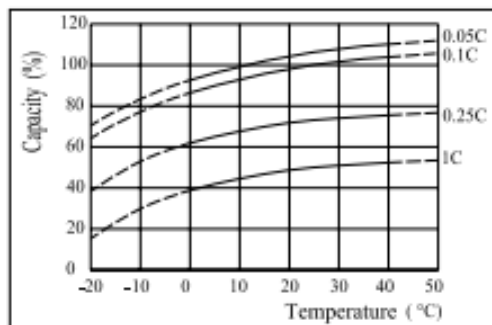
Terminal T5

Terminal T9

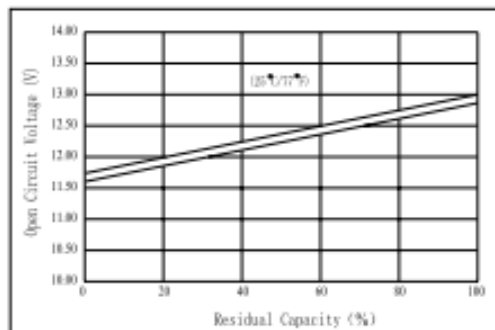
FirstPower Technology Co., Ltd.
Discharge Characteristics(25℃)



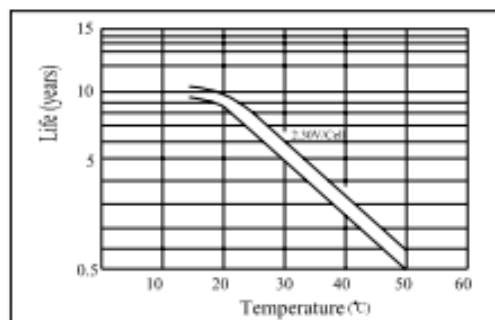
Effect of Temperature on Capacity



The Relationship for Open Circuit Voltage and Residual Capacity (25℃)

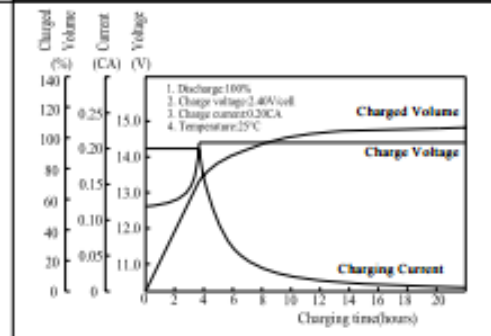


Floating Life on Temperature

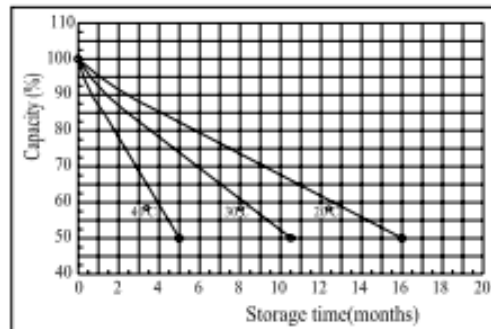


Charging Characteristics(25℃)

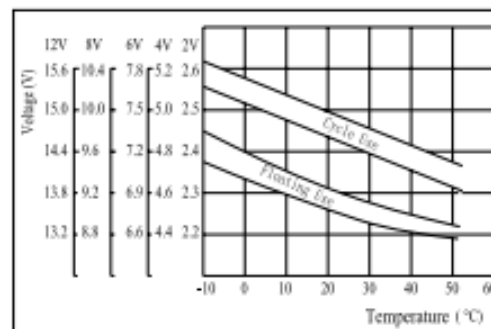
LFP12100D(12V100Ah)



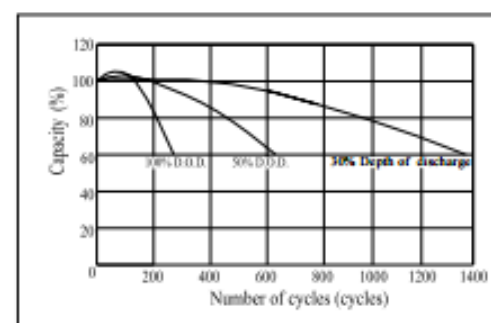
Self-discharge Characteristics



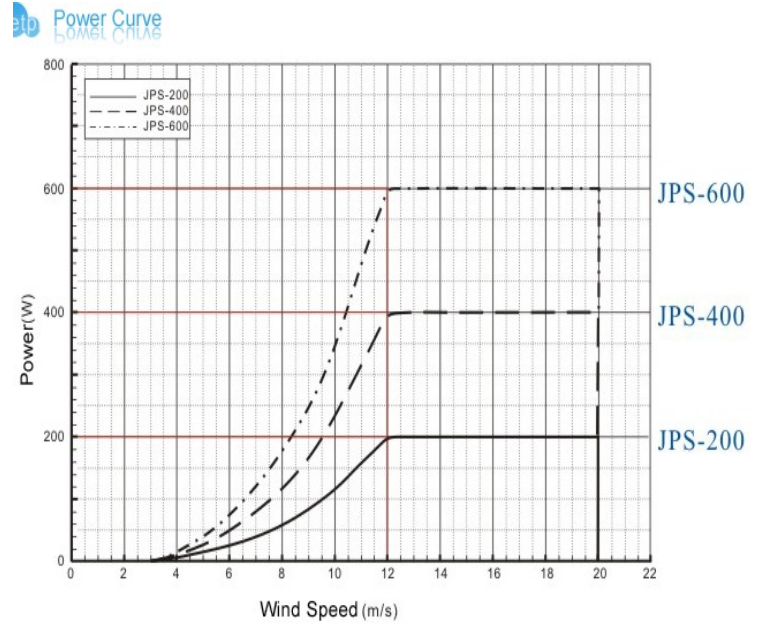
The Relationship for Charging Voltage and Temperature



Cycle Life on D.O.D(25℃)



Ek 5. JPS-200 Rüzgar Türbini



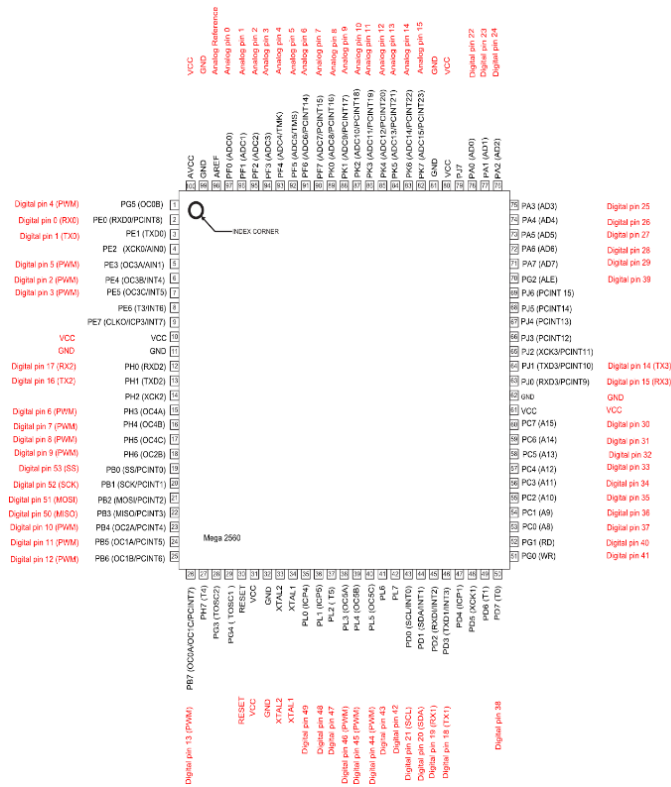
Shrouded Design	YES
Generators	Permanent Magnet Generator
Rated Power (W)	200
Voltage Output (Vdc)	12V/24V/48V
Rotor Diameter (m)	0.68
Number of Blades/set	5
Start-up Wind Speed (m/s)	3
Rated Wind Speed (m/s)	12
Cut-out Wind Speed (m/s)	20
Total Dimension (mm)	1026 X 912 X 330
Weight(kg)	10
Cascaded	N/A
YAW	Shroud Wind Force Automatic Adjustment
Brake	Electrical

Ek 6. Arduino Mega 2560

Özellikleri:

Mikrodenetleyici:	ATmega2560
Çalışma Gerilimi:	5V
Besleme Voltajı (Önerilen):	7-12V
Besleme Voltajı (Limit):	6-20V
Dijital I/O Pinleri:	54 (14ü PWM çıkışı)
Analog Giriş Pinleri:	16
I/O Pinlerinin Akımı:	40 mA
3.3V Pini Akımı:	50 mA
Flash Bellek:	256 KB (8kB'ını bootloader kullanıyor)
SRAM:	8 KB
EEPROM:	4 KB
Clock Frekansı:	16 MHz

Pin Haritası:



Ek 7. Arduino Programı

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8);

const int GL_pin=2; //Gunes calisma durum led pini
const int RL_pin=3; //Ruzgar calisma durum led pini
const int inverterL_pin=33; //Inverter calisma durum led pini
const int sebekeL_pin=35; //Sebeke calisma durum led pini
const int Role1_pin=4; //Ruzgar(1)-Gunes(0) secim rolesi
const int Role2_pin=31; //Sebeke(1)-Inverter(0) secim rolesi
const int PV_pin=A0; //Olculen pv gerilim degerinin uygulandigi pin
const int Wind_pin=A1; //Olculen wind gerilim degerinin uygulandigi pin
const int inv_pin=37; //Olculen inverter gerilim degerinin uygulandigi pin
const int conv_pin=39; //Konvertor calisma durum pini

float pvgerilim=0;
float akugerilim=0;
float pvgerilimdigital=0;
float akugerilimdigital=0;
bool inv_pin_durumu=1;
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 200;
int sayac=0;
int izin=1;
int gecis=0;
int conv_durum=1;
unsigned long ilk_sayac_zaman = 0;
unsigned long son_sayac_zaman = 0;
unsigned long izin_ilk_zaman = 0;
unsigned long izin_son_zaman = 0;

void olcum(){
```

```

pvgerilimdigital=analogRead(PV_pin);
pvgerilim=(pvgerilimdigital/1023)*5*20;    //Gerilimin gercek degeri icin 20 ile
carpildi
akugerilimdigital=analogRead(Wind_pin);
akugerilim=(akugerilimdigital/1023)*5*5; //Gerilimin gercek degeri icin 5 ile
carpildi
}

```

```

void pv_on(){
digitalWrite(Role1_pin, LOW);
digitalWrite(GL_pin, HIGH);
digitalWrite(RL_pin, LOW);
}

```

```

void grid_on(){
digitalWrite(Role2_pin, HIGH);
digitalWrite(inverterL_pin, LOW);
digitalWrite(sebekeL_pin, HIGH);
}

```

```

void wind_on(){
digitalWrite(Role1_pin, HIGH);
digitalWrite(GL_pin, LOW);
digitalWrite(RL_pin, HIGH);
}

```

```

void inverter_on(){
digitalWrite(Role2_pin, LOW);
digitalWrite(inverterL_pin, HIGH);
digitalWrite(sebekeL_pin, LOW);
}

```

```

void ekran(){
lcd.clear();
}

```

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Vp=");
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print(pvgerilim,1);
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print("Va=");
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print(akugerilim,1);
if(digitalRead(Role1_pin)==0 && digitalRead(Role2_pin)==0){
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("pv-inv"); }
else if(digitalRead(Role1_pin)==0 && digitalRead(Role2_pin)==1){
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("grid");}
else if(digitalRead(Role1_pin)==1 && digitalRead(Role2_pin)==0){
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("wind-inv"); }
else {
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("grid"); }
  lcd.setCursor(13,1);
  lcd.print(sayac);
}

void setup() {
lcd.begin(16,2);

//Pin giris cikis belirleme
pinMode(Role1_pin,OUTPUT);
pinMode(Role2_pin,OUTPUT);
pinMode(GL_pin,OUTPUT);
pinMode(RL_pin,OUTPUT);
pinMode(inverterL_pin, OUTPUT);

```

```

pinMode(sebekeL_pin, OUTPUT);
pinMode(inv_pin, INPUT);

//Cikislarin ilk degerleri
digitalWrite(Role1_pin, 0);
digitalWrite(Role2_pin, 0);
digitalWrite(GL_pin, 1);
digitalWrite(RL_pin, 0);
digitalWrite(inverterL_pin, 1);
digitalWrite(sebekeL_pin, 0);
}
void loop() {
  olc:
  olcum();
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousMillis >= interval)
  {
    ekran();
    previousMillis = currentMillis;
  }
  if(izin==0)
  {
    izin_son_zaman=millis();
    if(izin_son_zaman-izin_ilk_zaman>=15000)
    {
      izin=1;
      sayac=0;
    }
  }
  conv_durum=digitalRead(conv_pin);
  if (pvgerilim>19 && izin==1 && conv_durum==0)
  {
    pv_on();
  }
}

```

```

gecis=0;
inv_pin_durumu=digitalRead(inv_pin);
if(inv_pin_durumu==HIGH)
{
    inverter_on();
    goto olc;
}
else //inverter gerilimi sifira esitse inverter arizasi oldugundan yuk sebeke
tarafından beslenecektir.
{
    grid_on();
    goto olc;
}
}

```

else //pv gerilimi 19Vdan kucukse yuk ruzgar tarafından beslenecektir.

```

{

if(sayac==0)
{
    ilk_sayac_zaman=millis();
}
if(izin==1 && gecis==0)
{
    sayac++;
}
gecis=1;
son_sayac_zaman=millis();
if(son_sayac_zaman-ilk_sayac_zaman<=500)
{
    if(sayac==3)
    {
        izin=0;
    }
}
}

```

```

        izin_ilk_zaman=millis();
        sayac=0;
    }
}
else
{
    sayac=0;
}

wind_on();
inv_pin_durumu=digitalRead(inv_pin);
if (akugerilim>11.2)
{
    if(inv_pin_durumu==HIGH)
    {
        inverter_on();
        goto olc;
    }
    else //inverter gerilimi sifira esitse inverter arizasi oldugundan yuk sebeke
    tarafından beslenecektir.
    {
        grid_on();
        goto olc;
    }
}
else
{
    grid_on();
}
}}

```

ÖZGEÇMİŞ

Melike ESEN, 1989 yılında Sivas'da doğdu. Lise öğrenimini Elazığ Kaya Karakaya Fen Lisesi'nde tamamladı. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği'ni kazandı ve 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Ayrıca bu tarihten itibaren, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.