

**ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT
RÜZGÂR-GÜNEŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNİN
BULANIK MANTIK İLE ENERJİ AKIŞI
KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ünal KAYA

DANIŞMAN

Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT RÜZGÂR-GÜNEŞ ENERJİ
ÜRETİM SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK İLE ENERJİ AKIŞI
KONTROLÜ

Ünal KAYA

Danışman

Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Ünal KAYA tarafından hazırlanan "Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgar-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Bulanık Mantık ile Enerji Akışı Kontrolü" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 03/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği / ~~oy çokluğu~~** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği **Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

İmza

Başkan : Prof. Dr. Nevzat ONAT

Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

A.K.Ü. Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail KOYUNCU

A.K.Ü. Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/04/2019

Ünal KAYA



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ HİBRİT RÜZGÂR-GÜNEŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK İLE ENERJİ AKIŞI KONTROLÜ

Ünal KAYA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yüksel OĞUZ

Bu tez çalışmasında, farklı yükler karşısında hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile enerji akış kontrolü yapılmaktadır. Tasarlanan enerji üretim sistemi Kastamonu Üniversitesi Cide Rifat Ilgaz Meslek Yüksekokulu bahçesine kurulmuştur. Sistemde 300 W'lık rüzgâr türbini ve 3 adet 80 W'lık güneş panelleri kullanılmıştır. Buna ek olarak 12 V 130 Ah'lik bir jel akü kullanılmıştır. Sistemdeki akü, tüketicinin ihtiyacı olmayan gücü depolamak ve güç üretim sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda devreye girerek sistemin sürekliliğini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Sistemde rüzgâr türbini ve fotovoltaik panellerin ürettikleri gücün denetimi ve etkililiğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Tasarlanan kontrol sisteminin verimliliğini mukayese etmek amacıyla sistem hem klasik hibrit güç üretim sistemi olarak hem de Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör olarak tasarlanmıştır. Dokuz aylık bir süreçte sistemin ürettiği enerji miktarları kaydedilmiş, her iki sistemin avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

Bulanık mantık kontrolörün kural tabloları sayesinde sistemin üretim parametreleri rahatlıkla değişebilmektedir. Matlab Simulink programı ile tasarlanan modellemede sisteme gelen enerji displayler aracılığıyla sürekli izlenmiş ve kayıt edilmiştir. Sistemin enerji girdilerini bilgisayara iletmek ve bulanık mantığın çıkışını yapmak amacıyla Arduino Mega ve akım-gerilim sensörleri kullanılmıştır. Bulanık mantığın gelen akım

gerilim değerlerine göre karar vermesi sonucunda Arduino'nun pinleri aktif edilmiş ve röle kartı ile sistemin kontrolü sağlanmıştır. Tasarlanan sistem sayesinde tüketicinin talep ettiği gücün öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması, üretilen enerjinin yükü karşılamadığı durumlarda ise ak veya şebekenin devreye girmesi sağlanmaktadır.

Tasarlanan Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolörün klasik sistemlere göre, üretilen enerjiyi aküyü şarj etmeden yükü beslediği görülmüş ve akülerin ekonomik ömürlerini koruduğu sonucuna varılmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi ile kullanılan akünün 9 aylık süreçte 140 defa dolup boşalması engellenmiş ve ak ömrüne %4'lk bir katkı sağlanmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi ile enerji üretim sistemi enerji üretemediği durumlarda şebeke devreye girebilmekte ancak klasik sistemde bu mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla Arduino tabanlı bulanık mantık kontrol sisteminin performansının klasik sisteme göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Sistemde bulanık mantığın kural tablolarının gerçek zamanlı olarak kullanılması ayrıca önemlidir. Yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantığın aktif ve fonksiyonelliği enerji üretim sistemlerini de aktif ve fonksiyonel hale getirmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde enerjinin önemine değinilmiş, tezin amacı ve kapsamı hakkında kısaca bilgi verildikten sonra hibrit güç sistemleri ile daha önceden yapılmış olan çalışmalara ait zet bilgiler verilmiştir. İkinci blmde; dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının durumuna değinilerek, güneş ve rüzgâr enerjisi hakkında genel bilgiler verilmiştir. nc blmde; hibrit güç üretim sistemi bileşenlerinin özellikleri ve fonksiyonları anlatılmıştır. Sistem ile ilgili çizimler ve şekiller paylaşılmıştır. Dördüncü blmde bulgular ve bunlara etki eden parametreler verilmiştir. Beşinci blmde ise elde edilen sonuçlar değerlendirmiştir.

2019, xii + 92 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hibrit güç üretim sistemleri, Bulanık mantık kontrol, rüzgâr enerjisi

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

OFF GRID HYBRID WIND-SOLAR ENERGY PRODUCTION SYSTEM'S ENERGY
FLOW CONTROL VIA FUZZY LOGIC

Ünal KAYA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric-Electronic Engineering

Supervisor: Prof. Yüksel OĞUZ

In this dissertation study, Arduino-based fuzzy logic based control is carried out on an off grid hybrid power generation system against various loads. The system was installed in the garden of Kastamonu University, Cide Rifat Ilgaz Vocational School of High Education. 300 W wind turbine and 3 x 80 W of solar panels were used in the system. Additionally, A 12 V 130 Ah battery was used, engaging in order to ensure the continuity of the system and storing the power not needed by the user, where the power generation system is not capable. 12 V 25 W lamps were used in the system as the loads. The aim is to control the power generated by wind turbines and photovoltaic panels, as well as examining their efficiency.

For comparing the efficiency of the control system designed, the system is operated both as a hybrid power generation system, and as an Arduino-based fuzzy logic controller. Within a nine-month-period, the power, generated by the system, is recorded, thus setting forth the advantages and disadvantages of both systems.

Thanks to the rule tables used in the fuzzy logic controller, the generation parameters of the system can be changed effortlessly. The energy, received by the system was continuously monitored and recorded via Displays within the model as drawn up with Matlab Simulink. For ensuring the transmission of system inputs to the computer and the output of fuzzy logic, Arduino Mega and current-voltage sensors were used. After the fuzzy logic makes a decision as per the received current voltage parameters,

Arduino pins were activated, thus ensuring the control of the system with the relay board. With this system, it is ensured that the renewable energy resources are prioritized for meeting the power needs of users, and where the system is not capable of doing so, the battery and the network are engaged.

It was observed that the Arduino-based fuzzy logic controller was feeding the generated power without charging the battery, thus inferring that the economical life-cycle of the batteries are preserved. The battery, which was used for the fuzzy logic control system, was avoided to be filled and drawn for 140 times within a period of 9 months, which enhanced the life cycle of the battery for 4%. Where the power generation system cannot generate power with fuzzy logic control system, the network has the capacity to be engaged, but this cannot be performed for the classical system. Therefore, the continuity of the classical system was found to be less efficient than the system which is controlled with Arduino-based fuzzy logic control system.

It is particularly of importance to use the fuzzy logic rule tables in real time within the system. As a method of artificial intelligence, activity and functionality of the fuzzy logic make energy generation systems more active and functional.

In the first chapter of the study, the importance of energy is mentioned; following a brief information on the objective and scope of the dissertation, previous studies on hybrid power systems are summarized. In the second chapter, general information on solar and wind energy can be found, in which the renewable energy resource status is analyzed both for Turkey and globally. The third chapter concentrates upon the specifications and functions of hybrid power generation system components. Here, you will find the drawings and figures concerning the system. In the fourth chapter, you will see the findings and the parameters effecting these findings. The fifth and final chapter comprises the obtained results, which are examined in the same.

2019, xii + 92 pages

Keywords: Hybrid power generation systems, Fuzzy logic control, Wind energy

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların analizi ve malzemelerin seçimi aşamalarında büyük katkıları bulunan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Yüksel OĞUZ' a, tez çalışması kapsamında kurulan hibrit güç üretim sisteminin Cide Rıfat Ilgaz Meslek Yüksekokulu kampüs alanına uygulanmasına destek olan Meslek Yüksekokulu yönetimine ve başta Öğr. Gör. Hacı Güzel GÜLEÇ olmak üzere bütün mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşim Zehra KAYA, kızım Sümeyye KAYA ve babam Mustafa KAYA' ya teşekkür ederim.

Ünal KAYA
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | iii |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xi |
| RESİMLER DİZİNİ..... | xii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ | 4 |
| 2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları | 4 |
| 2.1.1 Fosil Enerji Kaynakları | 5 |
| 2.1.1.1 Kömür..... | 6 |
| 2.1.1.2 Nükleer Enerji | 7 |
| 2.1.1.3 Petrol Yakıtları | 8 |
| 2.1.1.4 Doğalgaz..... | 8 |
| 2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları | 9 |
| 2.1.2.1 Rüzgâr Enerjisi | 11 |
| 2.1.2.2 Güneş Enerjisi | 16 |
| 2.1.2.3 Dalga Enerjisi | 21 |
| 2.1.2.4 Biyokütle Enerjisi..... | 22 |
| 2.1.2.5 Hidrolik Enerji..... | 23 |
| 2.1.2.6 Jeotermal Enerji..... | 25 |
| 2.1.2.7 Hidrojen Enerjisi | 27 |
| 2.2 Türkiye’de enerjinin durumu..... | 28 |
| 3. MATERYAL ve METOT | 31 |

| | |
|---|----|
| 3.1 Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Klasik Tasarımı ve Arduino Tabanlı Bulanık Mantık Kontrolör İle Tasarımı | 31 |
| 3.1.1 Şebekeden Bağımsız Klasik Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sistemi | 34 |
| 3.1.2 Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Bulanık Mantık ile Enerji Akışı Kontrolü..... | 35 |
| 3.2 Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Bileşenleri ve Özellikleri..... | 38 |
| 3.2.1 Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Donanımsal Bileşenleri ve Özellikleri..... | 38 |
| 3.2.1.1 Rüzgâr türbini..... | 38 |
| 3.2.1.2 Fotovoltaik panel | 41 |
| 3.2.1.3 Arduino..... | 43 |
| 3.2.1.4 DC-DC Dönüştürücü (Konvertör)..... | 47 |
| 3.2.1.5 Akü | 48 |
| 3.2.1 Hibrit güç üretim sisteminin yazılımsal bileşenleri ve özellikleri | 49 |
| 3.2.1.1 Bulanık Denetim..... | 49 |
| 3.3 Yük Değerinin Sisteme Kullanıcı Tarafından Girildiği Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Üretim Sistemi | 60 |
| 3.3.1 Yük Değerinin Sisteme Kullanıcı Tarafından Girildiği Hibrit Güç Üretim Sisteminde Kullanılan Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları | 63 |
| 3.3.2 Yük Değerinin Sisteme Kullanıcı Tarafından Girildiği Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Üretim Sisteminde Kullanılan Bulanık Mantık Kural Tabloları..... | 67 |
| 4. BULGULAR | 70 |
| 4.1 Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Üretim Sisteminin Her İki Yöntemle Enerji Üretim Değerleri..... | 70 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ | 79 |
| 6. KAYNAKÇA | 83 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 90 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| | |
|-----------|--|
| I_{ph} | PV hücrenin fotovoltmik akımı |
| I_{sc} | 25 °C ve 1000 W/m ² deki kısa devre akımı |
| K_i | Kısa devre akımının sıcaklık katsayısı (0,0017 A/°C) |
| T_c | PV hücre sıcaklığı (Kelvin cinsinden sıcaklık) |
| T_r | Referans sıcaklık (25 °C için 298,15 °K) |
| G | W/m ² deki güneş ışınım miktarı |
| G_r | Referans güneş ışınım miktarı (1000 W/m ²) |
| q | Elektrik yükü ($1,602 \cdot 10^{-19} C$) |
| k | Boltzman Sabiti ($1,3806505 \cdot 10^{-23} J/K$) |
| A_d | Diyotun Kalite Faktörü |
| λ | Kanat uç hız oranı |
| mV | Milivolt |
| V | Volt |
| A | Amper |

Kısaltmalar

| | |
|-------|---|
| ABD | Amerika Birleşik Devletleri |
| AK | Avrupa Konseyi |
| DERT | Düşey eksenli rüzgar türbini |
| HES | Hidroelektrik Santral |
| EPDK | Enerji Piyasaları Denetleme Kurulu |
| MEB | Milli Eğitim Bakanlığı |
| MÖ | Milattan önce |
| MS | Milattan sonra |
| MW | Mega Watt |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| REPA | Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Araştırma |
| TEİAŞ | Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi |
| YERT | Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini |
| WECS | Wind Energy Conversion System |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1 Yatay eksenli rüzgâr türbinleri görünümü..... | 13 |
| Şekil 2.2 Düşey eksenli rüzgâr türbinleri görünümü (İnt.Kyn.10)..... | 14 |
| Şekil 2.3 Düşey eksenli rüzgâr türbini çeşitleri..... | 14 |
| Şekil 2.4 Monokristal güneş pili görünümü (İnt.Kyn.13)..... | 17 |
| Şekil 2.5 Polikristal güneş pili görünümü (İnt.Kyn.12)..... | 18 |
| Şekil 2.6 PV panelin eşdeğer devresi..... | 20 |
| Şekil 2.7 2017 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı...29 | |
| Şekil 2.8 2017 yılı yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin dağılımı....30 | |
| Şekil 3.1 Sistemi kontrol eden algoritma..... | 33 |
| Şekil 3.2 Klasik hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin kurulumunu gösteren Şema..... | 34 |
| Şekil 3.3 Arduino tabanlı şebekeden bağımsız hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin enerji akış diyagramı | 36 |
| Şekil 3.4 Şebekeden bağımsız hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile çalışma diyagramı | 37 |
| Şekil 3.5 Rüzgâr Türbine ait bazı ölçüler..... | 40 |
| Şekil 3.6 Neswind N-300 rüzgâr türbini hız-güç eğrisi..... | 40 |
| Şekil 3.7 ACS712 akım sensörü ve Arduino bağlantı şekli (İnt.Kyn.25)..... | 47 |
| Şekil 3.8 ACS712 akım sensörü devresi (İnt.Kyn.26)..... | 47 |
| Şekil 3.9 Enerji akış kontrolü için bulanık mantık (fuzzy logic) kontrolör tasarımı..... | 51 |
| Şekil 3.10 Analog dijital çevirici bloğunun iç tasarımı..... | 52 |
| Şekil 3.11 Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bulanık mantık yapısı..... | 53 |
| Şekil 3.12 Güneş girişinin üyelik fonksiyonları..... | 54 |
| Şekil 3.13 Rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu..... | 54 |
| Şekil 3.14 Akü seviyesini gösteren giriş fonksiyonu..... | 55 |
| Şekil 3.15 Yükün talebini gösteren giriş fonksiyonu..... | 55 |
| Şekil 3.16 Sistemin çıkışına ait üyelik fonksiyonu..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.17 Hibrit güç üretim sistemini kontrol eden kural tablosunun Matlab arayüzü görünümü | 57 |
| Şekil 3.18 Yük talebinin rüzgâr enerjisi ile karşılandığı örnek bir çıkış..... | 59 |
| Şekil 3.19 Yük talebinin güneş enerjisi ile karşılandığı örnek bir çıkış..... | 60 |
| Şekil 3.20 Enerji akış kontrolü için bulanık mantık (fuzzy logic) kontrolör tasarımı.... | 61 |
| Şekil 3.21 Analog dijital çevirici bloğunun iç tasarımı..... | 62 |
| Şekil 3.22 Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bulanık mantık yapısı..... | 63 |
| Şekil 3.23 Güneş girişinin üyelik fonksiyonları..... | 64 |
| Şekil 3.24 Rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu..... | 64 |
| Şekil 3.25 Akü seviyesini gösteren giriş fonksiyonu..... | 65 |
| Şekil 3.26 Güneş ve Rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu..... | 65 |
| Şekil 3.27 Yükün talebini gösteren giriş fonksiyonu..... | 66 |
| Şekil 3.28 Sistemin çıkışına ait üyelik fonksiyonu..... | 66 |
| Şekil 3.29 Hibrit güç üretim sistemini kontrol eden kural tablosu (Matlab görüntüsü).. | 67 |
| Şekil 4.1 Aylık bazda güneş panelleri ile üretilen enerji değerleri (Wh)..... | 72 |
| Şekil 4.2 Aylık bazda rüzgar türbini ile üretilen enerji değerleri (Wh) | 72 |
| Şekil 4.3 Aylık bazda hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin ürettiği toplam enerji..... | 73 |
| Şekil 4.4 Aylık bazda güneş panellerinden ve rüzgar türbininden üretilen, akü seviyesinin fazla olmasından oluşan kayıp olan, aküye depolanan ve yük tarafından tüketilen enerji durumu (Wh) | 74 |
| Şekil 4.5 Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile tasarlanan hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin güneş ve rüzgardan elde edilen, tüketilen, aküye depolanan ve şebeke tarafından kullanılan enerji durumu (Wh) | 75 |
| Şekil 4.6 Ay bazında aküye depolanan enerji durumu (Wh) | 77 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Çizelge 2.1 Yenilenebilir enerji kaynakları (Yılmaz2012)..... | 10 |
| Çizelge 2.2 Yıllık üretim bazında üzerinde bulunan barajlarla en çok enerji üretilebilen akarsular..... | 24 |
| Çizelge 2.3 Türkiye’de sırasıyla yıllık enerji üretimi açısından en iyi olan hidroelektrik santraller..... | 25 |
| Çizelge 2.4 Türkiye’de sırasıyla yıllık enerji üretimi açısından en iyi olan jeotermal enerji santraller..... | 27 |
| Çizelge 2.5 Türkiye’de enerji üretiminin kaynak türüne göre dağılımı..... | 29 |
| Çizelge 2.6 Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarıyla 2017 yılı itibari ile üretilen enerji | 30 |
| Çizelge 3.1 Hibrit güç üretim sistemini kontrol eden kural tablosu | 58 |
| Çizelge 3.2 Hibrit güç üretim sistemini kontrol eden kural tablosu | 68 |
| Çizelge 4.1 Hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin aylık bazda enerji üretim değerleri | 71 |
| Çizelge 4.2 Şebekeden bağımsız hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin ürettiği aylık bazda toplam enerji | 73 |
| Çizelge 4.3 Klasik sistem ile aylık bazda güneş panellerinden ve rüzgar türbininden üretilen, akü seviyesinin fazla olmasından oluşan kayıp olan, aküye depolanan ve yük tarafından tüketilen enerji durumu (Wh) | 74 |
| Çizelge 4.4 Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile tasarlanan hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin güneş ve rüzgardan elde edilen, tüketilen, aküye depolanan ve şebeke tarafından kullanılan enerji durumu | 75 |
| Çizelge 4.5 Ay bazında aküye depolanan enerji durumu (Wh)..... | 76 |

RESİMLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Resim 2.1 Kurulu nükleer enerji santralının görünümü | 7 |
| Resim 2.2 Eğik eksenli rüzgâr türbini görünümü..... | 15 |
| Resim 2.3 İnce film güneş pili görünümü..... | 18 |
| Resim 2.4 Dalga enerji teknolojilerinin kullanıldığı bir enerji üretim sistemi görünümü | 21 |
| Resim 2.5 Fırat nehri üzerinde bulunan ve Türkiye'nin en büyük enerji üretim kapasitesine sahip olan Atatürk barajının görünümü | 24 |
| Resim 3.1 Şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminde kullanılan güneş panelleri ve rüzgar türbininin görünümü..... | 32 |
| Resim 3.2 Sistemde kullanılan rüzgâr türbininin görünümü..... | 39 |
| Resim 3.3 80 watt Econess EN80P fotovoltaik panel..... | 42 |
| Resim 3.4 Arduino Mega 2560 kartının ön-arka görünümü..... | 44 |
| Resim 3.5 Arduino Mega 2560 kartının giriş çıkış pinleri..... | 45 |
| Resim 3.6 Şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminin akım gerilim algılama, Matlab haberleşme ve röle grubu modülü..... | 46 |
| Resim 3.7 DC-DC konvertör..... | 48 |
| Resim 3.8 Hibrit Güç üretim sisteminde kullanılan akü..... | 49 |

1. GİRİŞ

Enerji ülkelerin ekonomik ve sosyal açıdan gelişmişlik düzeylerini belirleyen önemli bir unsurdur. Gelişen teknolojiye bağlı olarak dünyanın elektrik enerjisine olan ihtiyacı giderek artmaktadır. Bundan dolayı günümüzde enerjiyi az maliyetle, kaliteli bir şekilde üretebilmek önemli hale gelmiştir (Yağcı 2013). Günümüzde ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü fosil yakıtlar olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarından karşılamaktadır.

Küresel ısınmaya sebep olan fosil yakıtlar çevreye çok fazla zarar vermektedir. Bu zararların bazıları hava kirliliği, asit yağmurları, ozon delinmesi ve orman tahribatlarıdır (Wai *et al.* 2008). Günümüzde karşılaştığımız sorunlara çözümler getirebilmek için uzun dönemli sürdürülebilir gelişmeler sağlamak gerekir. Sürdürülebilir bir enerji sistemi, yerli kaynakları etkin olarak kullanan, maliyet olarak makul koşullarda, güvenilir ve doğaya zarar vermeyen bir enerji sistemi olarak tanımlanabilir (Hepbaslı 2008). Sürdürülebilir enerji üretebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilerek üretim hacminin artırılması gerekmektedir (Shaahid *et al.* 2007, Kornelakis 2010).

Son yıllarda gerçekleşen elektrik enerjisi tüketimine bakıldığında büyük oranda artış göstermektedir. Nüfusun artması, sanayileşme ve ekonomik gelişmeler tüketim artışının sebebi olarak görülmektedir. Türkiye 2017 yılında elektrik enerjisi tüketimini bir önceki yıla göre %5,6 arttırarak 294,9 milyar kWh'a çıkarmıştır. Elektrik enerjisi talebinin tahmin çalışmalarını yapan dağıtım şirketlerinin Türkiye 2017-2026 yılları arasında Brüt Elektrik Tüketim Tahminlerine göre 2026 yılında düşük senaryo için ortalama %2,6 arttırarak elektrik talebinin 340 milyar kWh'i aşması; baz senaryo için ortalama %3,2 arttırarak elektrik talebinin 370 milyar kWh'i aşması; yüksek senaryo için ortalama %3,8 arttırarak elektrik talebinin yaklaşık 400 milyar kWh'i aşması beklenmektedir (TEİAŞ 2017). Tüketim değerlerindeki artış ile birlikte üretim sistemleri de her geçen gün artmakta ve verimini arttırmaktadır. Buna göre elektrik üretimi bir önceki yıla göre %7,7 oranında artarak 295,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir (İnt.Kyn.1).

Hibrit güç üretim sistemleri ve bulanık mantık kontrolü ile ilgili akademik çalışmalar ve bulguları aşağıda verilmiştir.

Sevil ve arkadaşları bulanık mantık kural tabloları ile akıllı bir ev tasarımı yaparak klima kontrolü yapmışlardır. Gerçek zamanlı olarak tasarlanan bu sistem akıllı ev prototip modeli üzerine entegre edilerek denenmiş ve bulanık mantık kural tabloları ile klimanın kontrolü yapılmıştır. Sevil ve arkadaşları yaptıkları çalışma bulanık mantık kontrolünün kabul edilebilir hata sınırları içerisinde çalıştığı sonucuna varmışlardır (Sevil vd. 2015).

Oğuz tarafından yazılmış bir yüksek lisans tezinde batarya destekli rüzgâr-güneş ikilisinden oluşan hibrit bir güç üretim sisteminin simülasyonu yapılarak, bulanık mantık üzerinden enerji akış kontrolü yapılmamıştır. Sadece simülasyonu yapılan bu sistemin verilerine bakıldığında simülasyon sonuçlarının hibrit güç üretim sisteminin dinamik davranışına paralel olarak elektriksel ve mekaniksel büyüklüklerde çok büyük bir farklılığın olmadığı görülmüştür (Oğuz 2012).

Altun ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise Bulanık Mantık ve Arduino' nun birlikte kullanıldığı bir sistem ile step motorun hız kontrolü yapılmaktadır. Yapılan çalışmada tez çalışmamızda olduğu gibi tasarlanan sistem bulanık mantık ile kontrol edilmektedir. Ayrıca Arduino mikrodenetleyicinin kullanılması da tez çalışmamızla benzeşmektedir. Yapılan çalışmada sonucunda step motor kontrolü yapılırken bulanık mantık kontrolün klasik sistemlere göre daha verimli olduğu saptanmıştır. Ayrıca sistem hassasiyetini sağlamak amacıyla bulanık mantık kural tablolarına daha fazla olasılık yüklemek gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu tarzdaki çalışmalardan da görüldüğü üzere bulanık mantık gerçek zamanlı kontrol mekanizmalarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Altun vd. 2016).

Sayantani ve arkadaşları, yaptıkları bir simülasyon çalışmasında rüzgâr, güneş ve yakıt pilinden oluşan hibrit bir güç üretim sistemini bulanık mantık kontrol etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda bulanık mantık kontrolün enerji üretim sistemlerinin kontrolü için

uygun olduğu saptanmıştır. Ayrıca hibrit sistemlerin şebekeye uzak noktalarda enerji s¼rekliliđi açısından uyumlu olduğu sonucuna da varılmıştır (Sayantani vd. 2015)

Ruey-Hsun tarafından yapılan bir araştırmada r¼zg¼r ve g¼neř enerji üretimini planlamak, belli parametreler ile bu sistemlerin kurulum ve üretim verilerini daha verimli kullanmak amacıyla bulanık mantık kontrol kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntemin gayet doğru sonuçlar verdiği, üretim-kurulum planlamalarında bulanık mantık kontrol¼n kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (Ruey-Hsun 2007).

Bu tez çalışmasında ise Kastamonu Üniöersitesi Cide Rıfat Ilgaz Meslek Y¼ksekokulu bahçesine kurulmuş toplamda 540 W'lık hibrit g¼ üretim sisteminin y¼k¼n talebine g¼re kaynakları kontrol eden bir enerji akış diyagramı tasarlanmış ve gerçek zamana uyarlanmıştır. R¼zg¼r t¼rbini ve g¼neř panellerinden oluşan enerji üretim sisteminin ¼rettiđi enerjiyi t¼keticinin ihtiyacına g¼re daha verimli ve etkin bir biçimde kullanabilmek için bulanık mantık kural tabloları oluşturulmuştur. Tasarlanan kural tabloları sisteme uyarlanmıştır. Tasarlanan bulanık mantık modeli ile sistemin etkileşimini sağlamak amacıyla Arduino Mega kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen kontrol sistemiyle hibrit g¼ üretim sisteminden beslenen y¼klerin çekmiş olduğu enerji, enerji akışı kontrol edilerek izlenmiştir. G¼neř panelleri ve r¼zg¼r t¼rbininin gelen bilgiler Arduino tabanlı kontrol cihazı ile bilgisayara girilmiş ve bulanık mantiğa gelen bilgiler doğrultusunda karar verme işlemi gerçekleşmiştir. Üyelik fonksiyonları ve kural tablolarına g¼re bulanık mantık karar vermekte olup, buna g¼re Arduino ¼zerinden r¼le grubu hareket etmektedir. Bu çalışmayı önemli hale getiren t¼keticinin talep ettiği y¼k¼ yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması durumunda şebekeyi devreden çıkarmasıdır. B¼ylelikle enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmaktadır. Prototipi gerçekleştirilen bu çalışmanın yapay zek¼ yöntemleri ile kontrol edilmiş olması da önem arz etmektedir. Bu alışma geliştirilerek enterkonnekte şebekelere uyarlanabilir. Bulanık mantiğın gerçek zamanlı uygulanmış olması da önem arz etmektedir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji, insanlığın varoluşundan bugüne kadar hayatın vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Özellikle elektrik enerjisine olan ihtiyaç sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle daha da artmıştır. Artan enerji talepleri ülkemizde mevcut olan bazı enerji kaynaklarının kullanılması yönünde bir gereksinim oluşturmuştur. Ülkemizde büyük bir kısmı ithalat yolu ile sağlanan elektrik enerjisinin üretimi giderek daha da önem kazanmıştır.

Yeryüzünde doğal enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Bu durumdan dolayı toplumlar, doğal enerji kaynakları yerine daha ucuz ve çevreyi kirletmeyen özelliklerdeki yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır (Turgut vd. 2011). Enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmışken Türkiye'nin coğrafi yapısı gereği ülkemiz oldukça avantajlı bir konumda olduğu tespit edilmiştir. Çevre kirliliği ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için yenilenebilir kaynaklardan yararlanmak ve enerji üretimindeki payını arttırmak gerekmektedir (Önal vd. 2010).

Fiziğin temel büyüklüklerinden olan ve iş yapabilme yeteneği olarak adlandırılan enerji soyut bir kavram olup cisimlere ettiği etki ile algılanır (Çengel and Boles 2005). Genel bir tanım olarak ise, bir sistem üzerine eklendiğinde ya da bir sistemden çıkarıldığında sistem üzerinde değişikliğe neden olan etken olarak tanımlanabilmektedir. İnsan hayatı üzerinde yadsınamaz bir öneme sahip olan enerjinin önemi giderek artmaktadır. Bu bağlamda, enerji çok geniş alanlara hitap etmekte ve üzerinde önemle durulması gereken alanlar arasında yer almaktadır (Girgin 2011).

İnsanlar ve diğer canlılar yaşantılarını sürdürürken enerji tüketirler. Bu enerjiyi vücuda aldıkları besinlerin hücrelerde oksijenle yakılmasından sağlarlar. Enerjinin korunumu yasasına göre; enerji hiçbir zaman yok olmaz ancak başka tür enerjiye dönüşür. Enerjinin dönüşümü birçok olay ile açıklanabilir. Örneğin; kömür yakıldığında, kömürdeki kimyasal enerji suyu buharlaştırabilir. Elde edilen buhar, buhar türbinine gönderilirse türbini döndürür ve mekanik enerji oluşturur. Bu dönme hareketi bir

jeneratöre iletilirse mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşmüş olur (Öztürk 2013). Bir ülkenin kalkınmışlığı, kişi başına yıllık tüketilen elektrik enerjisi ile değerlendirilmektedir.

Elektrik enerjisinin diğer enerjilere göre birçok üstünlüğü vardır. Bu üstünlükler;

- a. Elektrik enerjisinin üretimi, taşınması ve dağıtımı ucuzdur.
- b. Elektrik enerjisi ile çalışan makinaların verimleri %80'in üzerindedir.
- c. Elektrik enerjisi başka tür enerjilere kolaylıkla dönüşebilir.
- d. Çevreyi kirletmeyen en temiz enerji türlerinden biridir.
- e. Trafolarla ayarlanarak istenilen ihtiyaca göre kullanılabilir.
- f. Elektrik enerjisinin verimliliği diğer enerji türlerine göre daha fazladır (Turgut vd. 2011).

Enerji kaynakları oluşumlarına göre fosil enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.1 Fosil Enerji Kaynakları

Yakıt, yapılarında fiziksel ya da kimyasal olarak bir değişim meydana geldiğinde enerji açığa çıkaran malzemelerdir. Yakıtlar gerekli olan enerji miktarını üretebilmek için kullanılan, gerekli zamana kadar depolanabilen ve gerektiğinde kullanılabilen malzemelerdir. Günümüzde kullanılan fosil yakıtlar kömür, doğalgaz ve petrolden meydana gelmektedir. Fosil yakıtlar milyonlarca yıl boyunca bitki ve hayvanların yer altında çürümeleri ile meydana gelmektedir. Fosil yakıtların oluşma hızı, tüketilme hızlarından daha düşük olduğundan yenilenemeyen enerji kaynakları olarak da adlandırılmaktadır. (Öztürk 2013). Fosil yakıt rezervlerinin tüketime göre kendisini yenileyememesinden dolayı bitme evrelerinde olduğu ve özellikle petrol ve doğal gaz rezervleri kritik seviyelere yaklaşmakta olduğu görülmektedir (İnt.Kyn.2).

Mineral yakıtlar olarak da bilinen fosil yakıtların en önemli zararı çevreye vermektedir. Çevre kirliliğine sebep olan bu yakıt türünün en önemli ve fazla kullanılan türü petroldür. Günümüzde petrol o kadar önemli hale gelmiştir ki 21. YY'dan bu yana

petrol savaşları hızlanmıştır. Petrol tükenme ömrü az ve ömrü kısa olduğu için yenilenemeyen kaynaklar arasındadır. Fosil kaynakların oluşumu ölen canlı organizmaların milyonlarca yıl boyunca çözümlerinden kaynaklanmaktadır (İnt.Kyn.2).

2.1.1.1 Kömür

Jeolojik işlemlerle birlikte yer altında gömülü vaziyette bulunan kömür, bitkisel maddelerin ve bitki parçalarının uygun bataklık ortamlarında birikmesi ve çökmesi durumu ile oluşur. Daha sonra ortamın uyguladığı basınç sonucu kömür üzerinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir (Ceylan 2015, Kumbur vd. 2005).

Dünyada kullanılan enerji kaynakları arasında %27'lik potansiyele sahip olan (İnt.Kyn.3) kömürler oluşum aşamalarına göre antrasit, taşkömürü, esmer kömür, linyit kömürü sırasını izlerler. Kömürler fosil yakıtların içerisinde dünyada en fazla oranda bulunmaktadır ve çeşitli tiplerde üretilirler. Kömürler güç üretiminde de yaygın bir biçimde kullanılmakta ve diğer fosil yakıtlarına göre daha az maliyetli olmaktadır (İnt.Kyn.3). Dünya Enerji Konseyi tarafından 80 civarında ülkede bulunduğu ve bunların en büyük kısmının 237,3 milyar ton ile ABD'de olduğu raporlanmıştır. Dünyadaki toplam kömür rezervinin %90'ına 9 ülke sahiptir. Bunlar sırasıyla; ABD (237,3 milyar ton), Rusya (157 milyar ton), Çin (114,5 milyar ton), Avustralya (76,4 milyar ton), Hindistan (60,6 milyar ton), Almanya (40,5 milyar ton), Ukrayna (33,9 milyar ton), Kazakistan (33,6 milyar ton) ve Güney Afrika Cumhuriyeti'dir (30,2 milyar ton).

Dünya Enerji Konseyi'nin araştırmalarına göre; dünyadaki ispatı yapılabilmiş işletilebilir kömür rezervi toplam 892 milyar tondur. Bu rezervin; 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 287 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 201 milyar tonu ise linyit kategorisindedir.

Ülkemiz kömür rezervi ve üretim miktarı olarak linyitte dünya rezervine göre orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeydedir. Dünya linyit-alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %3,2'si ülkemizde bulunmaktadır. Ancak ülkemizde bulunan linyitin büyük bir

kısının ısı değeri düşük olduğu görülmekte bu sebeple linyitimizin termik enerji santrallerinde kullanıldığı görülmektedir. Türkiye’de linyit rezervinin yaklaşık olarak %46’sı Afşin-Elbistan havzasında bulunmaktadır. Taşkömürü rezervinin en önemli olarak görüldüğü yer ise Zonguldak ve civarıdır. Zonguldak civarında taşkömürü rezervi 1,30 milyar tondur. Ancak görünür rezerv 506 milyon tondur (İnt.Kyn.3).

2.1.1.2 Nükleer Enerji

Nükleer enerji atomun çekirdeğiyle bağlantılı olup, farklı durumlarda meydana gelmektedir. Bunlar iki küçük çekirdeğin oluşmasıyla füzyon, ikincisi ise büyük bir çekirdeğin parçalanması manasına gelen fisyonudur. Her iki reaksiyondan çıkan enerji ısıya dönüşerek elektrik enerjisi üretilmektedir (Altın 2004).



Resim 2.1 Kurulu nükleer enerji santralinin görünümü.

Nükleer enerji, dünya elektrik üretiminde önemli orana sahiptir. Ülkemizde yaklaşık son 50 yıldır nükleer güç santrali kurma hedeflerine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bunun en somut adımı Rusya Federasyonu ile yapılan bir nükleer güç santralinin tesisine ve işletilmesine ilişkin yapılan anlaşmadır. 12 Mayıs 2010 tarihinde imzalanan bu anlaşma ile Ankara'da Proje Şirketi, 13 Aralık 2010 tarihinde Akkuyu Nükleer A.Ş. adı altında kurulmuştur. Proje şirketi tarafından EPDK'dan 36 ay süreliğine elektrik

Üretim n lisansı ve evre ve Őehircilik Bakanlığından ED olumlu kararı (Aralık 2014) alınmıştır. Proje Şirketi tarafından Akkuyu Nükleer Santralinin inŐası için n Őart olan İnŐaat Lisansı baŐvurusu Akkuyu Nükleer A.Ő. tarafından gerçekleŐtirilerek 2023 yılında santralin ilk ünitesinin iŐletmeye alınması hususunda gerekli adımlar atılmıŐtır.

Ülkemizin ikinci bir nükleer santral projesi de Japonya ile ortak çalıŐılarak Sinop'ta yapılmaktadır. Bu santral ile ilgili Japonya ile 3 Mayıs 2013 tarihinde nükleer santral yapımı ve iŐbirliđine ilişkin hkmetler arası anlaşma imzalanmıŐtır (İnt.Kyn.4).

2.1.1.3 Petrol Yakıtları

Bu enerji kaynağı Őu an için yenilenemez enerji kaynakları arasında dünya üzerindeki önemi çok daha fazladır. Ülkelerin yer altı kaynaklarında bulunan bu yakıt türünün miktarı, ülkelerin dünya üzerindeki ekonomik geliŐmelerini sağlayan bir unsur niteliğindedir. Çünkü ulaşım, tarım ve ağır iş araçlarının tümü bu yakıtta ihtiyaç duymaktadır. Mutlak bir alternatifini olmayan petrolün sadece enerji hammaddesi olmadığı bilinmektedir. Boya, kozmetik, demir-elik, ilaç sektörü gibi birçok sanayi dalında ana girdilerin üretildiği hammaddeler arasında yer almaktadır (Oğuz 2012).

2.1.1.4 Doğalgaz

Renksiz, kokusuz ve hafif olan doğalgaz genellikle petrolün yakınında bulunmaktadır. Doğalgazın yeryüzüne çıkışı petrolle aynı olup insanların kullanımı için Őehirlere, enerji üretim tesislerine büyük boru hatları ile taŐınmaktadır (Ceylan 2015). Dünyada en büyük doğalgaz rezervlerinin olduğu yerlerin başında 80 trilyon metreküpü (%43) Orta Doğu lkeleri gelmektedir. Orta doğu ülkelerinden sonra sırasıyla Rusya ve Bağımsız Devletler Topluluğu lkeler (54 trilyon metreküpü (%29)), sonrasında ise 30 trilyon metreküpü (%16) Afrika/Asya Pasifik lkeleri gelmektedir (İnt.Kyn.5).

2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Enerji mal ve hizmet sektörleri için temel bir girdidir. İnsanlığın hayat standardını aydınlatma ve ısıtma ile yükselten, toplumların kalkınmışlığını hızlandıran önemli bir kaynaktır. Bu önemin yanı sıra olmadığı zamanda eksikliği görülmektedir. Enerjinin kesintiye uğraması ile üretim durabilir, insanlar yaşamını sürdürmede zorluk çekerler. Bunun için enerjide süreklilik çok önemlidir. Bu süreklilik bilinçsiz kullanım yaparak gelecek kuşakların yaşam standartlarını olumsuz yönde etkileyecektir (Erdal 2011). 1998 yılı değerleri ile enerji tüketiminin yaklaşık %90'ının yenilenemeyen enerji kaynakları ile sağlandığı görülmektedir. Dünyadaki sınırlı ölçekte bulunan bu kaynakların yakın bir gelecekte bitecek olması, yenilenebilir enerji kaynaklarını daha önemli hale getirmiştir. (Bayram 2001). Toplumların gelişimi geliştirebildikleri ve kullandıkları enerji kaynaklarına bağlıdır (Keleş vd. 2009).

Dünyanın en önemli sorunlarından birisi enerjinin sürdürülebilirliğidir. Enerji üretmek kolay bir süreçtir. Ancak bunu sürdürülebilir hale getirmek ise zordur. Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi bu durumu daha önemli hale getirmektedir. Günümüzde sürdürülebilirlik bu kadar önemli iken toplumlar kendini yenileyemeyen nükleer enerji, kömür, petrol gibi kaynakları bilinçsizce kullanarak tüketmektedir. Ayrıca bu kaynakların tamamı çevreye ve atmosfere zarar vermektedir. Bu sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi günümüzde son derece artmış ve toplumlar yenilenebilir enerji kaynakları hususunda teknoloji üretmeye mecbur olmuştur. Bilim adamları dünya üzerinde pek çok araştırmalar yaparak yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynakları da daha etkili kullanmaya çalışmışlardır. Bunlardan en önemlileri yenilenemeyen sistemler üzerinde kontrol sistemleri geliştirmişlerdir. Çevreye verilen zararı minimuma getirmek amacıyla da birçok çalışmalar yapılmıştır. Yenilenebilir enerji hususunda ise yer küre üzerinde eksik olmayan, yer yer çok yüksek potansiyellere çıkabilen rüzgâr türbinleri ve güneş pilleri üzerine çalışmalar yapılmıştır (Küleççi 2009).

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, hidrolik, rüzgâr, jeotermal, biyokütle ve dalga enerjileri olarak sınıflandırılan enerji kaynaklarıdır ve sürekli olarak yenilenen doğal

süreçlerle elde edilmektedir. İnsana ve çevreye zararı daha az olan bu kaynaklar genel olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

- a. Doğada ve yeryüzünde planlı bir üretim sürecine girilmeden elde edilebilen,
- b. Fosil içerikli olmayan,
- c. Elektrik üretirken CO₂ emisyonu az olan,
- d. Fosil enerji kaynaklarına göre insanlara, hayvanlara ve doğaya zararı neredeyse hiç olmayan,
- e. Kullanılmaya hazır olarak doğada var olan,
- f. Kendisini sürekli yenileyen ve belli bölgelerde bol bulunabilen, (AK 2008).
- g. Ticari açıdan hammadde gereksinimi duymadığı için en karlı olan kaynaklardır (Yılmaz 2012).

Çizelge 2.1 Yenilenebilir Enerji kaynakları (Yılmaz 2012).

| Yenilenebilir Enerji Kaynakları | Kaynak |
|--|---------------------|
| Rüzgâr Enerjisi | Rüzgâr |
| Güneş Enerjisi | Güneş |
| Dalga Enerjisi | Okyanus ve Denizler |
| Biyokütle Enerjisi | Biyolojik artıklar |
| Jeotermal Enerji | Yer altı suları |
| Hidrolik Enerji | Nehirler |
| Hidrojen Enerjisi | Su ve Hidroksitler |

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan geçiş süreci Avrupa Birliğinde de ele alınmıştır. Mart 2007’de Avrupa Konseyi tarafından onaylanan Yeni Enerji ve Çevre Politikası, toplumun temel enerji ihtiyaçları arasında yer alan sürdürülebilirlik, rekabet ve arz güvenliğine ilişkin ileriye dönük planlamalar yaparak siyasi gündem oluşturmuştur. Bu görüşmelerde Avrupa birliği “20-20-20” inisiyatifi ile enerji tüketiminde yenilenebilir kaynakların payını bugünkü oran olan %8,5’den %20’ye çıkartacak, sera etkisine yol açan gaz emisyonlarını %20 azaltacak ve enerji verimliliğini ise %20 arttıracaktır. 2030’daki hedeflenen rakamlar ise sera etkisine yol açan gaz emisyonlarını %40 azaltacak, yenilenebilir kaynakların kullanılmasını arttırarak kaynaklara göre payını %27’ye arttıracak ve enerji verimliliğini %27 arttıracaktır (AK 2007).

2.1.2.1 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerji potansiyeli, dünya etrafındaki havanın güneş tarafından ısınarak farklı basınç alanlarının oluşmasına bağlıdır. Isınan hava bir alçak basınç alanı ve soğuyan hava da bir yüksek basınç alanı meydana getirmektedir. Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hava akımı oluşmakta ve bu akımı hareketleri ile rüzgâr oluşmaktadır. Aynı zamanda rüzgâr, güneşin karayı denizlerden daha hızlı olarak ısıtmasından da meydana gelmektedir. Kara üzerinde ısınan havanın yerini denizlerdeki soğuk havanın alması sonucu oluşan hava hareketi ile de rüzgâr meydana gelmektedir. Bu hareket gündüz olurken aynı sürecin tersi olan kara denizden daha hızlı soğuduğu için rüzgâr karadan denize doğru eser. Bu rüzgârların hızlanması sonucu kasırga gibi afetler meydana gelebilir (İlkılıç 2009).

Rüzgâr enerjisinin tarihsel sürecine bakılacak olursak MÖ yaklaşık 500 yıllarında Mısır'da yolculuk yapılabilmesi için kullanılmıştır. MÖ 200 yılında ise yel değirmenlerinde kullanılmış ve dönüş hareketi üreten bir makine tasarlanmıştır. MS 10. yüzyıla kadar İran ve Afganistan'da tahıl öğütme işlerinde kullanıldığına dair yazılı belgelere ulaşılmıştır. 1889 yılında ABD'de yel değirmenlerinin üretimi yapılmış ve yel değirmenleri fabrikalarda üretilir hale gelmiştir. 19. YY sonlarında ABD'de yapılmaya başlanan çok kanatlı yel değirmenleri ile insanlık rüzgâr gücünü daha fazla kullanmaya başlamıştır (Richardson 1993).

Çok kanatlı yel değirmenlerinin yapılması aslında birçok sanayi alanında gelişmeler sağlamıştır. Bu değirmenlerin pervaneleri geliştirilmiş su pompalama işlerinde dizel motorların icadında kullanılmıştır. ABD'de buhar lokomotiflerinde ihtiyaç duyulan suyun bu pervanelerle karşılamak amacıyla kullanılmıştır. 1900 ile 1940'lı yıllar arasında yel değirmenlerinin pervaneleri ABD'de gelişerek elektrik üreten rüzgâr türbinine dönmüştür. Bunlar arasında yüksek hızda dönme kabiliyetine sahip olan iki veya üç kanatlı pervaneler şekline getirilerek geliştirilmiştir.

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisi 1980'li yıllarda Uluslararası Enerji Atlası öncülüğünde gelişmeye devam etmiştir. Modernleşme ve çağdaş dünya anlayışı ile eski tip rüzgâr türbinleri yerini rüzgâr enerjisi çevrim sistemine (WECS) bırakmıştır.

Bu türbinler öncelikle çiftliklerde elektrik üretmede, su pompalamada, tahıl malzemelerinin öğütülmesinde, depolama pillerini doldurmada, pilleri şarj etme, su depolama, taşımacılık, ve soğutma gibi birçok işlerde kullanılmıştır (Eggleston *et al.* 1987, Frandsen *et al.* 1992).

Türkiye'de 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda, yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali yatırımlarının yapılabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında Rüzgâr Enerji Potansiyeli Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Bu atlas hazırlanırken orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılmıştır. Üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin verildiği bu atlası yatırımcılar yatırım planlaması yaptıklarında kullanmaktadır. Türkiye'de rüzgâr enerjisi potansiyeli 48 000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyeli sağlayan toplam alan ise Türkiye yüz ölçümünün %1,30'una denk gelmektedir (İnt.Kyn.6).

Rüzgâr türbinleri sınıflandırılırken rotor ekseninin kurulum yapılacak yeryüzüne göre konumu dikkate alınmaktadır.

Buna göre rüzgâr türbinleri;

- Yatay eksenli rüzgâr türbinleri,
 - Dikey eksenli rüzgâr türbinleri,
 - Eğik eksenli rüzgâr türbinleri,
- olmak üzere üçe ayrılır (İnt.Kyn.7).

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri: Kantları rüzgâr yönüne göre dik, dönme eksenini ise paralel olan rüzgâr türbinleridir. Bu türbinlerin en önemli özellikleri rotor kanatlarının sayısı azaldıkça daha hızlı dönmektedir. Yaklaşık verimleri %45 olan bu türbinleri genel olarak yerden yükseklikleri 20-30 metre olmaktadır. Çevredeki engellerden 10 metre yüksekte tasarlanmalıdır. Kanat uç hız oranı (λ) rüzgâr hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilmektedir.

Eğer;

- $\lambda= 1-5$ Çok kanatlı rotor,
- $\lambda= 6-8$ Üç kanatlı rotor,
- $\lambda= 9-15$ İki kanatlı rotor,
- $\lambda>15$ Tek kanatlı rotor kullanılır (İnt.Kyn.8).



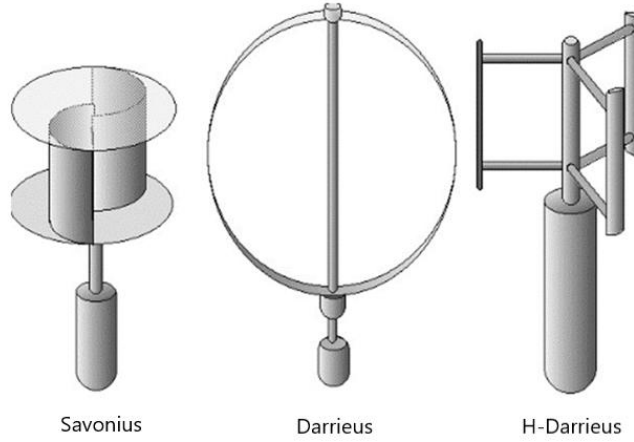
Şekil 2.1 Yatay eksenli rüzgâr türbinleri görünümü.

Düşey eksenli rüzgâr türbinleri: Rüzgârın yönüne dik olarak dönme eksenleri tasarlanmış olan bu türbinlerin kanatları düşey durumdadır. Rüzgârı her yönde kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. DERT'leri rüzgâr sürükler veya kaldırır. Verimlilikleri %35 civarlarında olan DERT'lerin ilk hareketleri güvenli değildir. DERT'lerin vites kutusu ve jeneratörleri toprak seviyelerine yerleştirildiğinden kulelere gerek duymazlar (İnt.Kyn.9).



Şekil 2.2 Düşey eksenli rüzgâr türbinleri görünümü (İnt.Kyn.10).

Düşey eksenli olan rüzgâr türbinleri kendi içlerinde 3 şekilde sıralanır. Bunlar; Darrieus, Savonius ve H-Darrieus Rüzgâr Türbinleridir.



Şekil 2.3 Düşey eksenli rüzgâr türbini çeşitleri.

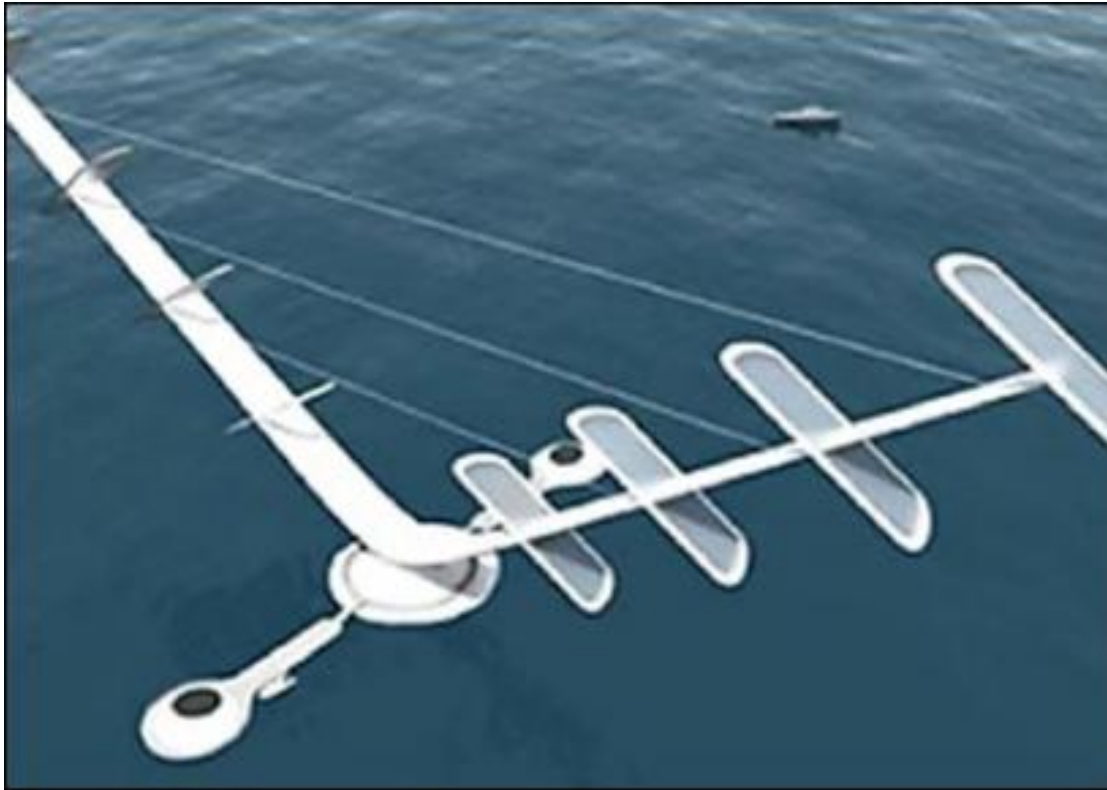
Darrieus Rüzgâr Türbini: Darrieus tipi düşey eksenli rüzgâr türbininde, düşey biçimde yerleştirilmiş iki adet kanat vardır. Kanatlar elips oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Dönme hareketinin oluşumu kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvvetinin farkından kaynaklanmaktadır. Devir başına iki kere en yüksek tork elde edilir. Rüzgârın tek yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç, sinüs şeklinde bir eğri oluşturur (İnt.Kyn.9).

Savonius Rüzgâr Türbini: “S” şeklini andıran Savonius tipi rüzgâr türbinleri iki ya da üç adet kepçeye benzer kesitlerin birleşimi ile meydana gelmektedir. Savonius türbini

türbülanslı bir yol izler ve burada dönel akışlar meydana gelir. Bu dönel akışlar aslında türbinin verimini düşürür. Bundan dolayı genellikle su pompalama ve rüzgâr ölçümü amacıyla kullanılmaktadır (İnt.Kyn.11).

H-Darrieus Rüzgâr Türbini: Dikey eksenli en önemli rüzgâr türbinlerinden biri olan H-Darrieus karmaşık yapıdadır. Ancak Darrieus rüzgâr türbinlerine göre aerodinamik yapılarının düzgün olması açısından üstündür. Ayrıca bu türbinler kanatlara pitch kontrol uygulanarak kullanılırlar (Kısar 2009).

Eğik eksenli Rüzgâr Türbinleri: Dönme eksenleri rüzgâr ile belli bir açıya konumlandırılmış rüzgâr türbinleridir. Kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Bilinen en eski rüzgâr türbin tipidir (Kısar 2009).



Resim 2.2 Eğik eksenli rüzgâr türbini görünümü.

2.1.2.2 Güneş Enerjisi

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yarıiletken maddeler sayesinde üzerlerine düşen ışığı elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. 100 cm² civarında alanı ve dikdörtgen, kare, daire şeklinde yüzeyleri biçimlendirilen güneş panelleri fotovoltaik ilkelere dayalı olarak çalışmaktadır. Elektrik üretebilmesi için üzerine ışık düşmesi gerekmektedir. Burada üretilen elektrik enerjisinin kaynağı aslında ışıktır. Mekanik olarak hareketli bir mekanizma olmadığından rüzgâr türbinlerine göre ömürleri daha uzundur. Amaçlanan ya da ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre birbirleri arasında seri ya da paralel bağlanarak kullanılabilirler. Bu yapılara güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül denmektedir.

Böylelikle birkaç watt'tan megawatlara kadar sistem oluşturulabilir (Kısar 2009).

Güneş panellerinin üzerine başta üniversiteler ve bir takım Ar-Ge firmaları yıllardır çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların en somut adımı da son 20 yılda gerçekleştirilmiştir. Aslında çevre dostu olması ve ucuz elde edilebilir bir kaynak olması da bu süreçte etken olmaktadır. Çevre konusundaki duyarlılığın daha da arttığı günümüz toplumunda yenilenebilir kaynaklardan olan bu paneller daha önemli hale gelmiştir. Fotovoltaik güç sistemler, yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde “sosyal maliyet” olarak adlandırılan çevre kirliliği ve insan yaşamı gibi hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyetler göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemlerin fosile dayalı sistemlere göre daha ekonomik olduğu söylenebilmektedir (Özgöçmen 2007).

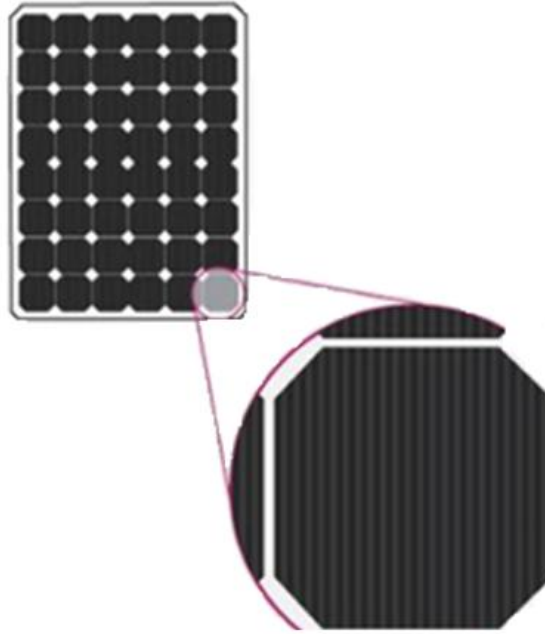
Güneş Pillerinin Çeşitleri:

Güneş enerjisini verimli bir şekilde elektrik enerjisine çevirebilmek için yarıiletken katmanları kusursuz bir kristale sahip olması gerekmektedir. Kristal yüzeydeki kusurlar kaplama katmanlarının yüksek kalitede üretilmesi ile giderilebilir ve elde edilen enerjide hissedilir bir değişim olmaktadır (Bubenzer 2003).

Fotovoltaik piller, malzeme ve birleştirilme yöntemine bağlı olarak çeşitli türlerde üretilmektedir. Fotovoltaik sistemlerin temel malzemesini silisyum oluşturmaktadır.

Yarı iletken fotovoltaik pil çeşitleri ve özellikleri aşağıda sınıflandırılmaktadır (Fesli 2009).

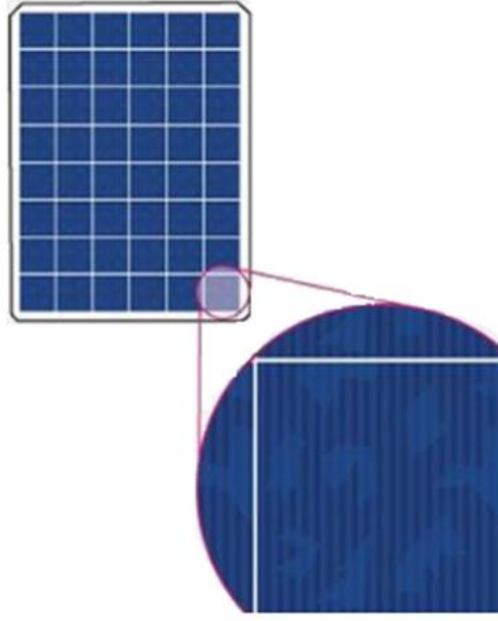
Monokristal Güneş Enerjisi: Monokristal güneş panelleri küçük alanda büyük enerji üretebilmekte ve güneş panelleri çeşitleri arasında en verimli olarak kabul edilmektedir. Verimlilikleri yaklaşık olarak %24 oranında olan bu paneller diğer fotovoltaik panellere oranla daha pahalıdır. Verimlilik oranı piyasadaki güneş panellerinin en iyisi olduğunu göstermektedir (İnt.Kyn.12).



Şekil 2.4 Monokristal güneş pili görünümü (İnt.Kyn.13).

Monokristal Güneş panelleri sıcak iklimlerde de verimini kaybetmeden çalışabilmektedir. Elektrik üretim ömrü daha uzundur. Gölgeleme durumunda ise dezavantajlı konumdadır. Çünkü panellerin tamamı olumsuz olarak etkilenmektedir (İnt.Kyn.13).

Polikristal Güneş Panelleri: Yapısal olarak monokristal pillerle aynı olan bu paneller monokristal panellere oranla verimlilikleri daha düşüktür. Çok kristalli silisyum üretim teknolojileri kolay olduğundan maliyeti oldukça düşüktür. Bu sebeple piyasada yatırımcılar tarafından çok kullanılmakta ve tedarik edilebilirliği yüksek olmaktadır. Polikristal güneş panellerinin verimlilikleri %14 ile %16 aralığındadır (Boz 2011).



Şekil 2.5 Polikristal güneş pili görünümü (İnt.Kyn.12).

İnce Film Güneş Pili: Yarı iletken maddelerin katı yüzeylere uygulanması ile oluşturulan tabakalardır. İnce film hücreler silikon tabakası yönüyle karşılaştırıldığında her hücre için kullanılan yarı iletken malzeme miktarı fotovoltaik panellere göre daha azdır. Buna göre ince film güneş pillerinin üretim maliyetleri de azalmaktadır. İnce film teknolojisinde Amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum diselenid (CuInSe₂) yarıiletken malzemeler kullanılmaktadır.



Resim 2.3 İnce film güneş pili görünümü.

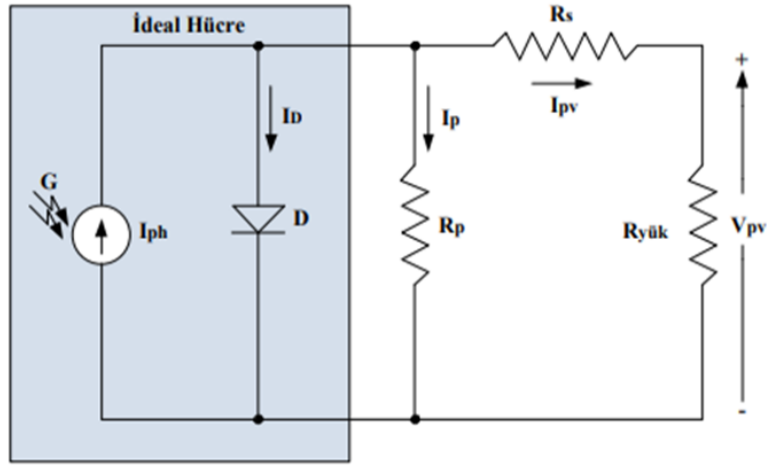
Amorf Silikon (a-Si) Güneş Pilleri: Verimi %10 civarında olan bu piller Amorf Silikon (a-Si) Kristal yapı özelliği göstermeyen Si pillerden elde edilirler. Ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde dir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadır (İnt.Kyn.14).

Kadmiyum Tellür(CdTe) Güneş Pilleri: Üretimi aslında kolay olan bir malzemedir. Kadmiyum elementi ile tellür elementinin birleşmesiyle meydana gelen bir yarı iletken malzemedir. Hücre verimi deneysel çalışmalarda yaklaşık %16civarındadır.Ticari uygulamalarda ise bu verim %10 seviyelerindedir (Wikipedia 2012).

Bakır İndiyum Diselenid(CuInSe₂) Güneş Pilleri: Bakır indiyum elementi ile galyum elementi eklenerek elde edilen yarı iletken malzeme ile yapılmış ince film güneş hücreleridir. İnce film güneş teknolojisine sahip güneş piller arasında en yüksek verime sahip yapıdır. Hücre verimleri yaklaşık %20 iken, modül verimleri %13 seviyelerindedir (Chaar *et al.* 2011).

Fotovoltaik Hücresinin Matematiksel Modeli:

Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisinin incelenebilmesi için fotovoltaik hücresinin eşdeğer devresinin çıkarılması gerekir. Güneş hücreleri diyotla modellenmiştir. Güneş hücresi güneş ışınımı almadığında akım-gerilim karakteristiği diyota benzemektedir. Güneş hücresinin elektrik üretimi akım kaynağı ile sembolize edilirken, fotovoltaik hücrelerde kayıplar ise seri ve paralel direnç ile gösterilmektedir. Bir PV hücresinin elektriksel eşdeğer devresi Şekil 2.6'da gösterilmiştir (Islam *et al.* 2014, Zhu *et al.* 2011).



Şekil 2.6 PV panelin eşdeğer devresi.

Hücre üzerine düşen güneş ışınım miktarı ile PV hücrenin fotovoltajik akımı (I_{ph}) doğru orantılıdır.

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i \cdot T_c - T_r] \cdot \frac{G}{G_r} \quad (2.1)$$

Diyot akımı (I_D), gerilime ve ters sızıntı akımına (I_o) bağlıdır.

$$I_D = I_o \cdot (e^{\frac{q \cdot V_D}{A \cdot k \cdot T_c}} - 1) \quad (2.2)$$

Paralel dirençten geçen akımın denklemi;

$$I_p = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_p} \quad (2.3)$$

PV hücrenin çıkış akımı ve gerilimi;

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D - I_p \quad (2.4)$$

$$V_{pv} = V_D - I_{pv} \cdot R_s \quad (2.5)$$

(2.2) ve (2.3) nolu denklemler (2.4)' de yerine yazılacak olunursa;

$$I_{pv} = I_{ph} - \left[e^{\left(\frac{q \cdot V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{A_d \cdot k \cdot T_c} \right)} - 1 \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_p} \quad (2.6)$$

Matematiksel modeli elde edilir (Villalva *et al.* 2009, Krishan *et al.* 2013).

2.1.2.3 Dalga Enerjisi

Doğrudan dalgaların yüzeylerinden ya da yüzey altındaki basınçlardan elde edilen enerji kaynağıdır. Dalga ise deniz ve okyanusların yüzeyinde esen rüzgârlar tarafından üretilmektedir. Rüzgârları sürekli esmesi dalga enerjisinin de sürekli olacağı anlamına gelmektedir. Bu sebeple dalgalardan enerji üretmek amaçlı dalga enerjisi makinaları tasarlanmıştır.

Dalga enerji teknolojileri kıyıda, kıynın uzağında ve açık denizlerde kurulabilecek şekilde tasarlanmıştır. Suyun 40 m derinliklerine kurulacak şekilde tasarlanan bu sistemlerin tasarımları etkileşimde buldukları dalganın şekline ve basınç miktarlarına göre farklılık göstermektedir (İnt.Kyn.15).



Resim 2.4 Dalga enerji teknolojilerinin kullanıldığı bir enerji üretim sistemi görünümü.

Dalga enerjisi veya su enerjisi, toplum ve doğa için birçok avantaja sahiptir.

- Kendini yenileyebildiği için tükenmeyen, sonsuz bir enerji kaynağıdır
- Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır,

- Çevreyi ve doğayı kirletmez,
- Elektriğin olmadığı yerlerde kullanımı fonksiyoneldir,
- Deniz ve okyanus gibi yerlerde yapılacak olan her türlü çalışma için potansiyel bir enerji kaynağıdır.

Birçok enerji kaynağı gibi dalga enerjisi de bazı dezavantajlara sahiptir;

- Her dalga boyuna göre yeni tasarım yapılarak kullanılmaktadır. Bu yüzden standardı olmayan bir iştir.
- Kullanımı kolay değildir. Karşısına çıkabilecek farklı durumlara hazır değildir. Örneğin gemi rotalarına, askeri tatbikat alanlarına ya da balık avlanma sahalarına kurulamaz (İnt.Kyn.16).

2.1.2.4 Biyokütle Enerjisi

Canlı organizmaların ve bitkilerin kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, güneşteki enerjiyi fotosentez yardımı ile depolayan bitkisel organizasyonlar olarak adlandırılmaktadır. Tükenmeyen bir kaynak olan biyokütle bir ya da daha fazla türlerden oluşan topluma ait yaşayan organizmaların, belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak adlandırılmaktadır. Bitkisel ve hayvansal olarak ikiye ayrılmaktadır. Organik karbon olarak ta adlandırılan biyokütle fosil kökenli karbonun enerji içerebilen formu olarak da adlandırılmaktadır.

Biyokütle enerjisinin kapsamında yetiştiricilik olduğu için enerji türleri bakımından yenilenebilir olarak kabul görmektedir. Çevre dostu ve yerel bir kaynak olduğundan dolayı günümüzde daha da önem kazanmaktadır.

Biyokütle enerjisinin kullanımı açısından Klasik ve Modern biyokütle enerjisi olarak ikiye ayrılmaktadır. Klasik biyokütle de enerji kullanımının temel özelliği enerjinin direkt yanma özelliği kullanılmasıdır. Modern biyokütle de ise, enerji ormancılığı orman ve ağaç sanayisi atıkları, tarım kesiminin bitkisel atıkları, hayvansal atıklar ve enerji tarım ürünleri biçimde sıralanmaktadır. Klasik biyokütle enerjisi daha çok kırsal alanlarda kullanılmaktadır. Ancak modern biyokütle enerjisi daha gelişmiş ve profesyonel süreçlerden geçmelidir.

Söz konusu olan biyokütle materyaller alçak ve yüksek biyokütle yakıt teknikleri ile işlenerek katı, sıvı ve gaz halinde yakıtlara dönüşmektedir. Alkolden sentetik petroler ve diğer yakıt ürünleri ile işlenen bu materyallerle enerji üretimi sağlanmaktadır (Ceylan 2013).

Türkiye’de 2017 yılı elektrik üretim oranlarına bakıldığında biyokütle enerjisinin %0,71 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Bu katkı ile 2 124 GWh elektrik üretimi yapıldığı görülmektedir (İnt.Kyn.17).

2.1.2.5 Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji genel anlamıyla akan suyun gücünü elektriğe dönüştüren enerji çeşididir. Suyun potansiyel ve kinetik enerjisinden faydalanmaktadır (Tosun 2007). Akan su içerisindeki enerji miktarını suyun akış ve düşüş hızı belirler. Nehirlerin büyüklüğüne göre enerji miktarları değişmektedir. Sular sürekli olarak sonsuz bir besleme yapar ve enerji üretim süreci de sonsuz kaynaklı olmaktadır. Yağmurlar sebebi ile yer yüzüne ortalama olarak saniyede 16 ton su düşmektedir. Bu da hidrolik enerjinin kaynağını teşkil etmektedir.

Hidrolik güç yenilenebilir bir kaynaktan beslendiği için sera gazı emisyonu üretmemektedir. Bundan dolayı hidroelektrik santraller yenilenebilir kaynaklardan sayılmakta ve çevre dostu olarak bilinmektedir. Yapılan santrallerin çoğu yerli imkanlarla yapılabilmektedir. Oluşturulan baraj gölleri çevreyi olumlu yönde etkilemekte, sulama ve tarımda da kullanılmaktadır. Ayrıca hidroelektrik santrallerin genellikle kırsal kesimlere yapılmasından dolayı kırsal kesimlerde iş olanakları oluşturması da ayrı bir avantajdır. Buna bağlı olarak kurulan yerlerde ekonomik ve sosyal kalkınmayı da canlandırması yönünden hidroelektrik santralleri önemli bir yer almaktadır (İnt.Kyn.18).

Türkiye’de bulunan akarsular ve bu akarsularda kurulu baraj ve HES’ler ile yapılan elektrik üretimi bilgileri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 2.2 Yıllık üretim bazında üzerinde bulunan barajlarla en çok enerji üretilen akarsular.

| Akarsu adı | Kurulu Santral Sayısı | Yıllık Üretim (GWh) |
|--------------|-----------------------|---------------------|
| Fırat Nehri | 5 | 21 880 |
| Murat Nehri | 2 | 1 452 |
| Kızılırmak | 16 | 3 781 |
| Botan Çayı | 3 | 834 |
| Çoruh Nehri | 6 | 3 863 |
| Dicle Nehri | 2 | 298 |
| Ceyhan Nehri | 10 | 4 611 |
| Zap Suyu | 1 | 70 |
| Yeşilirmak | 18 | 2 341 |
| Karasu Nehri | 6 | 582 |

Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi Türkiye’de yıllık üretim bazında en iyi olan nehir Fırat nehridir. Fırat nehri üzerine kurulu olan 5 adet hidroelektrik santralden yıllık 21 880 GWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Yukarıdaki çizelgede plan ve kurulu güç bakımından kurulu olan en büyük 10 nehir görülmektedir. Normalde Türkiye’de üzerinde hidroelektrik santrali bulunan ve aktif enerji üretebilen 320 adet nehir bulunmaktadır. Çizelge 2.3’de Türkiye’de çalışır vaziyette olup enerji üretimini en yüksek olduğu 20 Hidroelektrik santraline ait güç değerleri görülmektedir.



Resim 2.5 Fırat nehri üzerinde bulunan ve Türkiye’nin en büyük enerji üretim kapasitesine sahip olan Atatürk barajının görünümü.

Çizelge 2.3 Türkiye’de sırasıyla yıllık enerji üretimi açısından en iyi olan hidroelektrik santraller.

| Santral Adı | İl | Kurulu Güç (MW) |
|----------------------------|---------------|------------------------|
| Atatürk Barajı ve HES | Şanlıurfa | 2.405 |
| Karakaya Barajı ve HES | Diyarbakır | 1.800 |
| Keban Barajı ve HES | Elazığ | 1.330 |
| Altinkaya Barajı ve HES | Samsun | 703 |
| Birecik Barajı ve HES | Şanlıurfa | 672 |
| Deriner Barajı ve HES | Artvin | 670 |
| Beyhan Barajı ve HES | Elazığ | 582 |
| Oymapınar Barajı ve HES | Antalya | 540 |
| Boyabat Barajı ve HES | Sinop | 513 |
| Berke Barajı ve HES | Osmaniye | 510 |
| Hasan Uğurlu Barajı ve HES | Samsun | 500 |
| Artvin Barajı ve HES | Artvin | 332 |
| Yedigöze Sanibey Barajı | Adana | 311 |
| Ermenek Barajı ve HES | Karaman | 302 |
| Borçka Barajı ve HES | Artvin | 301 |
| Sır Barajı ve HES | Kahramanmaraş | 284 |
| Gökçekaya Barajı ve HES | Eskişehir | 278 |
| Göktaş Barajı ve HES | Adana | 276 |
| Alkumru Barajı ve HES | Siirt | 276 |
| Arkun Barajı ve HES | Erzurum | 245 |
| Akköy 2 Barajı ve HES | Gümüşhane | 230 |

Çizelge 2.3’de görüldüğü gibi Atatürk Barajı, Karakaya Barajı ve Keban barajı kurulu güç bazında Türkiye’de en önde gelen barajlardır. Türkiye’de 2017 yılı itibari ile 597 Hidroelektrik Santrali bulunmaktadır. Bunların toplam üretim hacmi ise kurulu güç bazında 26 694,92 MW 'dır.

2.1.2.6 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yerkürenin çeşitli derinliklerinde mevcut olan ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20 C nin üzerinde olan ve içerisinde çeşitli mineraller, tuzlar veya gazlar içeren su ya da buhar ile sürekli yüzeye taşınan ısı enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Jeotermal enerji kaynağı olan su ya da ısı sadece enerji üretimi için kullanılmaz. Ayrıca sağlık, ısınma ve turizm amaçlıda kullanılmaktadır (Ceylan 2013).

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin ülkemiz açısından diğer enerji kaynaklarına olan üstünlükleri aşağıdaki gibidir.

- Fosil yakıtlara göre daha uzun ömürlüdür.
- Diğer yenilenebilir kaynaklardan olan güneş ve rüzgâr gibi iklim koşullarından etkilenmez.
- Arama sondaj süreleri ve enerji üretimine alınma süreleri kısadır.
- Jeotermal santrallerin yapım ve tesis edilme süresi diğer santrallere oranla daha kısadır.
- Ülkemiz jeotermal kaynakları genellikle Ege bölgesindedir. Bu ise elektrik tüketiminin daha fazla olduğu Marmara bölgesine yakın olduğu anlamına gelmekte ve tüketime yakın yerlerde santral kurulabilmektedir. Bundan dolayı uzun mesafelere kablo ile enerji taşımadan kaynaklı verimsizlikler ülkemiz açısından jeotermal santrallerde daha azdır.
- Jeotermal santrallerle enerji üretebilmenin maliyeti doğalgaz ve kömürlü termik santraller kadar düşüktür. Bu da enerji üretiminde daha ucuz bir kaynak olduğunu göstermektedir (Öztürk 2013).

Jeotermal kaynakların üç önemli bileşeni vardır. Bunlar ısı kaynağı, ısıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan ve suyun dolaşımını sağlamaya yeterli kayaç geçirgenliğidir. Jeotermal enerji, yer kabuğunun içerisinde bulunan ısı enerjisidir. Bu ısının kaynağı, yerkabuğunun iç yapısıyla ve burada gerçekleşen fiziksel işlemler ile ilgilidir.

Ülkemizde kayıtlı 40 adet jeotermal enerji santrali bulunmaktadır. Bu santraller tarafında yıllık enerji üretimi 6 792 GWH' dir. Ülkemizde enerji üretimi yapabilen jeotermal enerji santralleri aşağıdaki çizelge de gösterilmektedir.

Çizelge 2.4 Türkiye’de sırasıyla yıllık enerji üretimi açısından en iyi olan jeotermal enerji santralleri.

| Santral Adı | İl | Kurulu Güç (MW) |
|---------------------------------------|-----------|------------------------|
| Kızıldere 3 JES | Denizli | 165 |
| Efeler Jeotermal Enerji Santrali | Aydın | 115 |
| Kızıldere 2 Jeotermal Enerji Santrali | Denizli | 80 |
| Pamukören Jeotermal Santrali | Aydın | 68 |
| Galip Hoca Germencik JES | Aydın | 47 |
| Alaşehir Jeotermal Enerji Santrali | Manisa | 45 |
| Maren Jeotermal Enerji Santrali | Aydın | 44 |
| Dora 3 Jeotermal Enerji Santrali | Aydın | 34 |
| Melih Jeotermal Enerji Santrali | Aydın | 26 |
| Greeneco Jeotermal Enerji Santrali | Denizli | 26 |
| Enerjeo Kemaliye Santrali | Manisa | 25 |
| Mehmethan Jeotermal Santrali | Aydın | 25 |
| Deniz Jeotermal Enerji Santrali | Aydın | 24 |
| Ken Kipaş Jeotermal Santrali | Aydın | 24 |
| Kerem JES | Aydın | 24 |
| Kubilay Jeotermal Enerji Santrali | Aydın | 24 |
| Türkerler Alaşehir 2 JES | Manisa | 24 |
| Türkerler Alaşehir JES | Manisa | 24 |
| Özmen 1 Jeotermal Enerji Santrali | Manisa | 24 |
| Efe 6 JES | Aydın | 23 |

Çizelge 2.4’de ülkemizde bulunan ve kurulu gücüne göre en üst seviyede olan 20 Jeotermal enerji santralleri bulunmaktadır. Çizelgede de görüldüğü gibi Jeotermal enerji kaynaklarının tamamı Ege Bölgesindedir. Ege bölgesi Jeotermal enerji kaynakları olarak çok iyi potansiyele sahiptir.

2.1.2.7 Hidrojen Enerjisi

Doğal bir yakıt olan hidrojenin birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak farklı hammaddelerden üretilebilen sentetik bir yakıttır. Hidrojen üretiminde tüm enerji kaynakları kullanılabilir. Kullanılan hammaddeler ise su, fosil yakıtlar ve biyokütle materyalleridir. Yakıt hidrojenin temelde, sudan yenilenebilir enerjilerle üretilmesi ana ilkesidir. Hidrojen üretim yöntemlerinin başında suyun direkt elektrolizi gelmektedir.

Hidrojen enerjisinin en önemli kullanım alanı ulaşım sektörüdür. Otomobil, otobüs, uçak, tren, uzay mekiği ve roketler de yaygın kullanılmaktadır. Hidrojen ayrıca elektrik enerjisinin olmadığı uzak şantiyelerde de yaygın kullanılmaktadır (Ceylan 2013).

Hidrojen enerjisinin çevreye hiçbir zararı olmaması onu yenilenebilir kaynaklar arasına almıştır. Kolay üretimi, üretilen enerjinin kolay taşınması onu ulaşım araçlarında yaygın olarak kullanılmasına sebep olmuştur. Hidrojen enerjinin en yaygın kullanıldığı yöntem yakıt pilleridir. 1950'li yıllarda NASA tarafından uzay araçlarının tasarımında söz konusu olmuştur. Yakıt pilleri, taşınabilir bilgisayarlarda cep telefonlarında da aktif bir biçimde kullanılmaktadır. Enerji üretimi hususunda sahip olduğu yüksek verimliliği ve düşük emisyon değeri ile geniş kullanım alanı bulmaktadır (İnt.Kyn.20).

2.2 Türkiye'de Enerjinin Durumu

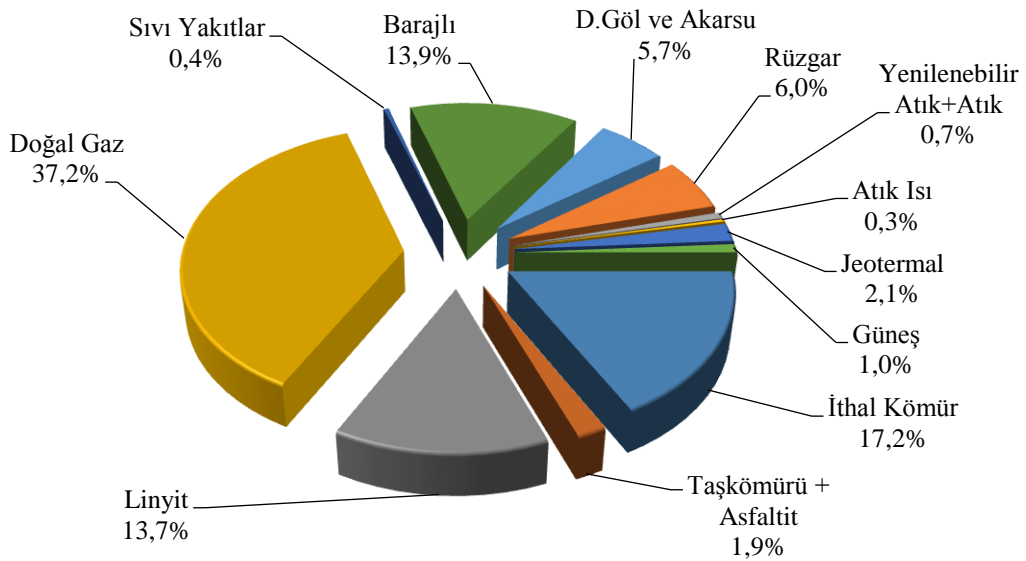
Günümüzde enerji ile ilgili ihtiyacın giderek arttığı görülmektedir. Bunun sebeplerinin başında gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşme gösterilmektedir. Enerji, ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınma potansiyelini yansıtan göstergelerden biridir. Enerji üretimi ile sosyal kalkınma, refah düzeyi de artmaktadır (Koç vd. 2008, 2008).

Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketimine bakıldığında 2017 yılında bir önceki yıla göre %5,6 artarak 294,9 milyar kWh'dir. 2017 yılındaki elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %7,7 oranında artarak 297,2 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketiminin 2023 yılında baz senaryoya göre yıllık ortalama %4,8 artması ve 385 milyar kWh'e ulaşması beklenmektedir. 2017 yılı elektrik üretim değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 2.5 Türkiye’de enerji üretiminin kaynak türüne göre dağılımı.

| Kaynak | Üretim (GWh) | Katkısı (%) |
|----------------------------|--------------|-------------|
| İthal Kömür | 51 118,10 | 17,2 |
| Taşkömürü ve Asfaltit | 5 663,80 | 1,91 |
| Linyit | 40 694,40 | 13,69 |
| Doğal Gaz | 110 490,00 | 37,17 |
| Sıvı Yakıtlar | 1199,90 | 0,4 |
| Barajlı | 41 312,60 | 13,9 |
| D.Göl ve Akarsu | 16 905,90 | 5,69 |
| Rüzgâr | 17 903,80 | 6,02 |
| Yenilenebilir Atık ve Atık | 2 124,00 | 0,71 |
| Atık Isı | 848,3 | 0,29 |
| Jeotermal | 6 127,50 | 2,06 |
| Güneş | 2 889,30 | 0,97 |
| TOPLAM | 297 277,50 | 100 |

Çizelge 2.5’de görüldüğü gibi 2017 yılında en çok elektrik üretimi %37,7’lik katsayı ile doğalgaz ile yapılmıştır. En az elektrik üretimi yapılan ise %0,29 ile atık ısı ile yapılmıştır.



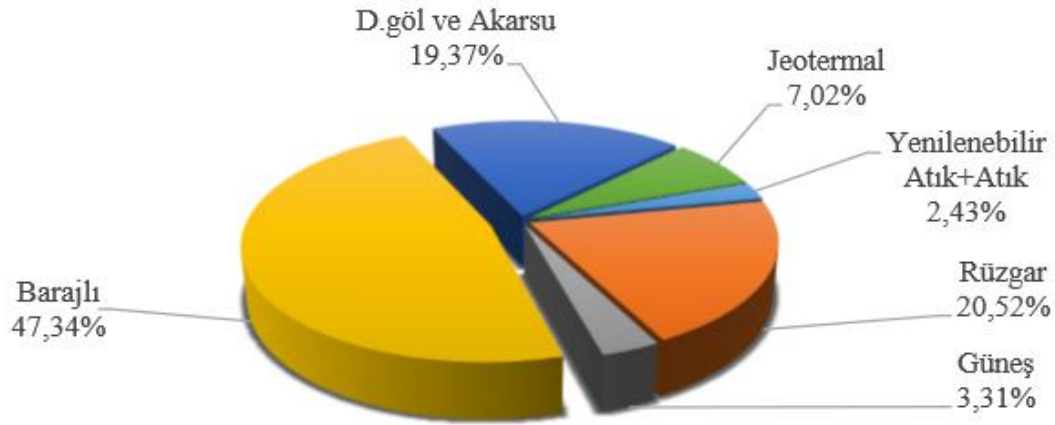
Şekil 2.7 2017 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.

Türkiye’de üretilen elektrik enerjisinin içerisinde yenilenebilir enerjinin payı da giderek artmaktadır. Türkiye’de üretilen elektrik enerjisinin içerisinde yenilenebilir enerjinin payı 87 263 GWh ile %29,35’lik bir kısmını kapsamaktadır. Bu değer önceki senelere

göre giderek artmaktadır. Üretilen elektrik enerjisinin yenilenebilir kaynaklara göre dağılımı aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.6 Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarıyla 2017 yılı itibari ile üretilen enerji.

| | Üretim (Gwh) | Katkısı (%) |
|--------------------|-----------------|---------------|
| Yenilenebilir Atık | 2 124,0 | 2,43 |
| Rüzgâr | 17 903,8 | 20,52 |
| Güneş | 2 889,3 | 3,31 |
| Barajlı | 41 312,6 | 47,34 |
| D.Göl Ve Akarsu | 16 905,9 | 19,37 |
| Jeotermal | 6 127,5 | 7,02 |
| <i>Toplam</i> | <i>87 263,0</i> | <i>100,00</i> |



Şekil 2.8 2017 yılı yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin dağılımı.

Ayrıca Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2018 yılı ilk yarısı itibarıyla 6 886’ya (Lisanssız santraller dahil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 636 adedi hidroelektrik, 41 adedi kömür, 232 adedi rüzgâr, 40 adedi jeotermal, 303 adedi doğal gaz, 5 422 adedi güneş, 212 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir (İnt.Kyn.21).

3. MATERYAL ve METOT

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisi ayrı ayrı kullanılabilirdiği gibi birlikte de kullanılmaktadır. Bu tür enerji kaynaklarının birlikte kullanımı tek başlarına kullanımlarına göre daha üstündür. Hibrit güneş-rüzgâr uygulamaları ile ilgili geçmiş yıllarda birçok araştırma yürütülmüştür. Bu araştırmalar genel olarak birbirinden ayrı bölgelerde, uygulanabilirlik üzerine yoğunlaşmıştır. Güneş ve rüzgâr kaynaklarının birçok ülkede (Ürdün, Hindistan, Meksika, Amerika, Japonya, Avustralya, Suudi Arabistan vb.) kurulma olasılıkları üzerine çalışılmış ve hibrit sistemlerin birçok ülkede pratik ve mümkün olduğu kanıtlanmıştır (Lin 2015). Bu çalışma çerçevesinde şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sistemlerinin klasik tasarımları ile Arduino tabanlı bulanık denetim kontrolörü ile yapılan tasarımı arasındaki farklar ve verimliliği konu alınmıştır. Her iki sistemde de 9 aylık veriler alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Sisteme ek olarak yük talebinin el ile girildiği tasarımda yapılmıştır.

3.1 Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Klasik Tasarımı ve Arduino Tabanlı Bulanık Mantık Kontrolör ile Tasarımı

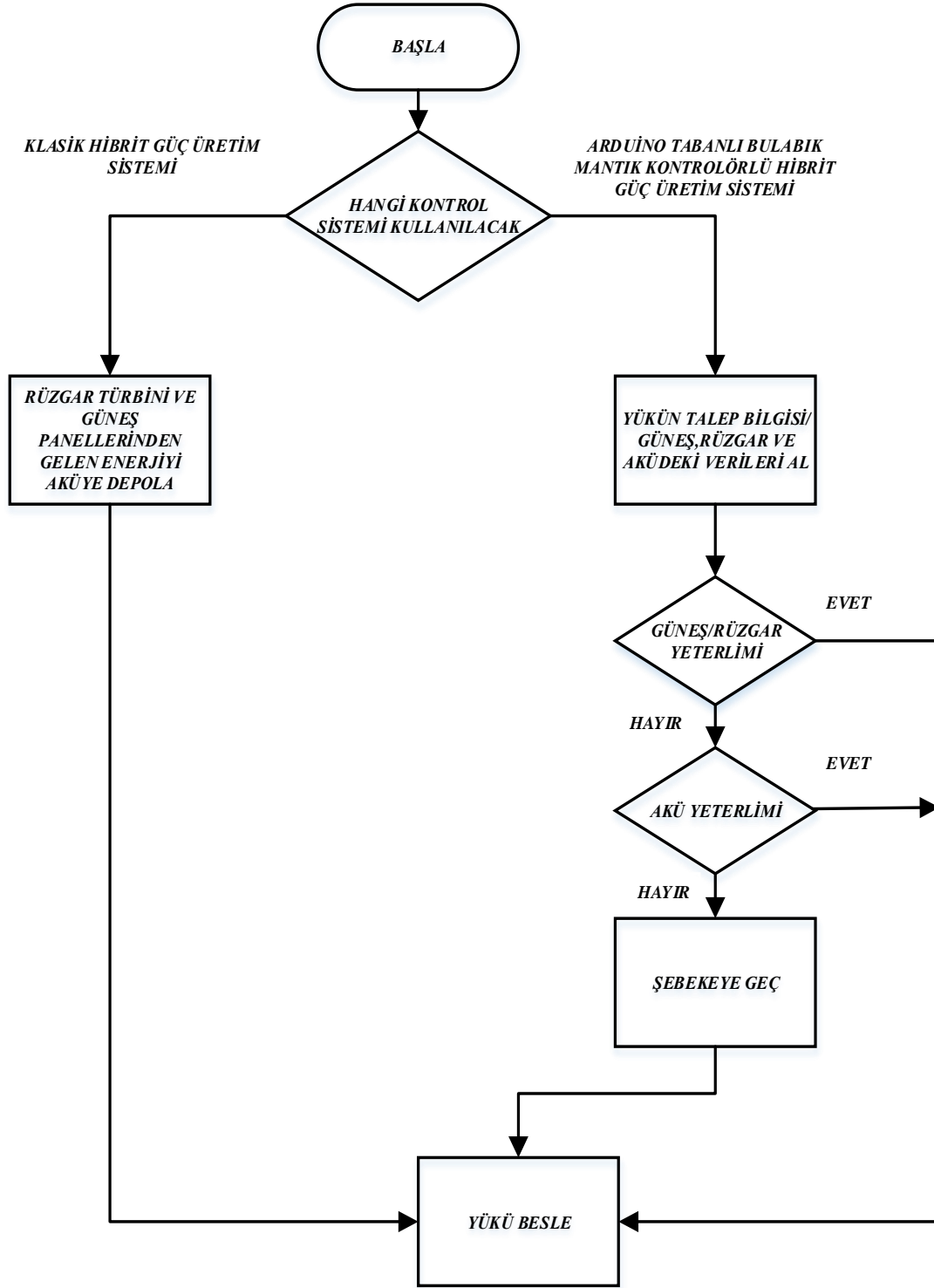
Bu çalışmada sistemin enerji akışı ile ilgili iki seçenek bulunmaktadır. Bunlardan biri sistemin piyasadaki hibrit güç üretim sistemleri gibi çalışma durumu olan rüzgâr-güneşin bir şarj kontrol cihazı ile aküyü şarj etmesi mantığı ile çalışan klasik hibrit güç üretim sistemidir. Bir diğer sistem ise Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolörlü hibrit güç üretim sistemidir. Bu sistemde hibrit güç üretim sistemi ile üretilen enerji Matlab Simulink'te tasarlanan model ile sürekli görülmektedir. Buna göre bulanık mantık kural tabloları uygulanmaktadır. Sistemde üretilen enerji yükü beslemeye yettiği durumlarda Matlab Arduino IO arayüzü ile röle grubunu kontrol edecek ve yük, rüzgâr ve güneşten beslenecektir. Sistemde üretilen enerji yükü beslemeye yetmediği durumlarda ise röle grubu akü ile yükü beslemeye geçecektir. Aküde yetmez ise yük şebeke ile beslenecektir. Her iki sistem için kurulumu yapılan güneş panelleri ve rüzgâr türbini Resim 3.1'de görülmektedir.



Resim 3.1 Şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminde kullanılan güneş panelleri ve rüzgar türbininin görünümü.

Resim 3.1’ de görüldüğü gibi sistem bir adet rüzgar türbini ve 3 adet güneş paneli ile enerji üretimi yapmaktadır. Sistemin ürettiği enerji Watt cinsinden sürekli kayıt altına alınarak her iki sistem arasındaki verimlilik değerlendirilmiştir. Sistemin veri kayıtları kimi zaman Matlab üzerinden kimi zaman ise ölçü aletleri ile yapılmıştır. Sabit bir yükü besleyen her iki sistem için veri kayıtları esnasında aküyü ne kadar şarj ettiği, akü üzerinden ne kadar yük beslenebildiği, aküyü şarj etmeden sabit yükün altında sistemin ne kadar yükü karşıladığı ayrıca ölçülmüştür. Şekilde klasik hibrit güç üretim sistemi ile Arduino tabanlı hibrit güç üretim sisteminin çalışma mantığını gösteren enerji akış diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda da görüldüğü üzere klasik sistemler aküyü şarj ederek yükü beslemek zorundadır. Çünkü akü ile yükün arasında karar verici bir sistem bulunmamaktadır. Aslında literatürde bu tarz çalışmaların yanısıra mikrodenetleyicilerle ya da programlanabilir lojik kontrol üniteleri ile akü beslenmeden yükü besleme olasılığının olduğu çalışmalar mevcuttur. Ancak bulanık mantık kontrolör ile bu kontrol sistemini tasarlayan çalışmalar literatürde az görülmektedir. Bunların içerisinde bu problem durumunu gerçek zamanlı olarak çözecek sistemler bulunmamaktadır. Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolörlü hibrit güç üretim sistemi kısmında ise sistem yükün talep durumunu da bulanık mantığın kural tablolarına

kaydetmiş ve güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, akü seviyesi, yükün talebi parametrelerini değerlendirerek aşağıdaki enerji akışını gerçekleştirmektedir.

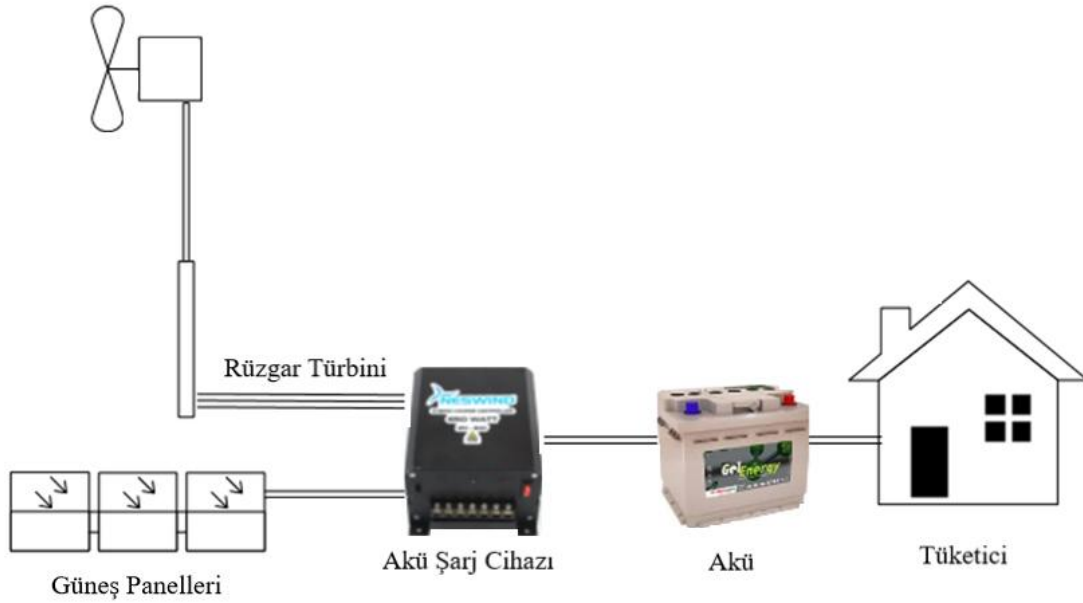


Şekil 3.1 Sistemi kontrol eden algoritma.

Enerji akışı diyagramına göre güneş ya da rüzgar yükü karşıladığı durumlarda sistem aküyü beslemeden bu yükü karşılamaktadır. Sistemde kullanılan akülerin yaklaşık ömürleri 4500-4700 defa dolup boşalması olduğu düşünüldüğünde bu kural tabloları ile akü ömürleri uzamaktadır. Kural tablolarının geniş kullanılabilirlikleri vasıtasıyla istenilen kurallar yazılabilmekte ve sisteme istenildiği kadar müdahale edilebilmektedir.

3.1.1 Şebekeden Bağımsız Klasik Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sistemi

Şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminin klasik tasarımında rüzgar ve güneş panellerinden üretilen enerji hibrit güç kontrol devresine gelmektedir. Oradan da aküyü şarj ederek yükü beslemektedir. Yükün enerji ihtiyacını karşılamak için akü her koşulda dolması gerekmektedir. Sistemin kurulumunu gösteren blok şema aşağıdaki gibidir. Sistemde yük bilgisi olarak 12 V ve 50 W değerinde araba far lambaları kullanılmıştır.



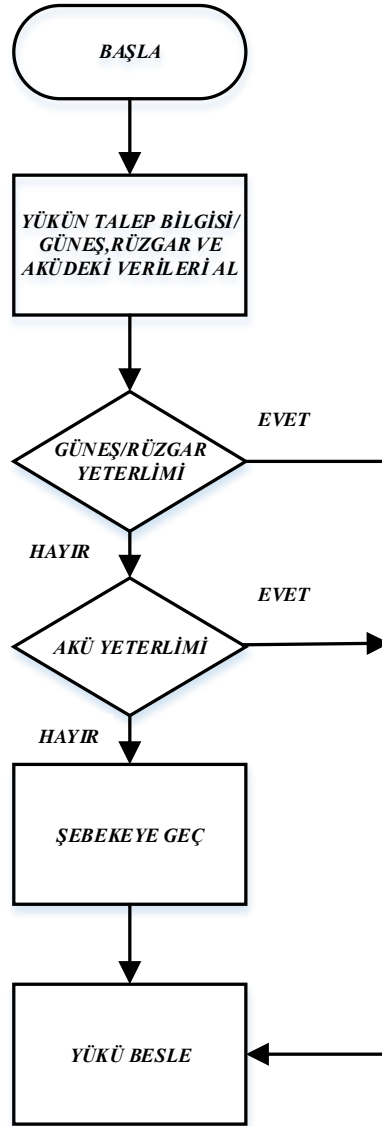
Şekil 3.2 Klasik hibrit rüzgâr-güneş enerji üretim sisteminin kurulumunu gösteren şema.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi klasik sistemin rüzgâr ya da güneş enerjisinin doğrudan yükü beslediği ihtimali yoktur. Aşağıda tasarlanan Arduino tabanlı hibrit rüzgâr güneş bulanık mantık kontrolör şemasında ise veriler sürekli Matlab üzerinden bulanık mantığa aktarılmaktadır. Buna göre bulanık mantığın çıkış fonksiyonu belirlenmekte ve Arduino üzerinden röle grubu kontaklarını değiştirmektedir.

3.1.2 Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Bulanık Mantık ile Enerji Akışı Kontrolü

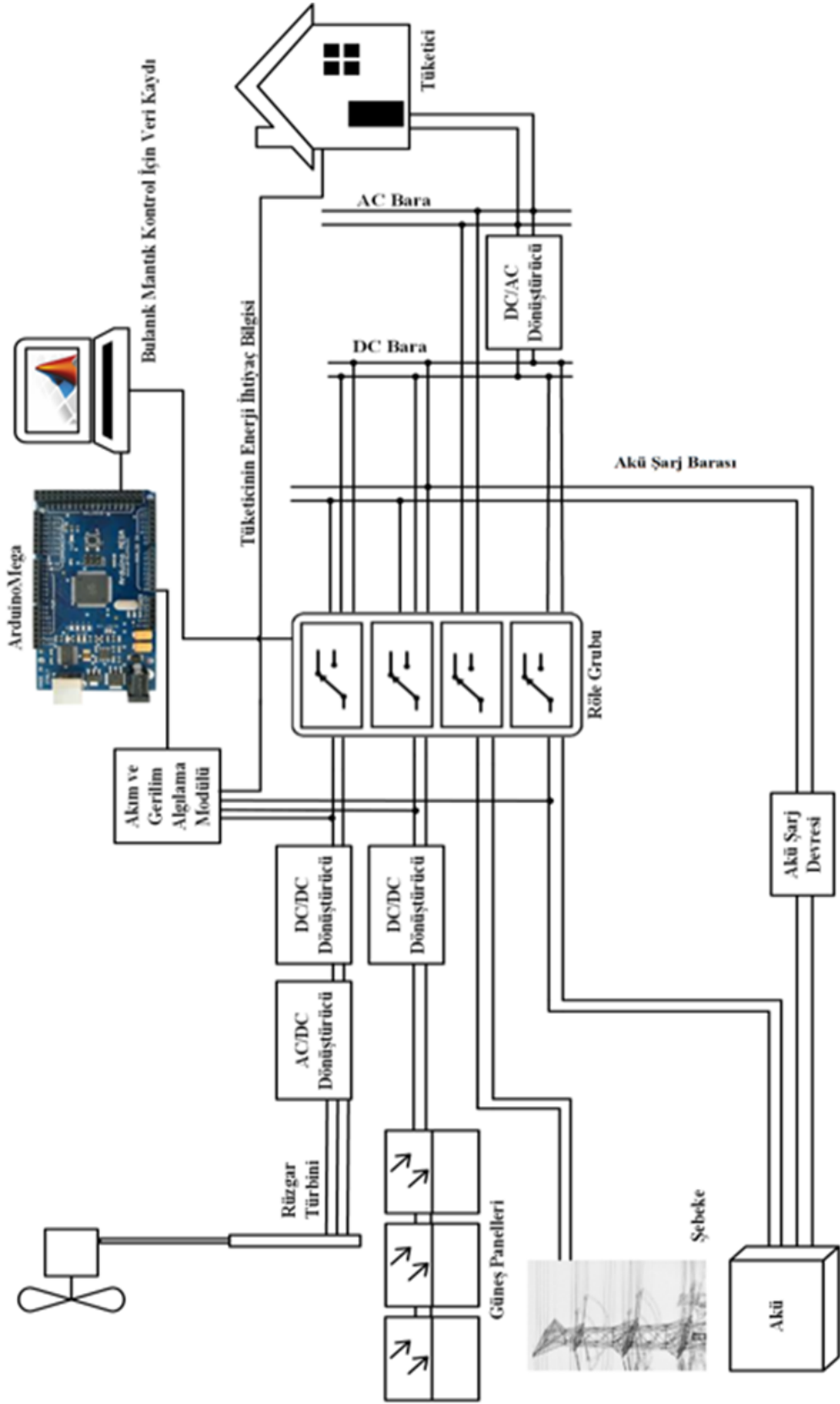
Şebekeden bağımsız hibrit rüzgâr-güneş enerji üretim sisteminin Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile kontrol edildiği tasarımda ise sistemin kontrol şekli değiştirilerek çalışma kapsamında alınan veriler sürekli kaydedilmektedir. Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile yapılan kontrol mekanizması Matlab ile haberleşme sağlayarak çalışmaktadır. Bulanık mantık kural tablolarının istenildiği gibi değiştirilerek kullanılabilmesi sistemin kontrolü üzerinde her türlü oynamalara imkân sağlamıştır. Bu sebeple sistem farklı çalışma koşulları karşısında kararlı çalışabilme imkânı bulabilmiştir.

Bu tasarımda veriler değerlendirilerek röle grubuna komut verilmektedir. Sistemin tamamı şekil deki algoritmada gösterildiği gibi çalışmaktadır.



Şekil 3.3 Arduino tabanlı şebekeden bağımsız hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin enerji akış diyagramı.

Şekil 3.3'te hibrit güç üretim sisteminin bulanık mantık ile kontrol edilirken uygulanan enerji akış diyagramı görülmektedir. Sistem yukarıda olduğu gibi farklı tasarımlara açıktır. Bulanık mantık kural tablolarını ya da üyelik fonksiyonun sınır değerleri değiştirilerek farklı tasarımlar yapmak mümkün olmaktadır. Aşağıda Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile yapılan kontrol mekanizmasının çalışmasını gösterir blok diyagram şekilde verilmiştir. Sistemin genel çalışma şekli aşağıdaki blok diyagramın da da görülmektedir.



Şekil 3.4 Şebekeden bağımsız hibrit rüzgâr-güneş enerji üretim sisteminin bulanık mantık ile çalışma diyagramı.

Şekil 3.4’de ise sistemin çalışmasını gösteren blok diyagram gösterilmiştir. Bu diyagramda da görüldüğü gibi sistem bulanık mantık kural tabloları ile kontrol edilmektedir. Buna göre tüketicinin ihtiyacı rüzgâr ya da güneş ile karşılanıyorsa ikisi ya da ikisinden biri, karşılanamıyorsa akü, akünün de yetersiz olduğu durumlarda şebeke devreye girmektedir. Sistem bir bilgisayara sürekli veri aktarımı yapmaktadır. Aktarılan veriler kaydedilmektedir.

3.2 Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Bileşenleri ve Özellikleri

Şekillerde de görüldüğü gibi sistemin her iki kontrol mekanizmalarında rüzgar türbinleri, güneş panelleri ve akü ortak olarak kullanılmıştır. Klasik sistemde enerji miktarını ölçmek için ölçü aletleri kullanılmakta Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör sisteminde ise enerji miktarları akım-gerilim sensörleri aracılığıyla algılanmaktadır.

3.2.1. Şebekeden Bağımsız Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sisteminin Donanımsal Bileşenleri ve Özellikleri

Şebekeden bağımsız hibrit rüzgâr-güneş ve akü grubundan oluşan hibrit güç üretim sistemi, 80 W gücünde 24 V’luk 3 adet monokristal güneş paneli ve rüzgârın yönüne göre 360° dönebilen 300 W’lık 3 fazlı sabit mıknatıslı senkron generatörlü Neswind marka rüzgâr türbini ve bir adet 12 V 130 Ah’lik aküden oluşmaktadır. Sistemin kontrolünü sağlamak amacıyla Matlab programının sürekli çalışması ve bulanık mantık kural tablolarının sistemi kontrol etmesi için sabit bir bilgisayar bulunmalıdır.

3.2.1.1 Rüzgâr türbini

Hibrit enerji üretim sistemi temel bileşenlerinden Nesvind marka N-300 model rüzgâr türbini kullanılmıştır. 300 W nominal gücüne sahip rüzgâr türbinin çıkışı 3 faz 24 V AC’dir. Rüzgâr türbininin devreye girme rüzgâr hızı 2,8 m/s maksimum çalışma rüzgâr hızı ise 45 m/s’dir. Rüzgâr türbini 45 m/s hızda frenleme işlemini 1 dk. süre ile gerçekleştiren sabit mıknatıslı bir generatöre sahiptir. Şekilde de görüldüğü gibi rotor

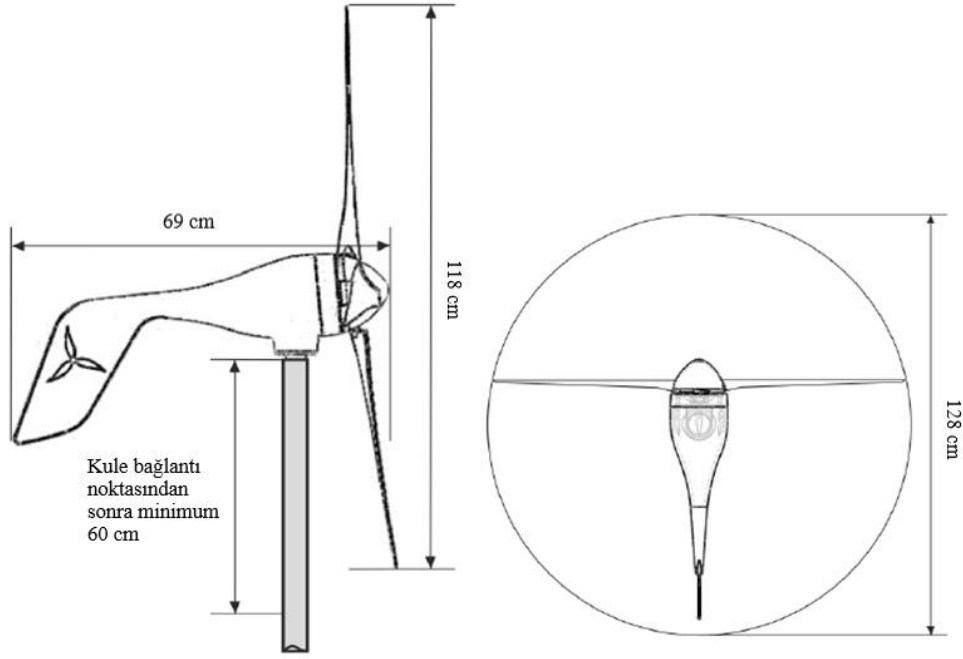
kanat çapı 1,18 m olan rüzgâr türbininin rotor hız kontrolü mekanik olarak gerçekleştirilmektedir.



Resim 3.2 Sistemde kullanılan rüzgâr türbininin görünümü.

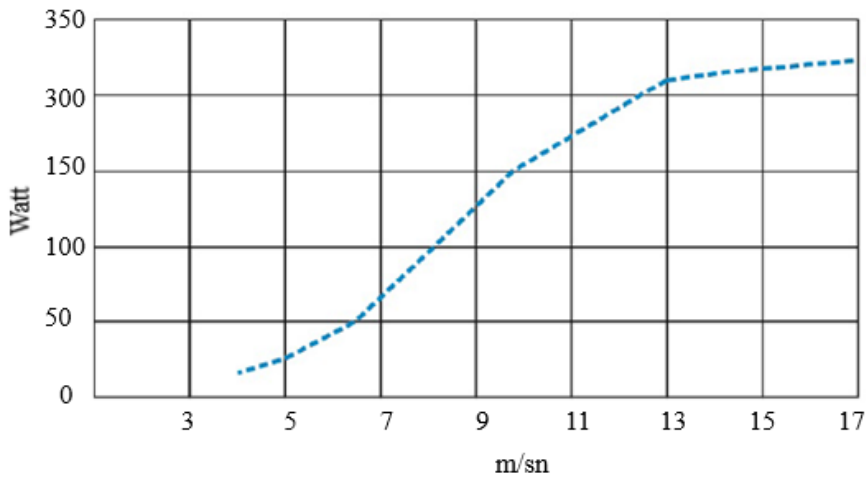
Resim 3.2’ de şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminde kullanılan rüzgâr türbinin kurulumu görülmektedir. Nesvind Marka olan türbin 6 m’lik demir boru ile kullanılmıştır. Gerekli güvenlik şartlarının oluşabilmesi için üç yerinden bağlanmış olup rüzgârın en fazla olduğu konuma kurulumu gerçekleştirilmiştir.

Bütün gövde, kuyruk, şapka alüminyum alaşımdan imal edilmiş olan bu türbin korozyona karşı mukavemetli ve aynı zamanda da ağırlığı 7 kg olması nedeniyle de gayet hafiftir. Magnezyum içerikli alüminyum sayesinde statorun oluşturduğu ısıyı en iyi şekilde dağıtıp soğuma sağlamaktadır.



Şekil 3.5 Rüzgâr türbine ait bazı ölçüler.

Normal çalışma şartları altında yaklaşık 20 yıl ömrü olan bu türbinlerin kanatları tam enjeksiyon karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) malzemeden imal edilerek en az titreşim imkanı olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.4’te hibrit enerji üretim sisteminde kullanılan rüzgâr türbinine ait rüzgâr hızına bağlı olarak güç eğrisi gösterilmiştir. Kabloların 360 derece dönmesini sağlamak için kullanılan kömürlü (aşınabilen) aktarım organının yerine, uçak ve gelişmiş makine sanayisinde kullanılan slip ring mevcuttur. Slip ring 4 kablolu olup bir kablosu topraklama için ayrılmıştır.



Şekil 3.6 Neswind N-300 rüzgâr türbini hız-güç eğrisi.

Rüzgâr türbinin teknik özelliklerini aşağıda özetleyecek olursak:

| | |
|------------------------|----------------------------|
| Model: | Neswind N-300 |
| Ağırlık: | 7 kg |
| Rotor Çapı: | 118 cm |
| Rüzgâr Başlangıç Hızı: | 2.8 m/s |
| Maksimum Rüzgâr Hızı: | 45 m/s |
| Ortalama Güç: | 200 watt |
| Maksimum Hız: | 300 watt-12.5 m/s |
| Sistem Voltajı: | 12 V veya 24 V (Opsiyonel) |

3.2.1.2 Fotovoltaik panel

Günümüzde güneş enerjisi sistemleri; teknoloji, maliyet ve çevresel etkiler bakımından yaygın bir şekilde kullanım olanağı bulmaktadır. Güneş pilleri, güneş ışınlarını doğrudan elektriğe dönüştürebilen, hareketli mekanik parçaları olmayan, bakımı kolay ve ömürleri uzun olan elektronik sistemlerdir. Güneş pilleri, genel olarak yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştüren yarı iletken maddelerden tasarımlanır.

Bu çalışmada, 3 adet 80 W gücünde hücrelerinin verimi %18 olan Econess marka EN80P model fotovoltaik panel kullanılmıştır. Bu panellerin her biri 72 hücreden oluşmakta olup polikristal türündedir. Kullanılan panel Resim 3.3'te verilmiştir. 17,64 V DC çalışma gerilimine sahip bu panellerin maksimum çalışma gerilimi 22,21 V, maksimum güç akımı 4,61 A ve kesme akımı ise 4,87 A'dir.



Resim 3.3 80 watt Econess EN80P fotovoltaik panel.

Resim 3.3'te sistemde kullanılan 80 W Econess EN80P fotovoltaik panel görülmektedir. Güneş pillerinin her bir hücrenin alanı 100 cm^2 , kalınlığı ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Genellikler yüzeyleri; kare, dikdörtgen ya da daire şeklinde tasarlanmaktadır. Güneş enerjisi, güneş pillerinin yapısına bağlı olarak verimleri değişmektedir. Bu verim genellikle %5 ile %20 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Verimi düşük olan güneş pilleri genellikle çok ekonomik değildir. Amortisman oranı düşük olduğu için yatırıma elverişli değildir. Güneş pilleri laboratuvar ortamlarında %10-%30 arasındadır. Uygulamalarda ise bu oran %5-%20 arasında değişir. Uygulamada coğrafi konum, hava sıcaklığı gibi parametreler verimi düşürmektedir. Uygulamada verimi %15'in üzerinde olan güneş pilleri verimli sayılmakta ve yatırım yapılırken tercih edilebilmektedir. Güneş pilleri birbirlerine paralel ve seri bağlanarak enerjileri arttırılabilir. Bunun genellikle yüksek akım ya da yüksek gerilime ihtiyaç olunan yerlerde uygulandığı bilinmektedir. Böylece Megawatt mertebelerinde enerji üretilebilir ve daha fonksiyonel hale gelebilmektedir (Öztürk 2012).

3.2.1.3 Arduino

Günümüzde teknoloji hızla gelişerek insan hayatı giderek kontrol ve denetlenmektedir. Elimizdeki cep telefonlarından arabalarımıza, buzdolabından televizyonlara kadar her şey insan kontrolü altında tutulmak istenmektedir. Bu akıllı cihazların kalbi mikrodenetleyicilerdir. Bu mikrodenetleyicilerin başında da Arduino bulunmaktadır. Arduino bir ana mikrodenetleyiciye sahip olan ve kontrol elemanlarını bağlayarak çalıştırılan elektronik karttır (Delebe 2015).

Mikrodenetleyiciler yüksek hız ve kararlılıkta işlem yapabilen ve analog-dijital sinyalleri algılayabilen elemanlardır. Arduino gelişen teknolojiye ayak uydurabilmekte ve değişik alanlarda kullanılabilen mikrodenetleyicilerdir (Özcan vd. 2009).

Arduino özellikle Elektrik-Elektronik uygulamaları da popüler olmaktadır. Sağladığı kolaylıklar birçok uygulayıcı için önem arz etmektedir. Arduino' nun popüler olma sebepleri en temel anlamda aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Windows, Linux ve Mac gibi platformlarda kolaylıkla çalışabilmesi,
- Geliştirme ortamının ve sürücülerinin kurulumunun kolay olması,
- Geniş kütüphane desteği sunması ve yazılımlarla desteklemesi,
- Birlikte çalışabileceği birçok ek donanıma sahip olması,
- Benzer mikrodenetleyicilere göre fiyatı oldukça uygun olması,
- Açık kaynaklı olduğu için isteyen herkesin rahatlıkla kullanabilmesi,
- Arkasında büyük bir topluluk desteği olması üstün özellikleridir (Taşdemir 2013, Çamoğlu 2014).

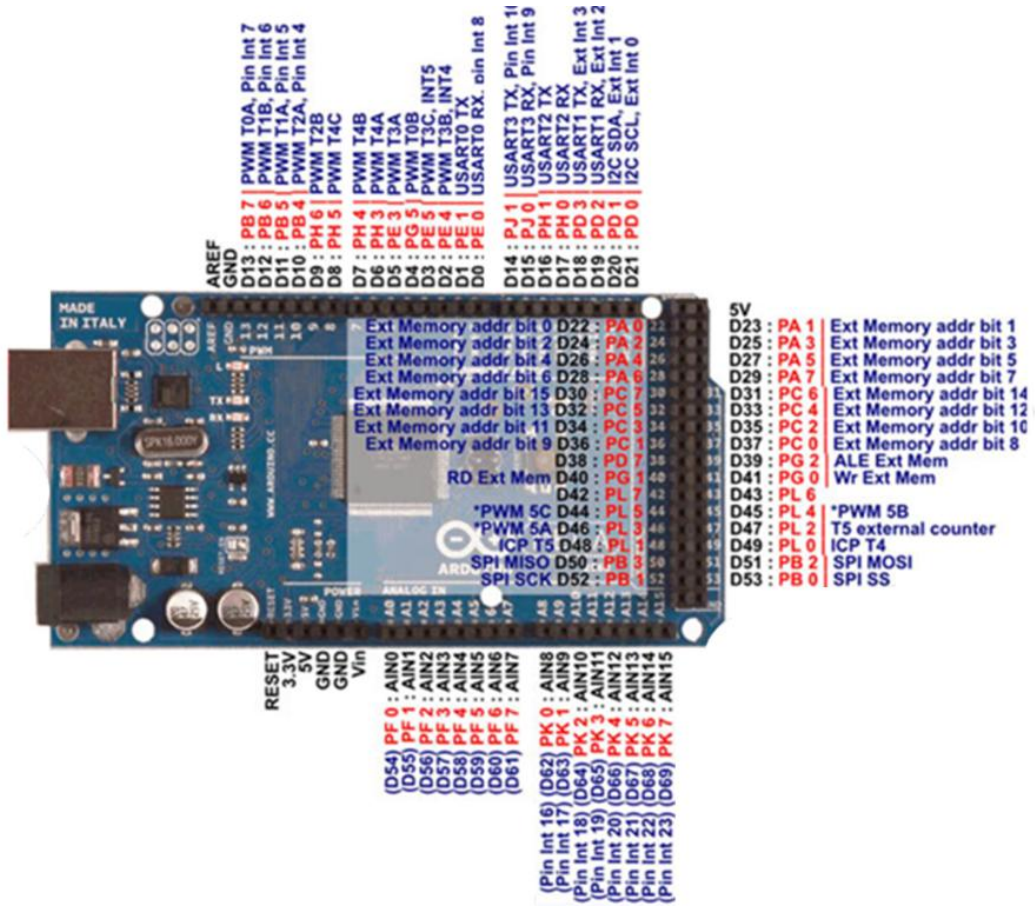
Sistemde kullanılan Arduino Mega 2560 ise Atmega 2560 temelli bir borddur. 54 adet giriş-çıkış pini olan Arduino Mega 2560'nun 15 adet PWM çıkışı bulunmaktadır. Ayrıca 16 adet analog girişe sahip olan bu denetleyicide, bir adet 16 MHz kristal osilatör, USB bağlantısı, güç giriş jakı, ICSP başlığı ve reset butonu bulunmaktadır (Doğan 2015). Arduino Mega 2560 bir mikrodenetleyiciyi desteklemek için gerekli bütün bileşenlere sahiptir (İnt.Kyn.22).



Resim 3.4 Arduino Mega 2560 kartının ön-arka görünümü.

Arduino Mega 2560 Teknik Özellikleri aşağıdaki gibidir.

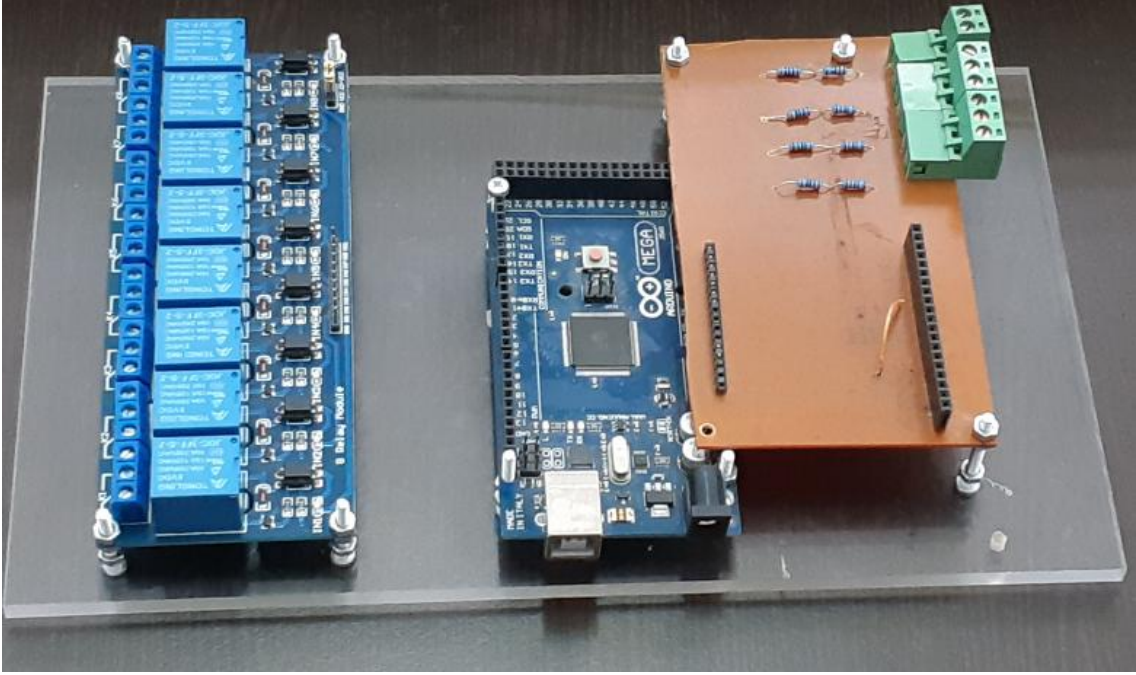
- 5 V DC giriş gerilimine sahiptir.
 - 54 adet giriş çıkış pini bulunmaktadır.
 - 15 adet PWM çıkışı bulunmaktadır.
 - 16 adet analog giriş pini bulunmaktadır.
 - Giriş / çıkış başına 40 mA DC akım düşmektedir.
 - Geniş sensör ağı ile çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.
 - 4 Kb'lık bir EEPROM'a sahiptir.
 - 16 MHz'lik bir saat frekansına sahiptir.
 - 256 bk flash hafızaya sahiptir.
 - 2,1 mm ölçüsünde güç girişine sahiptir.
 - Farklı uygulamalarda kullanılabilmesi için 3,3 V seçeneği de mevcuttur.
- (İnt.Kyn.23, Sevinç 2015, Kanat 2015).



Resim 3.5 Arduino Mega 2560 kartının giriş çıkış pinleri.

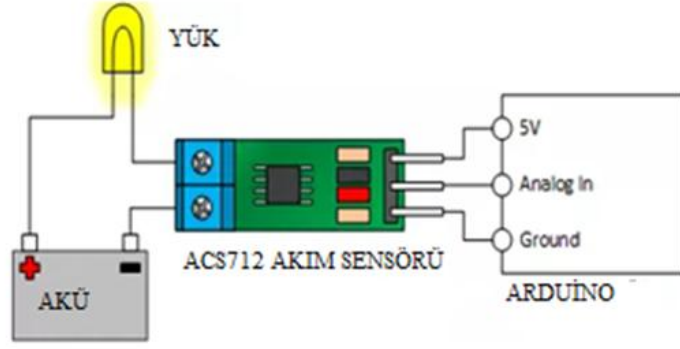
Resim 3.5’de Arduino Mega’nın giriş çıkış pinleri görünmektedir. Arduino Mega’nın en önemli özelliği gerilim uçlarının ve GND’nin her bölgede bulunmasıdır. Bu özellik Arduino mega ile yapılan tasarımları kolaylaştırmakta ve kullanılan sistemlere fonksiyonellik katmaktadır. Arduino Mega 2560 bir USB kablosu ile bilgisayar bağlanarak çalıştırılabileceği gibi harici bir güç kaynağı ya da pille de çalışabilmektedir.

ACS712T ELC Akım Sensörü: ACS712T akım sensörü Allegro firması tarafından akım ölçmek için geliştirilmiştir. Farklı kategorilerde ve akım seviyelerinde ölçüm yapabilen türleri mevcuttur. Bunların en çok kullanılanları 5, 20 ve 30 A’lik olanıdır. ACS712T ELC akım sensörünün çalışması için 5 V’luk giriş gerilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sensörün çalışma koşulları aşağıdaki şekilde görülmektedir. Sensörün çıkışında kullanılan kapasite çıkış sinyalinin filtrelemeye yaramaktadır (İnt.Kyn.24).

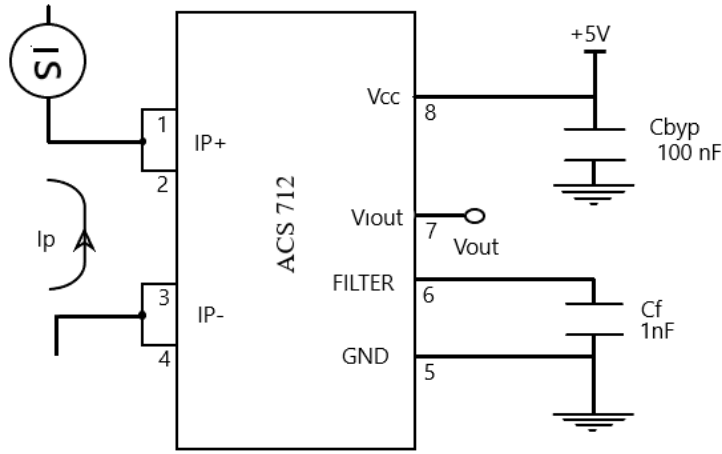


Resim 3.6 Şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminin akım gerilim algılama, Matlab haberleşme ve röle grubu modülü.

Sensör hem AC hem de DC akım ölçebilmektedir. Sensörün IP+ ve IP- uçlarına ölçümü yapılmak istenen devre-eleman bağlanarak çalışmaktadır. Bu sensör kullanılırken en çok dikkat edilmesi gereken nokta girişinden akım akmazken çıkışında 2,5 V görülmesidir. Akım akmaya başladığında ise sensör her bir amper için 185 mV üretmektedir. Bu değer sensörün türüne göre değişebilmektedir. Örneğin 4 A'lık bir akım ölçüldüğünde sensörün çıkışında $(2,5+0,185*4)=3,24$ V görülmektedir. Burada sensör kullanımında akımın pozitiften negatife doğru olmasına da dikkat edilmelidir. Aksi halde bu gerilim değeri düşer ve ölçüm hatası meydana gelir. Bu da kontrolü yapılan sistem açısından tehlikeli sayılmaktadır.



Şekil 3.7 ACS712T akım sensörü ve Arduino bağlantı şekli (İnt.Kyn.25).



Şekil 3.8 ACS712T akım sensörü devresi (İnt.Kyn.26).

ACS712T akım sensöründe 80 KHz lik bir bant aralığında çalışmakta olup bu bant aralığını harici kondansatörler kullanarak değiştirmek mevcuttur (Kanat 2015).

3.2.1.4 DC-DC Dönüştürücü (Konvertör)

Hibrit güç üretim sisteminde rüzgâr türbinleri ve güneş panellerinden gelen elektrik enerjisi farklı zamanlarda farklı ve değişken gerilim değerleri vermesi durumuna karşılık, üretilen elektrik enerjisini sabit bir gerilim çıkışı ile birlikte yüke sunmaktadır. Sistemdeki gerilimlerin zaman değişikliğine göre düşük ya da yüksek olmasından dolayı giriş değerleri geniş aralığa sahip olan düşürücü-yükseltici DC-DC dönüştürücüler kullanılmıştır. 100 W tek giriş 3 çıkışlı olan DC-DC konvertör Mervesan marka seçilmiştir.



Resim 3.7 DC-DC konvertör.

Sistemde kullanılan DC-DC konvertörün verimi %84'dür. Yani sistemde yükün kullandığı her 100 W'ın 16 W'ı kayıptır. Bu konvertörden daha kaliteli konvertörle sistemdeki kayıp azaltılabilir.

3.2.1.5 Akü

Akü kapasitesi saat olarak yükü besleyen elektrik miktarı olarak tanımlanabilir. Akü kapasitesi kullanılan plaka alanlarına, plaka âdetine, plakalar arasındaki PE malzemelerin kalitesine bağlıdır. Akü kapasitesi amper saat (A/H) olarak üzerlerine eklenmiştir. Akü markası yanında birde 12V 130 A/H şeklinde tanımlamalar bulunur. İlk yazılan 12 V akünün gerilimini, 130 Ah ise akünün 1 saatte 130 A akım üreteceğini ifade eder. Diğer bir deyişle akü 12 V ile 10 A yüke akım 13 saat boyunca verebilir. Uygulamada ise bu mümkün olmaz. Akü kalitesine göre çekilen akım değişmektedir. Dolu bir akü ölçüldüğünde 13 V civarında gerilim ölçülür. Aküden yüke akım akmaya başladıktan sonra gerilim akü gerilim değeri düşmeye başlar. Bu gerilim değeri 11,5 V değerine geldiğinde kesilir. Böylece akünün ömrünü artırmış oluruz. 130 A'lık bir aküden maksimum 13 A akım çekilmelidir. Daha yüksek miktarda akım çekilmesi akünün iç direncini artırarak verebileceği akımı azaltacaktır (MEB 2017).



Resim 3.8 Hibrit Güç üretim sisteminde kullanılan akü.

Resim 3.8’de hibrit güç üretim sisteminde kullanılan akü görülmektedir. Sistemde akü olarak 12 V 130 Ah akü kullanılmıştır. Sistemde kullanılan akü kapasitesinin %25 lik kısmını emniyet için kullanmamaktadır. Buna göre aşağıdaki formülden sistemde kullanılan akünün kaç Ah kullanılacağı görülmektedir. 130 Ah olan akünün kullanılacak kısmı 91 Ah’dır. Bu rakama göre sistemde kullanılan akü tam olarak dolu olduğunda 12 V 4.17 A’lik yükü 21,8 saat besleyebilmektedir. Kullanılan akü özellik olarak 4500-4700 defa doldurup boşaltılabilir. Tasarlanan sistemin aküyü şarj etmeden yükü beslemesi sayesinde ekonomik ömrüne katkı sağlanmaktadır.

3.2.1 Hibrit Güç Üretim Sisteminin Yazılımsal Bileşenleri ve Özellikleri

Şebekeden bağımsız hibrit üç üretim sisteminde Matlab yazılımı ile bulanık mantık kural tabloları kullanılmıştır. Bunun yanısıra haberleşmedeki veri alışverişini sağlaması için Arduino IO portları aktif bir şekilde kullanılmaktadır.

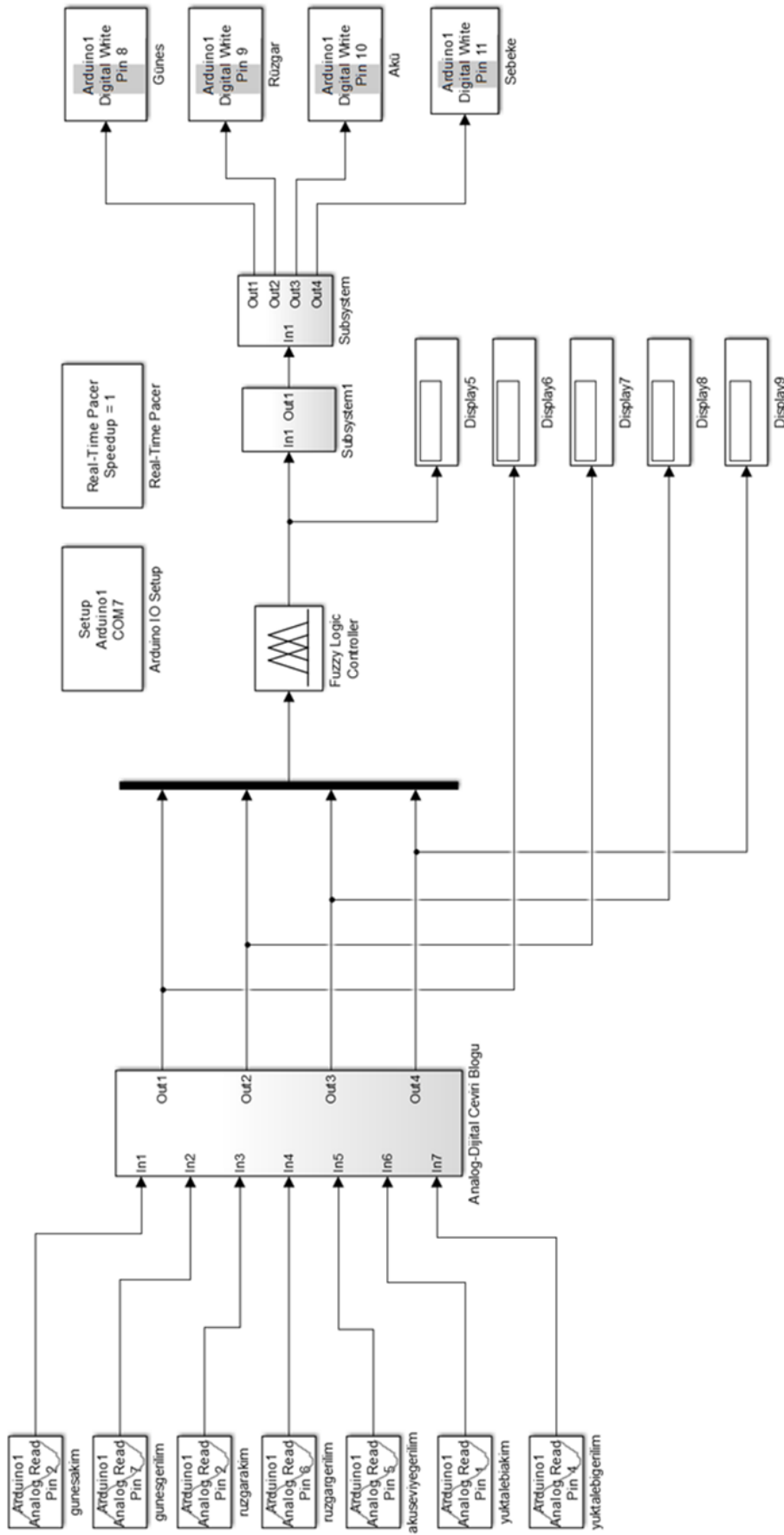
3.2.1.1 Bulanık Denetim

1965 yılında California Berkeley Üniversitesi’nde görev yapmakta olan Lütfi Aliasker Zade’ nin yaptığı çalışmalarını yayınlaması ile duyurulmuştur (Abraham 2001). Avrupa’da ilk olarak 1970’ li yıllarda endüstriyel uygulamaları görülmektedir. İlk çalışmalar arasında İngiltere’de Ebrahim Mamdani tarafından buhar makinelerini

kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır (Baykal and Beyan 2004). Daha sonra Almanya'da Hans Zimmermann tarafından destekleyici sistemlerin kararı için kullanılmıştır (Sreedher 2005). 1980 yılında çimento firmalarının denetiminde bulanık kontrol kullanılmıştır. 1983 yılında ise Fuji Elektrik firması tarafından su arıtma sistemleri için bulanık denetim başarı ile kullanılmıştır. 1987'de IFSA kongresinde ilk bulanık mantık kontrol denetleyici sergilenmiş ve olumlu yönde ilgi görmüştür. Bu denetimler 1984 yılında araştırmalara başlayan Omron şirketinin 700'den fazla uygulamalarını içermiştir (Elmas 2010 – Elmas 2003). 1987'li yıllarda Hitachi firması alanda daha ileri giderek elektronik ortamlar tasarlamış ve bulanık denetim daha aktif kullanılmaya başlamıştır. Firma Sendai metrosunda Bulanık mantık temelli otomatik frenleme yapabilen tren geliştirmiştir. Geliştirilen tren istenen konumda durabilmekte diğerlerine göre üç kat daha kararlı olarak tasarlanmıştır. Ayrıca yakıt olarak diğerlerine göre daha avantajlıdır (Baykal 2010).

Ortaya konulan çalışmalardan sonra Bulanık Mantık çalışmaları uluslararası çalışma ortamlarında sergilenmiş ve giderek popüler hale gelmiştir. 1989 yılında aralarında IBM, Toshiba, Hitachi gibi markalarında bulunduğu Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering laboratuvarları kurularak Bulanık denetimleri sanayi alanında daha fazla kullanıma açılmıştır. Elektronik ve otomotiv sektöründe daha fazla kullanılmaya başlamıştır (İnt.Kyn.26). 1989 yılında Harumi şehrinde Omron firması tarafından tasarlanan Bulanık Sonuç Board ile bulanık denetim tasarımları daha kolay hale gelerek depolama, tekrar etme ve bulanık sonuçlarını elde etmek için bilgisayarlar tasarlanmıştır (Elmas 2010, Elmas 2003). Günümüzde Bulanık denetimin kullanımı da artmış, modelleme ve simülasyon alanlarında çalışmalar daha kararlı olarak devam etmektedir (Bingül 2006).

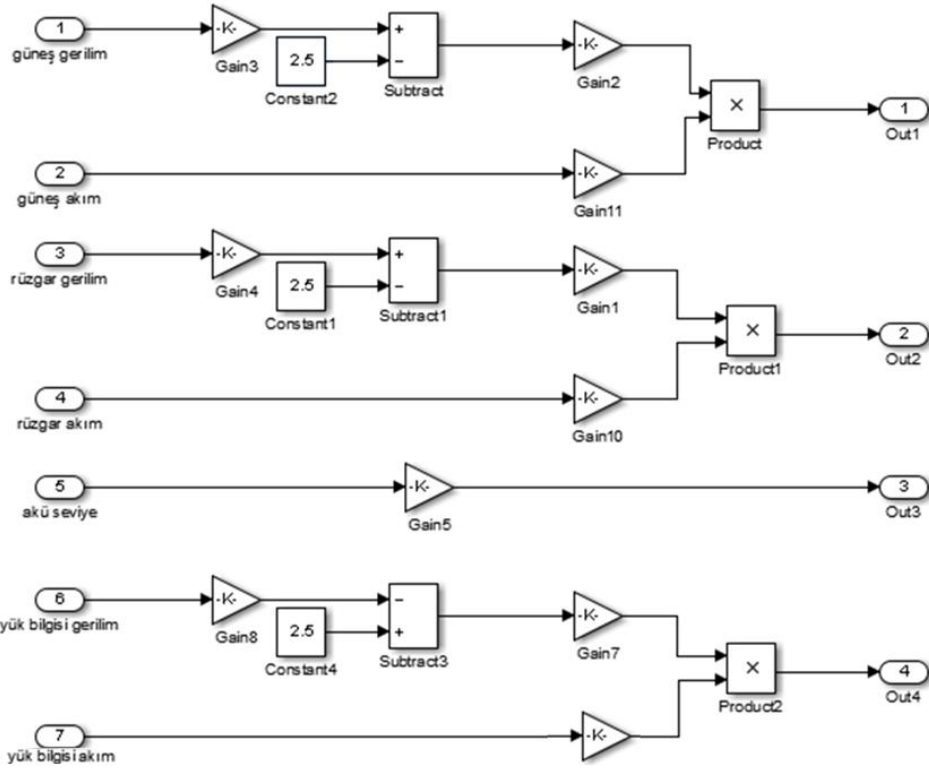
Hibrit güç üretim sisteminde enerji akışı sağlanırken bulanık mantık kural tabloları oluşturulmuştur. Oluşturulan kural tablolarına göre üyelik fonksiyonları sisteme girilmiş ve güç üretim sisteminin Matlab Simulink üzerinden kontrolü sağlanmıştır.



Şekil 3.9 Enerji akış kontrolü için bulanık mantık (fuzzy logic) kontrolör tasarımı.

Şekil 3.9’da sistemin Matlab Simulink modeli görülmektedir. Sistemi kontrol etmek için bulanık mantık kontrolör dizaynı 4 giriş 1 çıkış olarak tasarlanmıştır. Girişler güneş panellerinden gelen güç bilgisi, rüzgâr türbininden gelen güç bilgisi, akü seviyesini gösteren yük bilgisi ve yükün talebini gösteren yük bilgisidir. Bu giriş verileri doğrultusunda aşağıdaki enerji akışı gerçekleştirilmek istenmektedir.

Sistem, öncelikle bütün verileri okuyarak bulanık mantık denetleyicinin karar vermesini sağlamaktadır. Buna göre güneş ve rüzgâr gücü, yükün bilgisi ve akü seviyesi Arduino tarafından Matlab Simulink modele gelmektedir. Bu veriler akım gerilim sensörleri aracılığıyla okunmakta ve sisteme analog veriler olarak aktarılmaktadır. Şekildeki model ile sisteme gelen bu analog verileri dijitale dönüştürülmektedir.



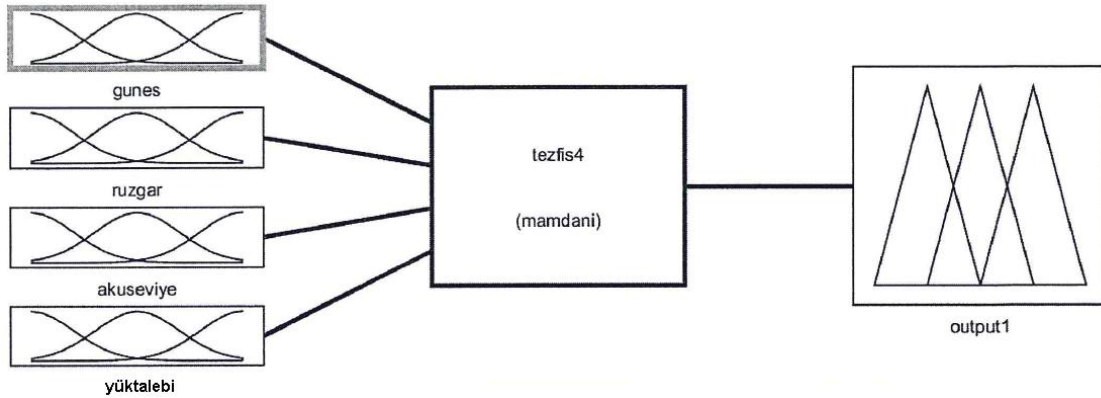
Şekil 3.10 Analog dijital çevirici bloğunun iç tasarımı.

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi sistemin Matlab Simulink modelinde Bulanık Mantık Kontrolü kullanılmıştır. Bulanık mantığın üyelik fonksiyonları 4 giriş ve 1 çıkış olarak tasarlanmıştır. Burada PV panellerinden elde edilen akım ve gerilim değerleri Arduino uyumlu ACS712 Akım sensörü ve gerilim sensörü vasıtasıyla belirlenmektedir. Bu değerler dijital olmasından dolayı sistemde Watt türünden görülmesini sağlamak

amacıyla modelde Analog- Dijital çevirici bloğu tasarlanmıştır. Bu blokta akım gerilim değerleri gerçek değerlerinde görülmesi sağlanmaktadır. Diğer bir deyişle 0-1023 değerinde çalışan sensörlerin akım okuyucularının 0-25 A ve gerilim okuyucularının ise 0-25 V olarak okuması sağlanmış ve sistemin kontrolü daha kolay sağlanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi ise aşağıdaki şekildedeki görüldüğü gibi giriş çıkış fonksiyonları ve üyelik fonksiyonları girilerek sistemin kararlılığı artırılmıştır.

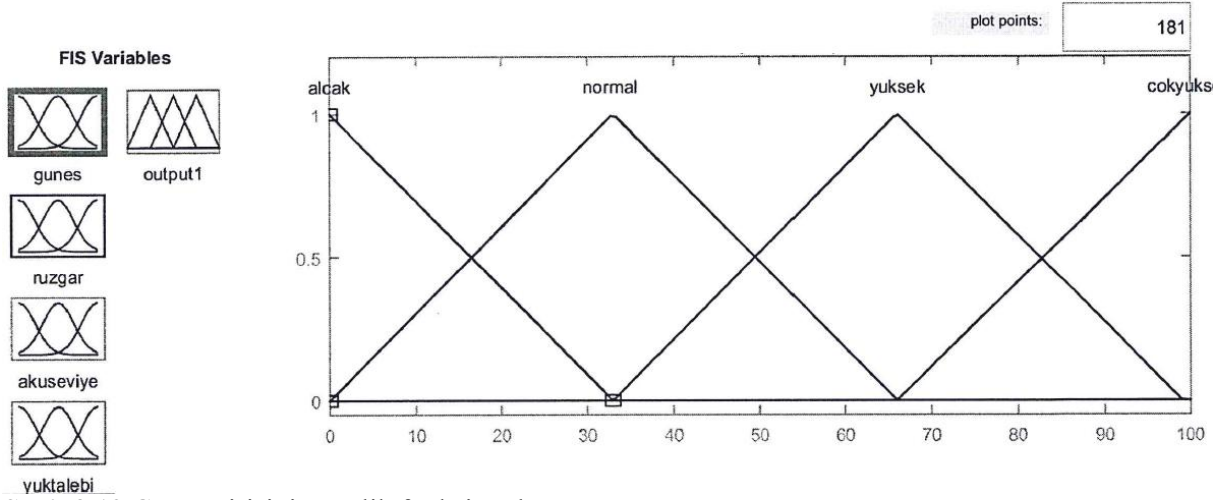
Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bulanık mantık kontrolörün üyelik fonksiyonları:

Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bulanık mantık yapısı aşağıda görülmektedir. Sistemde tasarlanan modelde Mamdani yöntemi kullanılmıştır. Sistemde 4 adet giriş üyelik fonksiyonu 1 adet ise çıkış fonksiyonu kullanılmıştır.



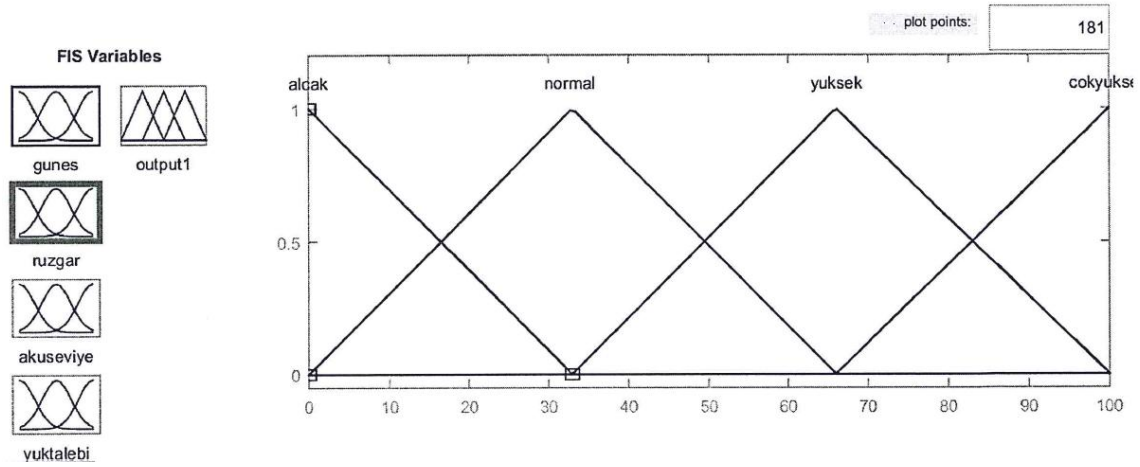
Şekil 3.11 Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bulanık mantık yapısı.

Giriş üyelik fonksiyonları sistemi kontrol eden sensörler aracılığıyla gelen gerilim ve akım değerlerine göre hareket eden değerlerdir. Çıkış üyelik fonksiyonları ise röle grubuna komut vererek sistemi kontrol etmesi amaçlanmıştır.



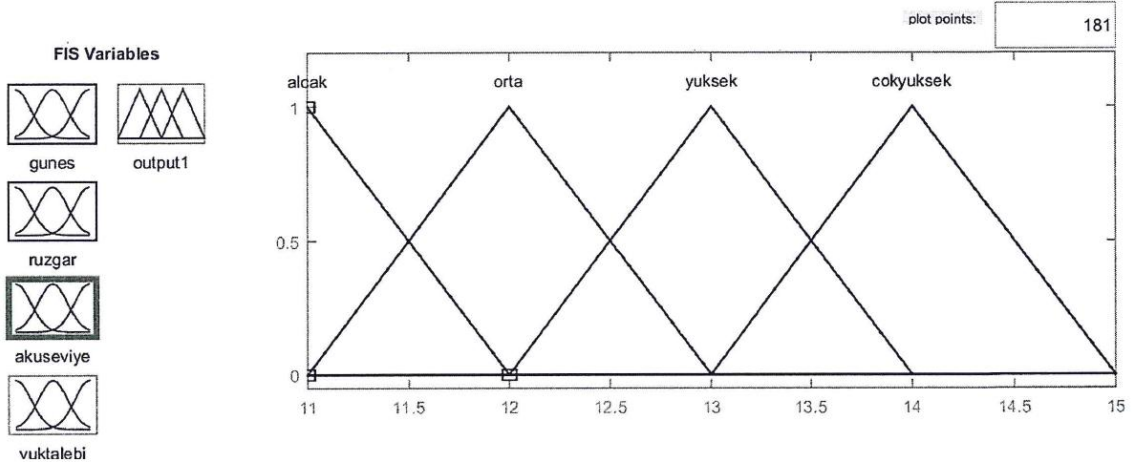
Şekil 3.12 Güneş girişinin üyelik fonksiyonları.

Şekil 3.12’de güneş enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu görülmektedir. Güneş panellerinden gelen enerjinin akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı ölçülmekte ve bu değerler birbirleri ile çarpılarak sistemin gücü elde edilmektedir. Bu giriş fonksiyonları 4 kademededen oluşmaktadır. Bunlar alçak, normal, yüksek ve çok yüksektir.



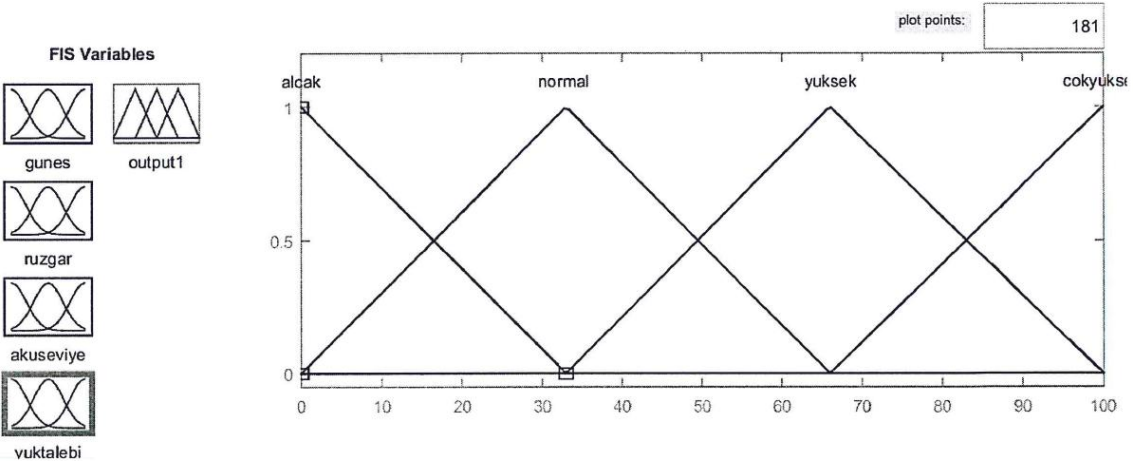
Şekil 3.13 Rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu.

Şekil 3.13’te rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu görülmektedir. Rüzgâr türbininden gelen akım ve gerilim değerleri çarpılması ve sensörler aracılığıyla sisteme aktarılması sonucu oluşmaktadır. Bu giriş fonksiyonları 4 kademededen oluşmaktadır. Bunlar alçak, normal, yüksek ve çok yüksektir. Rüzgâr enerjisi de en fazla 100 W olarak sisteme tanımlanmıştır. Bunun sebebi yapılan ölçümlerde sisteme en fazla 80 W civarında enerji üretmiş olmasıdır.



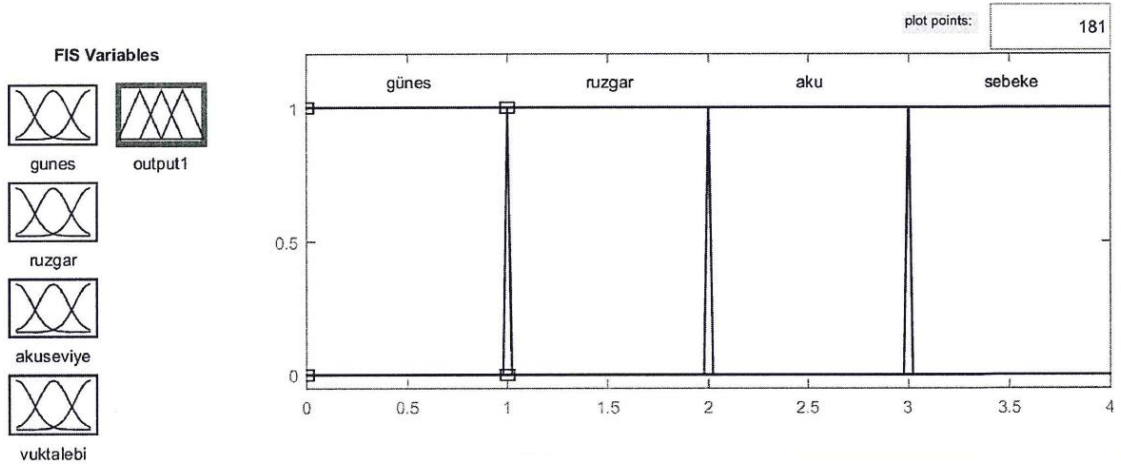
Şekil 3.14 Akü seviyesini gösteren giriş fonksiyonu.

Şekil 3.14’de hibrit güç üretim sisteminde kullanılan akünün seviyesini gösteren giriş fonksiyonu görülmektedir. Akü seviyesi gerilim bazında ölçülmektedir. Buna göre en düşük seviye 11 V, en yüksek seviye ise 15 V olarak belirtilmiştir. Sistemin çalışmasında akünün yeri önemlidir. Şekildeki algoritmadan da görüleceği gibi akü yenilenebilir kaynaklar yeterli olduğu takdirde enerji uygulamamaktadır. Ancak yenilenebilir kaynaklar yetersiz ise akü yükü beslemektedir.



Şekil 3.15 Yükün talebini gösteren giriş fonksiyonu.

Şekil 3.15’te yükün talebini gösteren giriş fonksiyonu görülmektedir. Buna göre sistemin çalışması bu fonksiyona bağlıdır. Yenilenebilir kaynaklar 100 W’a yakın enerji üretebildikleri için bu fonksiyonun maksimum noktası 100 W’tır. Minimum noktası ise 0’dır. Yani yükün talebinin olmamasıdır.



Şekil 3.16 Sistemin çıkışına ait üyelik fonksiyonu.

Hibrit güç üretim sisteminin çıkış üyelik fonksiyonu Şekil 3.16’da görüldüğü gibidir. Sistem 4 adet röle ile kontrol edileceğinden burada 4 üyelik fonksiyonu yeterlidir. Kullanılan röle kartında normalde açık kontakların yanında normalde kapalı kontaklarda kullanılmaktadır. Böylelikle sisteme 8 hareket yaptırılmış olmaktadır.

Kural Tablosu: Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan ve bulanık mantık yapısını kontrol eden kural tablosu şekilde görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Aslında bulanık mantığın her şeye uygulanabilirliğini sağlayan yapı kural tablosudur. Sistem için tasarlanan algoritma burada oluşturulmakta ve kontrol sistemine uyarlanmaktadır.


```

1. If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is sebeke) (1)
2. If (gunes is normal) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is gunes) (1)
3. If (gunes is cokyuksekk) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is gunes) (1)
4. If (gunes is yuksek) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is gunes) (1)
5. If (gunes is alcak) and (ruzgar is normal) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is ruzgar) (1)
6. If (gunes is alcak) and (ruzgar is cokyuksekk) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is ruzgar) (1)
7. If (gunes is alcak) and (ruzgar is yuksek) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is ruzgar) (1)
8. If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is orta) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is aku) (1)
9. If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is yuksek) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is aku) (1)
10. If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is cokyuksekk) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is aku) (1)
11. If (gunes is cokyuksekk) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is normal) then (output1 is gunes) (1)
12. If (gunes is cokyuksekk) and (ruzgar is normal) and (akuseviye is alcak) and (yuktalebi is normal) then (output1 is gunes) (1)
13. If (gunes is cokyuksekk) and (ruzgar is normal) and (akuseviye is orta) and (yuktalebi is normal) then (output1 is gunes) (1)
14. If (gunes is normal) and (ruzgar is cokyuksekk) and (akuseviye is orta) and (yuktalebi is normal) then (output1 is ruzgar) (1)
15. If (gunes is normal) and (ruzgar is normal) and (akuseviye is yuksek) and (yuktalebi is normal) then (output1 is aku) (1)

```

| If | and | and | and | Then |
|---|---|---|---|--|
| gunes is | ruzgar is | akuseviye is | yuktalebi is | output1 is |
| alcak normal cokyuksekk yuksek none | alcak normal cokyuksekk yuksek none | alcak orta yuksek cokyuksekk none | alcak normal yuksek cokyuksekk none | gunes ruzgar aku sebeke none |
| <input type="checkbox"/> not | <input type="checkbox"/> not | <input type="checkbox"/> not | <input type="checkbox"/> not | <input type="checkbox"/> not |

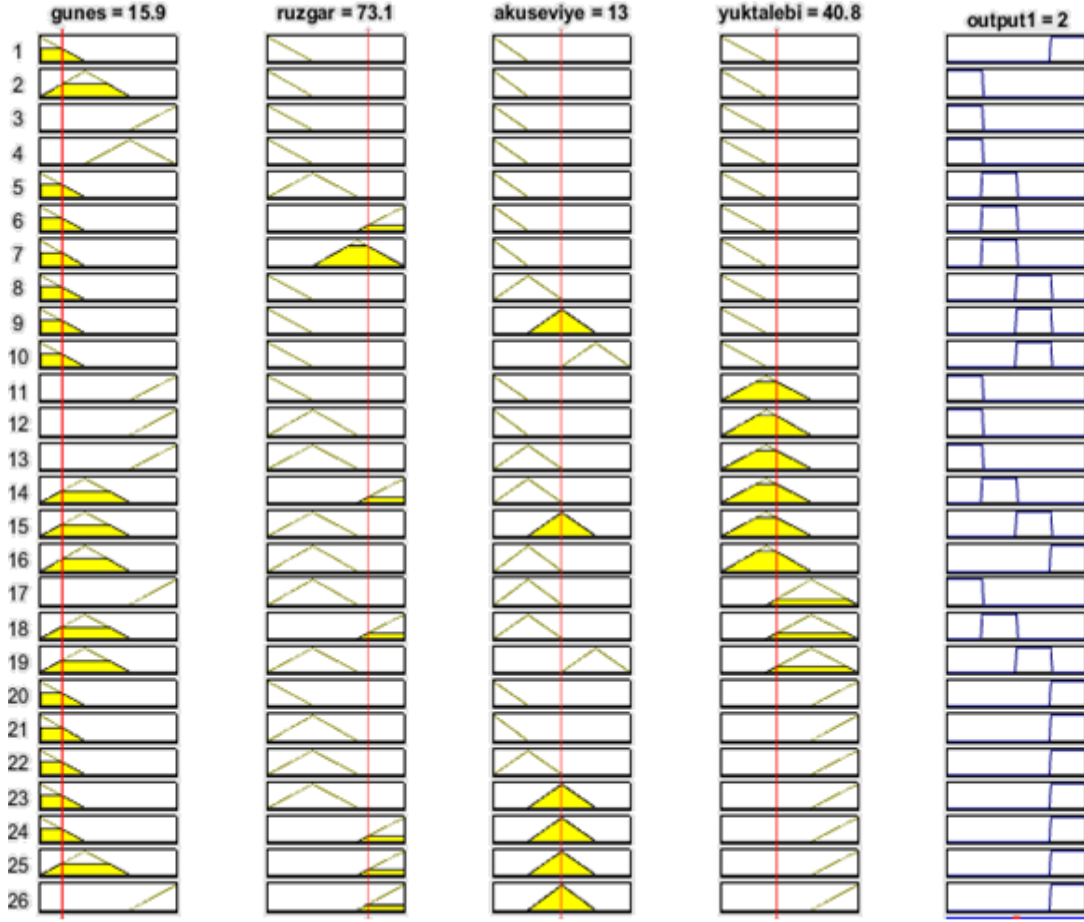
Şekil 3.17 Hibrit güç üretim sistemini kontrol eden kural tablosunun Matlab arayüzü görünümü.

Şekil 3.17’de hibrit güç üretim sisteminin kural tablosu görülmektedir. Bu görünüm aslında Matlab programındaki görünümdür. Bu görüntüden bütün kurallar görünmediği için kural tablosu ayrıca Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Hibrit güç üretim sistemini kontrol eden kural tablosu.

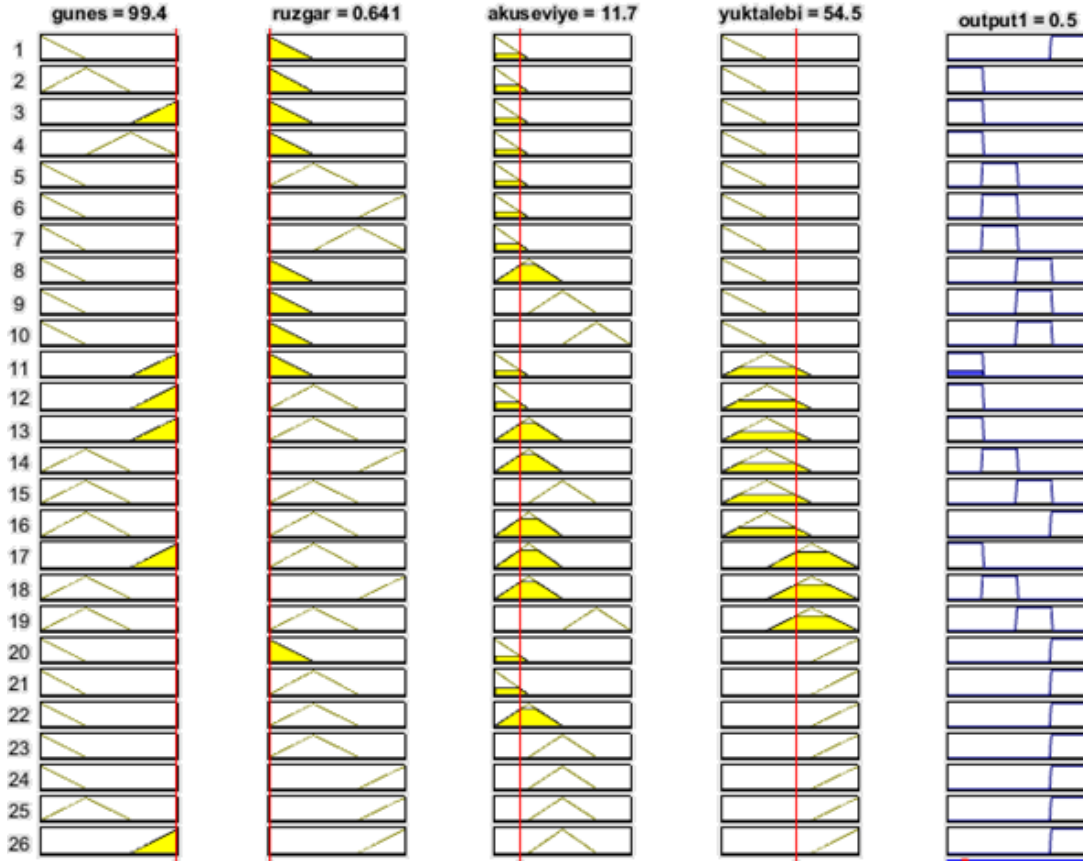
| Güneş | Rüzgâr | Akü | Yükün Talebi | Çıkış |
|--------------|---------------|------------|---------------------|--------------|
| Az | Az | Az | Az | Şebeke |
| Normal | Az | Az | Az | Güneş |
| Yüksek | Az | Az | Az | Güneş |
| Çokyüksek | Az | Az | Az | Güneş |
| Az | Normal | Az | Az | Rüzgâr |
| Az | Yüksek | Az | Az | Rüzgâr |
| Az | Çokyüksek | Az | Az | Rüzgâr |
| Az | Az | Normal | Az | Akü |
| Az | Az | Yüksek | Az | Akü |
| Az | Az | Çokyüksek | Az | Akü |
| Çokyüksek | Az | Az | Normal | Güneş |
| Çokyüksek | Normal | Az | Normal | Güneş |
| Çokyüksek | Normal | Normal | Normal | Güneş |
| Normal | Çokyüksek | Normal | Normal | Rüzgâr |
| Normal | Normal | Yüksek | Normal | Akü |
| Normal | Normal | Normal | Normal | Şebeke |
| Normal | Çokyüksek | Normal | Yüksek | Rüzgâr |
| Normal | Çokyüksek | Normal | Yüksek | Rüzgâr |
| Normal | Normal | Çokyüksek | Yüksek | Akü |
| Az | Az | Az | Çokyüksek | Şebeke |
| Az | Normal | Normal | Çokyüksek | Şebeke |
| Az | Normal | Az | Çokyüksek | Şebeke |
| Az | Normal | Yüksek | Çokyüksek | Şebeke |
| Az | Çokyüksek | Yüksek | Çokyüksek | Şebeke |
| Normal | Çokyüksek | Yüksek | Çokyüksek | Şebeke |
| Çokyüksek | Çokyüksek | Yüksek | Çokyüksek | Şebeke |

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminde dört parametre üzerinden kontrol sağlanmaktadır. Kural tablolarının fonksiyonelliği sayesinde sistem rahatlıkla kontrol edilmektedir. Buna göre kurulan sistem dört parametresine bakılacak olunursa bunlar; yükün talebi, güneş enerjisinden gelen enerji (Watt cinsinde), rüzgar enerjisinden gelen enerji (Watt cinsinden) ve akü seviyesidir. Sistemde enerji girdilerine göre kontrol sağlanmakta ve yenilenebilir kaynaklar başta olmak üzere yük talebine göre kontrol yapılmaktadır.



Şekil 3.18 Yük talebinin rüzgâr enerjisi ile karşılandığı örnek bir çıkış.

Şekil 3.18’de yükün talebinin rüzgâr enerjisi ile karşılandığı örnek bir çıkış görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi yük talebi normal seviyededir. Akü seviyesi normal, güneş enerjisinden gelen enerji seviyesi düşük ve rüzgâr enerjisinden gelen enerji yüksek seviyelerde olduğu için yükün talebi rüzgâr enerjisi tarafından karşılanmıştır. Burada sistem 2 numaralı rölenin normalde açık olan kontağını kapatmıştır.

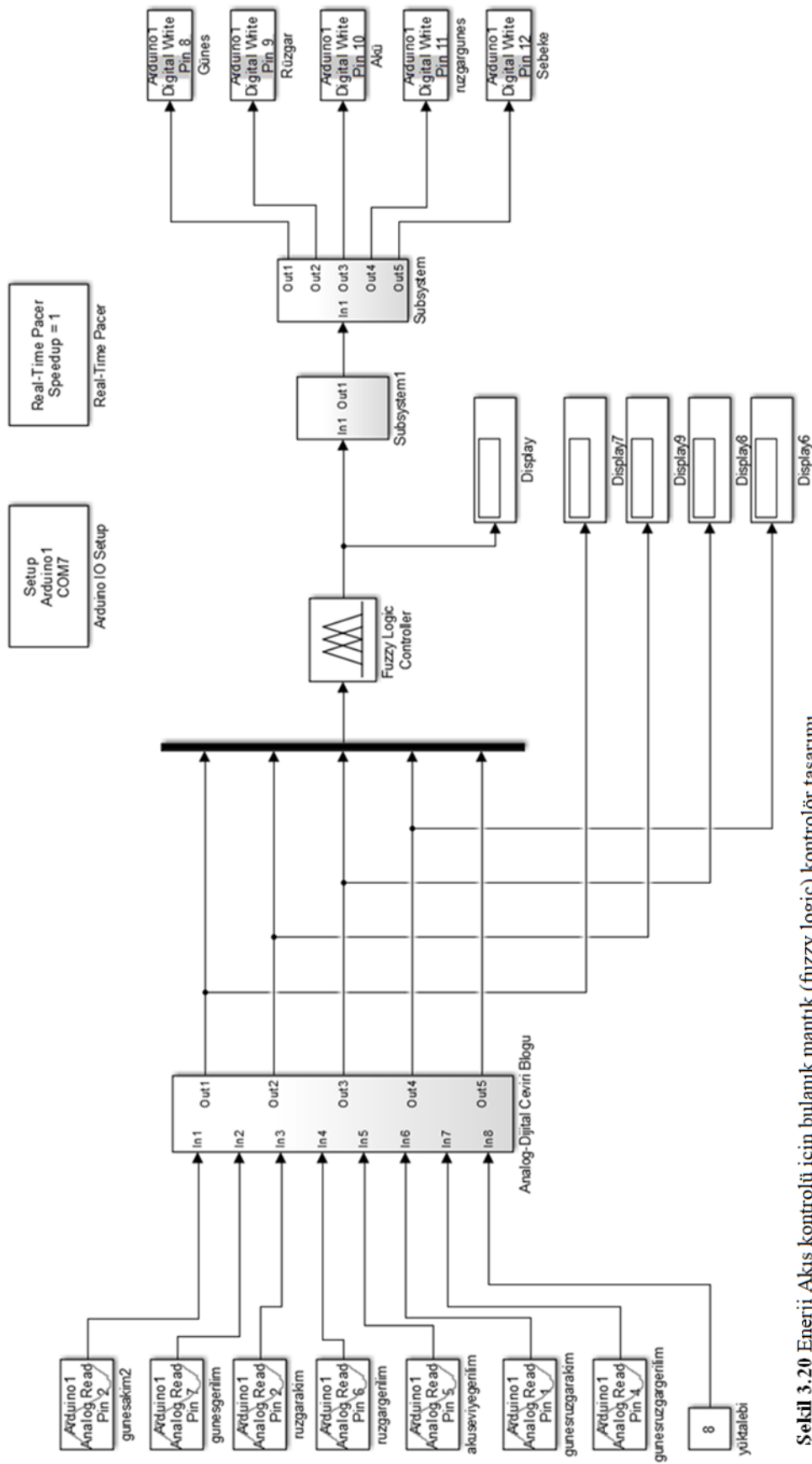


Şekil 3.19 Yük talebinin güneş enerjisi ile karşılandığı örnek bir çıkış.

Şekil 3.19’da yükün talebinin güneş enerjisi ile karşılandığı örnek bir çıkış görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi yük talebi normal seviyededir. Akü seviyesi düşük, güneş enerjisinden gelen enerji seviyesi çok yüksek ve rüzgâr enerjisinden gelen enerji düşük seviyelerde olduğu için yükün talebi güneş enerjisi tarafından karşılanmıştır. Burada sistem 1 numaralı rölenin normalde açık olan kontağını kapatmıştır.

3.3 Yük Değerinin Sisteme Kullanıcı Tarafından Girildiği Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Üretim Sistemi

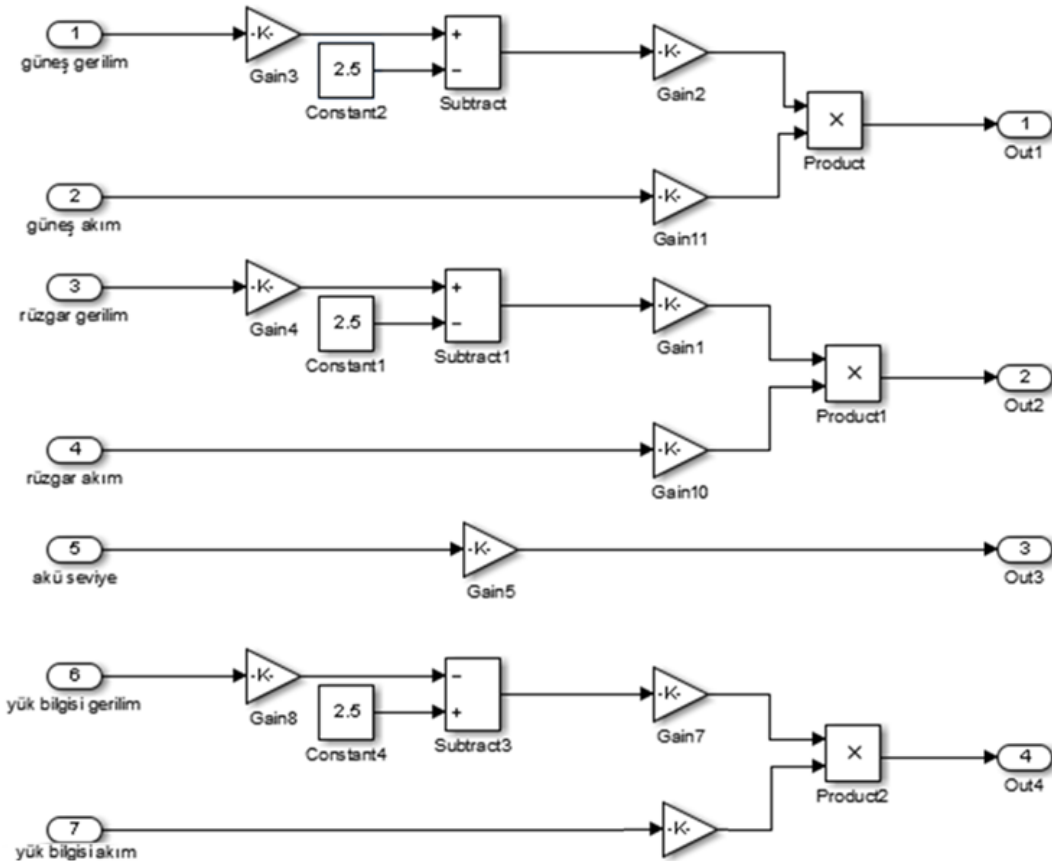
Bu sistemin diğer sistemden farkı bu sistemde yük talebi sisteme kullanıcı tarafından girilmektedir. Hibrit güç üretim sisteminde enerji akışı sağlanırken bulanık mantık kural tabloları oluşturulmuştur. Oluşturulan kural tablolarına göre üyelik fonksiyonları sisteme girilmiş ve güç üretim sisteminin Matlab Simulink üzerinden kontrolü sağlanmıştır.



Şekil 3.20 Enerji Akış kontrolü için bulanık mantık (fuzzy logic) kontrolör tasarımı.

Şekil 3.20’de sistemin Matlab Simulink modeli görülmektedir. Sistemi kontrol etmek için bulanık mantık kontrolör dizaynı 5 giriş 1 çıkış olarak tasarlanmıştır. Girişler güneş panellerinden gelen güç bilgisi, rüzgâr türbininden gelen güç bilgisi, rüzgar ve güneşin birlikte ürettiği güç bilgisi, akü seviyesini gösteren güç bilgisi ve yükün talebini gösteren yük bilgisidir. Bu giriş verileri doğrultusunda aşağıdaki enerji akışı gerçekleştirilmek istenmektedir.

Sistem, öncelikle bütün verileri okuyarak bulanık mantık denetleyicinin karar vermesini sağlamaktadır. Buna göre güneş ve rüzgâr gücü, yükün bilgisi ve akü seviyesi Arduino tarafından Matlan Simulink modele gelmektedir. Bu veriler akım gerilim sensörleri aracılığıyla okunmakta ve sisteme analog veriler olarak aktarılmaktadır. Şekildeki model ile sisteme gelen bu analog verileri dijitale dönüştürülmektedir.

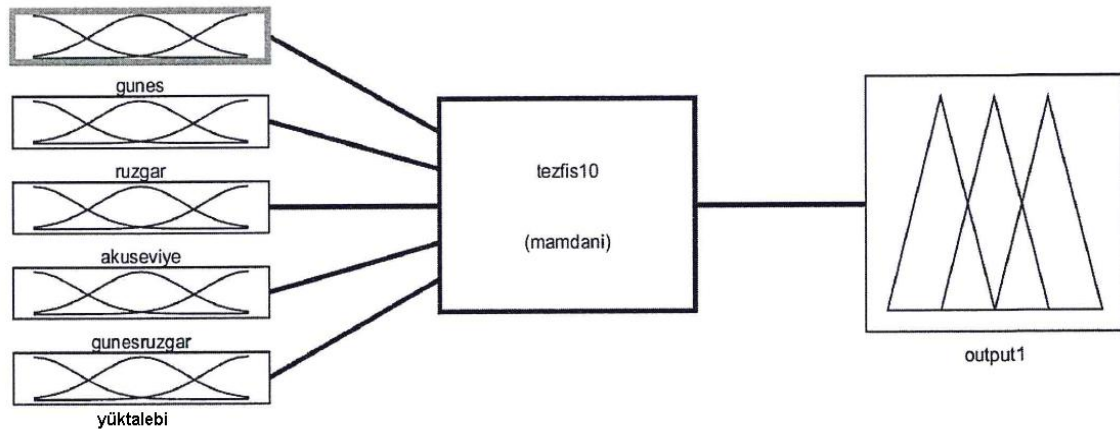


Şekil 3.21 Analog dijital çevirici bloğunun iç tasarımı.

Şekil 3.21’de görüldüğü gibi sistemin Matlab Simulink modelinde Bulanık Mantık Kontrolü kullanılmıştır. Bulanık mantığın üyelik fonksiyonları 5 giriş ve 1 çıkış olarak tasarlanmıştır. Burada PV panellerinden elde edilen akım ve gerilim değerleri Arduino uyumlu ACS712 Akım sensörü ve gerilim sensörü vasıtasıyla belirlenmektedir. Bu değerler dijital olmasından dolayı sistemde Watt türünden görülmesini sağlamak amacıyla modelde Analog- Dijital çevirici bloğu tasarlanmıştır. Bu blokta akım gerilim değerleri gerçek değerlerinde görülmesi sağlanmaktadır. Yani 0-1023 değerinde çalışan sensörlerin akım okuyucularınının 0-25 A ve gerilim okuyucularınının ise 0-25 V olarak okuması sağlanmış ve sistemin kontrolü daha kolay sağlanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi ise aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi giriş çıkış fonksiyonları ve üyelik fonksiyonları girilerek sistemin kararlılığı arttırılmıştır.

3.3.1 Yük Değerinin Sisteme Kullanıcı Tarafından Girildiği Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Üretim Sisteminde Kullanılan Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları

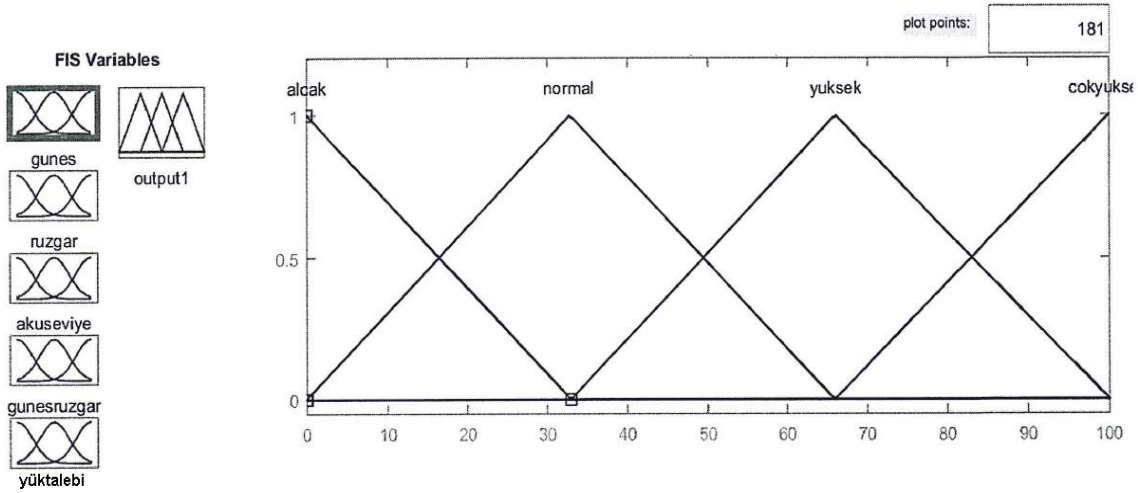
Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bulanık mantık yapısı aşağıda görülmektedir. Sistemde tasarlanan modelde Mamdani yöntemi kullanılmıştır. Sistemde 5 adet giriş üyelik fonksiyonu 1 adet ise çıkış fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 3.22 Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bulanık mantık yapısı.

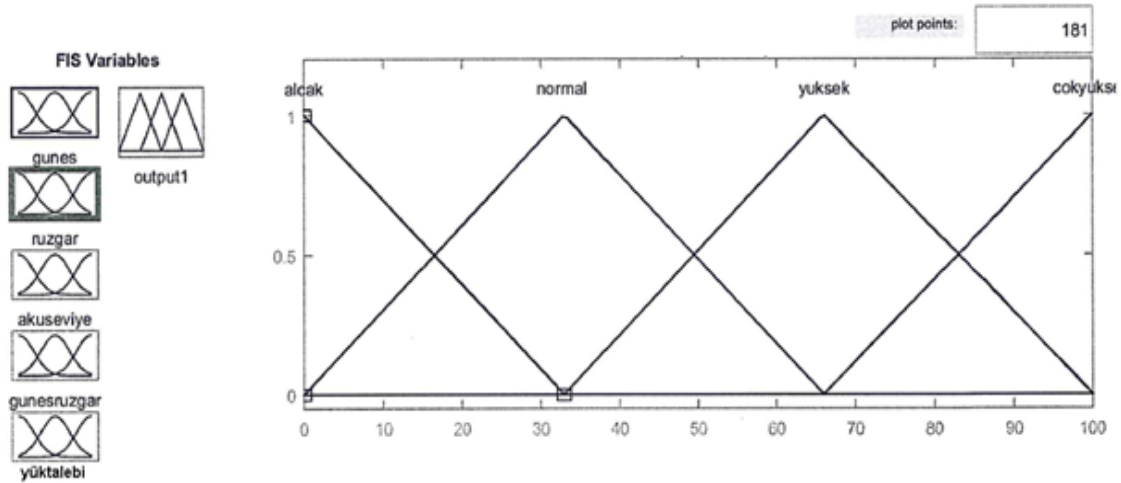
Giriş üyelik fonksiyonları sistemi kontrol eden sensörler aracılığıyla gelen gerilim ve akım değerlerine göre hareket eden değerlerdir. Burada şekil de de görüldüğü gibi sadece yükün talep ettiği güç değeri elle girilmektedir. İstenildiği taktirde diğer girişlerde ölçü aletleri ile ölçülerek elle girilebilmektedir. Bunun için ayrı bir tasarım

gerekmektedir. Çıkış üyelik fonksiyonları ise röle grubuna komut vererek sistemi kontrol etmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.23 Güneş girişinin üyelik fonksiyonları.

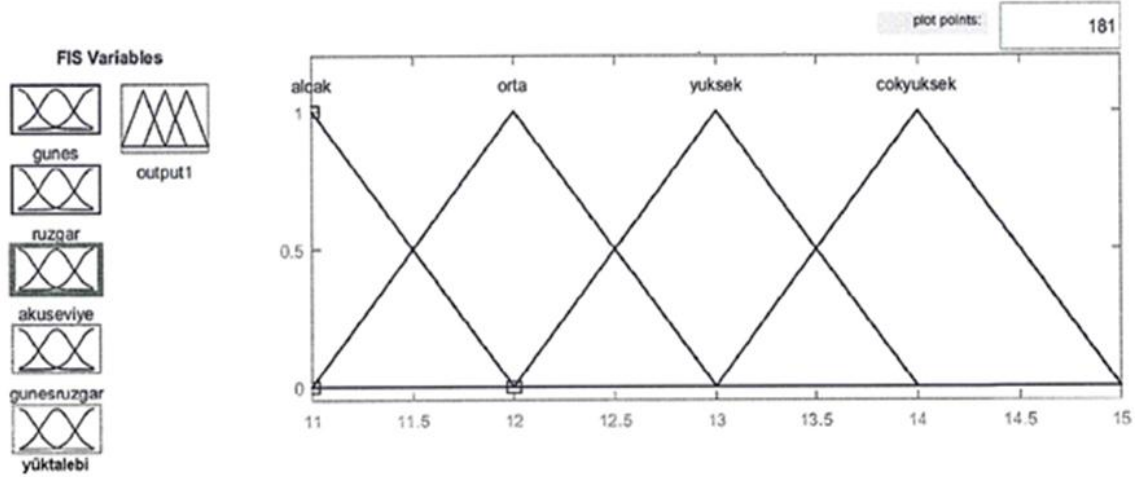
Şekil 3.23'te güneş enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu görülmektedir. Güneş panellerinden gelen enerjinin akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı ölçülmekte ve bu değerler birbirleri ile çarpılarak sistemin gücü elde edilmektedir. Bu giriş fonksiyonları 4 kademededen oluşmaktadır. Bunlar alçak, normal, yüksek ve çok yüksektir.



Şekil 3.24 Rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu.

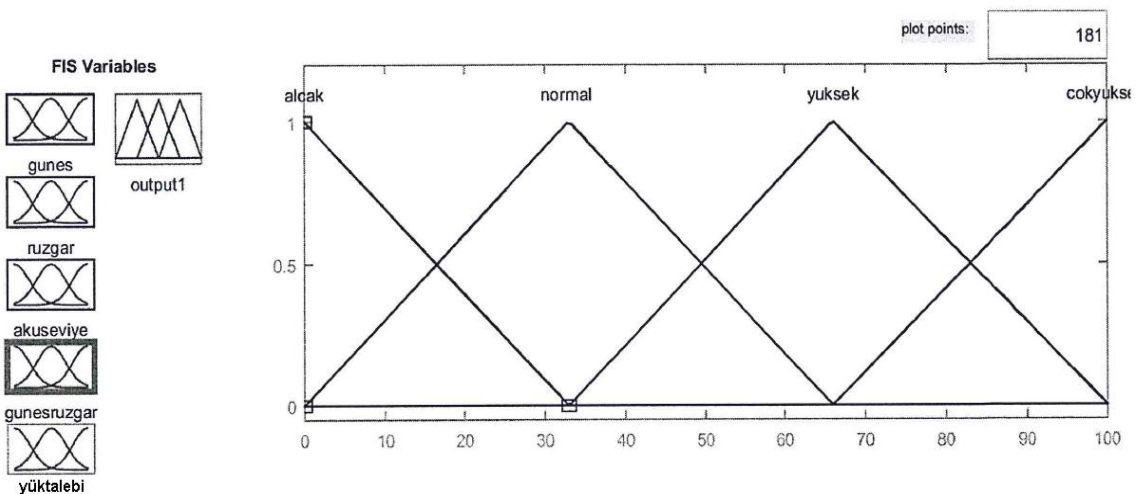
Şekil 3.24'de rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu görülmektedir. Rüzgâr türbininden gelen akım ve gerilim değerleri çarpılması ve sensörler aracılığıyla sisteme aktarılması sonucu oluşmaktadır. Bu giriş fonksiyonları 4 kademededen oluşmaktadır.

Bunlar alçak, normal, yüksek ve çok yüksektir. Rüzgâr enerjisi de en fazla 100 W olarak sisteme tanımlanmıştır. Bunun sebebi yapılan ölçümlerde sisteme en fazla 80 W civarında enerji üretmiş olmasıdır.



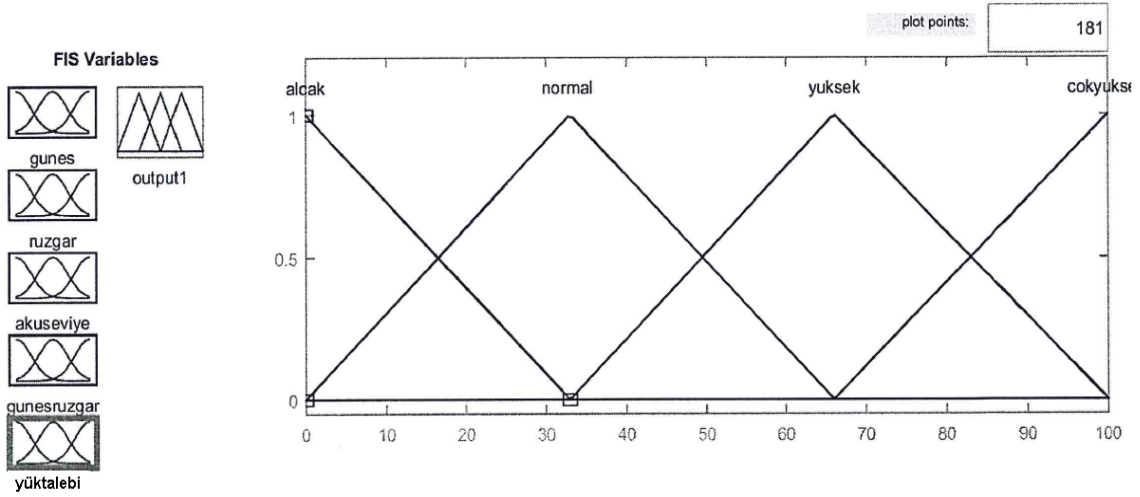
Şekil 3.25 Akü seviyesini gösteren giriş fonksiyonu.

Şekil 3.25’de hibrit güç üretim sisteminde kullanılan akünün seviyesini gösteren giriş fonksiyonu görülmektedir. Akü seviyesi gerilim bazında ölçülmektedir. Buna göre en düşük seviye 11 V, en yüksek seviye ise 15 V olarak belirtilmiştir. Sistemin çalışmasında akünün yeri önemlidir. Şekildeki algoritmadan da görüleceği gibi akü yenilenebilir kaynaklar yeterli olduğu takdirde enerji uygulamamaktadır. Ancak yenilenebilir kaynaklar yetersiz ise akü yükü beslemektedir.



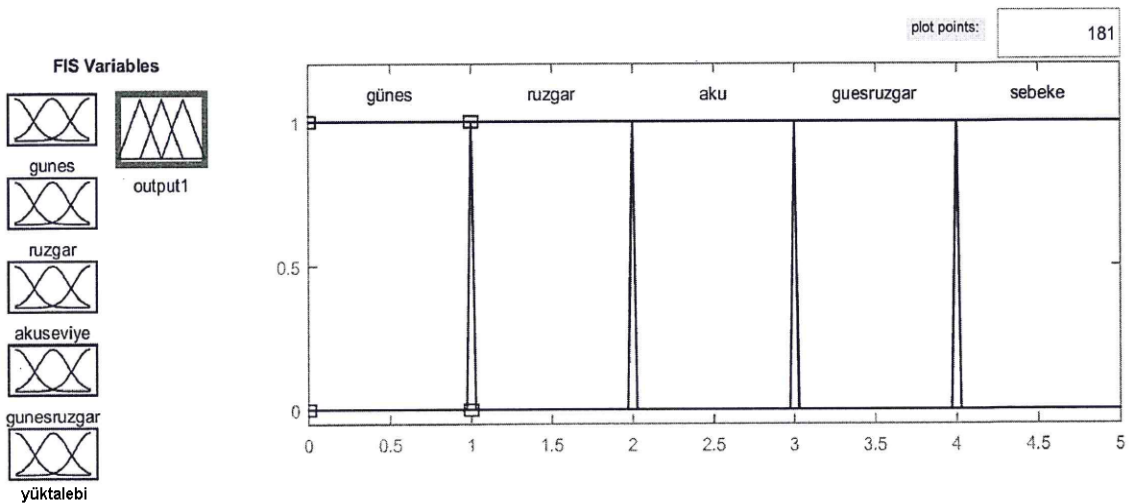
Şekil 3.26 Güneş ve Rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu.

Şekil 3.26'da güneş ve rüzgâr enerjisinin ürettiği enerji giriş fonksiyonu görülmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisinin değerlerinin işlenmesi ile veriler alınmaktadır. Gelen akım ve gerilim değerleri çarpılması ve sensörler aracılığıyla sisteme aktarılması sonucu oluşmaktadır. Bu giriş fonksiyonları 4 kademeden oluşmaktadır. Bunlar alçak, normal, yüksek ve çok yüksektir.



Şekil 3.27 Yükün talebini gösteren giriş fonksiyonu.

Şekil 3.27'de yükün talebini gösteren giriş fonksiyonu görülmektedir. Buna göre sistemin çalışması bu fonksiyona bağlıdır. Yenilenebilir kaynaklar 100 W'a yakın enerji üretebildikleri için bu fonksiyonun maksimum noktası 100 W'tır. Minimum noktası ise 0'dır. Yani yükün talebinin olmamasıdır.



Şekil 3.28 Sistemin çıkışına ait üyelik fonksiyonu.

Hibrit güç üretim sisteminin çıkış üyelik fonksiyonu Şekil 3.28’de görüldüğü gibidir. Sistem 4 adet röle ile kontrol edileceğinden burada 4 üyelik fonksiyonu yeterlidir. Kullanılan röle kartında normalde açık kontakların yanında normalde kapalı kontaklarda kullanılmaktadır. Böylelikle sisteme 8 hareket yaptırılmış olmaktadır.

3.3.2 Yük Değerinin Sisteme Kullanıcı Tarafından Girildiği Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Üretim Sisteminde Kullanılan Bulanık Mantık Kural Tabloları

Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan ve bulanık mantık yapısını kontrol eden kural tablosu şekilde görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Aslında bulanık mantığın her şeyde uygulanabilirliğini sağlayan yapı kural tablosudur. Sistem için tasarlanan algoritma

The screenshot displays a rule table with 17 rules and five input variable membership function dropdowns. The rule table is as follows:

| | |
|-----|---|
| 1. | If (gunes is normal) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is gunes) (1) |
| 2. | If (gunes is yuksek) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is gunes) (1) |
| 3. | If (gunes is cokyüksek) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is gunes) (1) |
| 4. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is normal) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is ruzgar) (1) |
| 5. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is yuksek) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is ruzgar) (1) |
| 6. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is cokyüksek) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is ruzgar) (1) |
| 7. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is orta) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is aku) (1) |
| 8. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is yuksek) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is aku) (1) |
| 9. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is cokyüksek) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is aku) (1) |
| 10. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is normal) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is guesruzgar) (1) |
| 11. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is yuksek) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is guesruzgar) (1) |
| 12. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is cokyüksek) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is guesruzgar) (1) |
| 13. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is normal) then (output1 is sebeke) (1) |
| 14. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is yuksek) then (output1 is sebeke) (1) |
| 15. | If (gunes is alcak) and (ruzgar is alcak) and (akuseviye is alcak) and (gunesruzgar is alcak) and (yuktalebi is cokyüksek) then (output1 is sebeke) (1) |
| 16. | If (gunes is yuksek) and (ruzgar is normal) and (akuseviye is orta) and (gunesruzgar is normal) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is gunes) (1) |
| 17. | If (gunes is cokyüksek) and (ruzgar is normal) and (akuseviye is orta) and (gunesruzgar is normal) and (yuktalebi is alcak) then (output1 is gunes) (1) |

Below the rule table, five input variable membership function dropdowns are shown:

- gunes is:** alcak, normal, yuksek, cokyüksek, none
- ruzgar is:** alcak, normal, yuksek, cokyüksek, none
- akuseviye is:** alcak, orta, yuksek, cokyüksek, none
- gunesruzgar is:** alcak, normal, yuksek, cokyüksek, none
- yuktalebi is:** alcak, normal, yuksek, cokyüksek, none

Each dropdown has a "not" checkbox below it, which is currently unchecked.

burada oluşturulmakta ve kontrol sistemine uyarlanmaktadır.

Şekil 3.29 Hibrit güç üretim sistemini kontrol eden kural tablosu (Matlab görüntüsü).

Şekil 3.19’da hibrit güç üretim sisteminin kural tablosu görülmektedir. Bu görünüm aslında Matlab programındaki görünümdür. Bu görüntüden bütün kurallar görünmediği için kural tablosu ayrıca Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Hibrit güç üretim sistemini kontrol eden kural tablosu.

| | Güneş | Rüzgâr | Güneş+Rüzgar | Akü | Yüktalebi | Çıkış |
|----|--------------|---------------|---------------------|------------|------------------|--------------|
| 1 | Normal | Alçak | Alçak | Alçak | Alçak | Güneş |
| 2 | Yüksek | Alçak | Alçak | Alçak | Alçak | Güneş |
| 3 | Çokyüksek | Alçak | Alçak | Alçak | Alçak | Güneş |
| 4 | Alçak | Normal | Alçak | Alçak | Alçak | Rüzgâr |
| 5 | Alçak | Yüksek | Alçak | Alçak | Alçak | Rüzgâr |
| 6 | Alçak | Çokyüksek | Alçak | Alçak | Alçak | Rüzgâr |
| 7 | Alçak | Alçak | Normal | Alçak | Alçak | Güneş+Rüzgar |
| 8 | Alçak | Alçak | Yüksek | Alçak | Alçak | Güneş+Rüzgar |
| 9 | Alçak | Alçak | Çokyüksek | Alçak | Alçak | Güneş+Rüzgar |
| 10 | Alçak | Alçak | Alçak | Normal | Alçak | Akü |
| 11 | Alçak | Alçak | Alçak | Yüksek | Alçak | Akü |
| 12 | Alçak | Alçak | Alçak | Çokyüksek | Alçak | Akü |
| 13 | Alçak | Alçak | Alçak | Alçak | Normal | Şebeke |
| 14 | Alçak | Alçak | Alçak | Alçak | Yüksek | Şebeke |
| 15 | Alçak | Alçak | Alçak | Alçak | Çokyüksek | Şebeke |
| 16 | Yüksek | Normal | Normal | Normal | Alçak | Güneş |
| 17 | Çokyüksek | Normal | Normal | Normal | Alçak | Güneş |
| 18 | Normal | Yüksek | Normal | Normal | Alçak | Rüzgâr |
| 19 | Normal | Çokyüksek | Normal | Normal | Alçak | Rüzgâr |
| 20 | Normal | Normal | Yüksek | Normal | Alçak | Güneş+Rüzgar |
| 21 | Normal | Normal | Çokyüksek | Normal | Alçak | Güneş+Rüzgar |
| 22 | Normal | Normal | Normal | Yüksek | Alçak | Akü |
| 23 | Normal | Normal | Normal | Çokyüksek | Alçak | Akü |
| 24 | Normal | Normal | Normal | Normal | Normal | Şebeke |
| 25 | Çokyüksek | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Alçak | Güneş |
| 26 | Yüksek | Çokyüksek | Yüksek | Yüksek | Alçak | Rüzgâr |
| 27 | Yüksek | Yüksek | Çokyüksek | Yüksek | Alçak | Güneş+Rüzgar |
| 28 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Çokyüksek | Alçak | Akü |
| 29 | Yüksek | Yüksek | Çokyüksek | Yüksek | Normal | Güneş+Rüzgar |
| 30 | Yüksek | Yüksek | Çokyüksek | Yüksek | Yüksek | Güneş+Rüzgar |
| 31 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Çokyüksek | Yüksek | Akü |
| 32 | Yüksek | Çokyüksek | Yüksek | Yüksek | Normal | Rüzgâr |
| 33 | Yüksek | Çokyüksek | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Rüzgâr |
| 34 | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Alçak | Güneş |
| 35 | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Normal | Güneş |
| 36 | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Yüksek | Güneş |
| 37 | Alçak | Alçak | Alçak | Alçak | Alçak | Şebeke |
| 38 | Normal | Normal | Normal | Normal | Normal | Şebeke |
| 39 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Şebeke |
| 40 | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Çokyüksek | Şebeke |

Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminde dört parametre üzerinden kontrol sağlanmaktadır. Kural tablolarının fonksiyonelliği sayesinde sistem rahatlıkla kontrol edilmektedir. Buna göre kurulan sistemin dört

parametresine bakılacak olunursa bunlar; yükün talebi, güneş enerjisinden gelen enerji (Watt cinsinde), rüzgar enerjisinden gelen enerji (Watt cinsinden) ve akü seviyesidir. Sistemde enerji girdilerine göre kontrol sağlanmakta ve yenilenebilir kaynaklar başta olmak üzere yük talebine göre kontrol yapılmaktadır.

4. BULGULAR

Bu çalışmada şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminin klasik yöntemlerle ve bulanık mantık kontrolörle kontrol edilmesi arasındaki farklar ele alınmaktadır. Sistemde yük olarak 50 W'lık araba far lambaları kullanılmaktadır. Geliştirilen algoritma ile sistem yük talebini rüzgâr-güneşten karşılamaktadır. Ancak klasik sistemde rüzgâr-güneş ikilisinin ürettiği enerji akü ile şarj edildikten sonra yükü beslemektedir. Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolörün kullanıldığı sistemde ise yükün ihtiyacı ve hibrit güç üretim sisteminin üretim değerleri bulanık mantık kural tabloları ile değerlendirilerek beslenmektedir. Böylelikle aküler fazla şarj olmadan enerji ihtiyacı karşılanmakta ve akü verimi artmaktadır. Ayrıca akülerin kısıtlı olan ömürleri de bulanık mantık kontrolörlü tasarımda daha fazla dikkate alınmaktadır.

Çalışmada kullanılan rüzgâr türbini ve güneş panellerinin üretimleri meteorolojik şartlara bağlı olarak artmakta ve azalmaktadır. Bu nedenle oluşturulan enerji üretim sisteminde kontrol sistemi çok büyük önem kazanmakta ve şebeke ile entegrasyonu da olması gerekmektedir.

Geliştirilen kontrol sisteminde yükün kesintiye uğramadan karşılanması amacıyla daha hızlı bir iletişim portalı geliştirilmelidir. Bulanık mantık kontrolünü geniş kural tabloları ve kolay kullanılabilir yapısının yanında yavaş olması ve bir bilgisayara bağlı olarak çalışması da sistemin hızını yavaşlatmaktadır.

4.1 Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Üretim Sisteminin Her İki Yöntemle Enerji Üretim Değerleri

Bu çalışmada, hibrit güç üretim sisteminin ürettiği enerji ile tüketilen enerjiye ait veriler 2017 yılı temmuz ayında başlayıp 2018 Mart sonuna kadar alınmıştır. Veriler hem dijital ölçü aleti ile akım gerilim değerleri ayrı ayrı olacak şekilde ölçülmüş, hem de Matlab Simulink ile çizilen model üzerindeki Display'ler ile gözlenmiştir. Güneş enerjisi kaydedilirken, üretim ve tüketim verileri her gün için sabah 08:00'dan başlayarak saat 18:00'a kadar kayıt altına alınmıştır. Rüzgâr enerjisi ile üretilen enerji ise günün 24 saati kayıt altına alınmıştır. Ancak sisteme uygulanan 50 W'lık yük ise

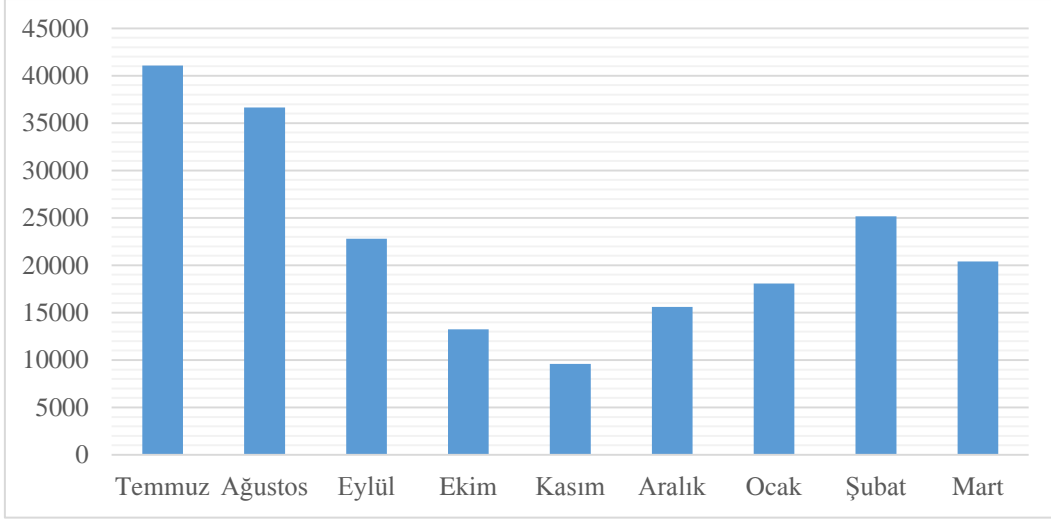
sisteme günlük 10 saat uygulanmıştır. Sisteme uygulanan yük için 2 adet 12 V 25 W'lık araba farları kullanılmıştır. Buna göre üretim ve tüketim değerleri değişkenlik göstermiştir.

Çalışma kapsamında veriler 01.07.2017 tarihinden başlamak üzere 9 ay kayıt altına alınmış ve 31.03.2018 tarihine kadar alınmıştır. Sistemin kurulumu ve geliştirilmesi sürecinde kayıtlar aksamaması adına enerji verimliliğinin olmadığı saatler tercih edilmiş ve kayıtların hassasiyetine dikkat edilmiştir. Aylık bazda üretilen enerji verileri çizelgede verilmiştir. Bu veriler grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin aylık bazda enerji üretim değerleri.

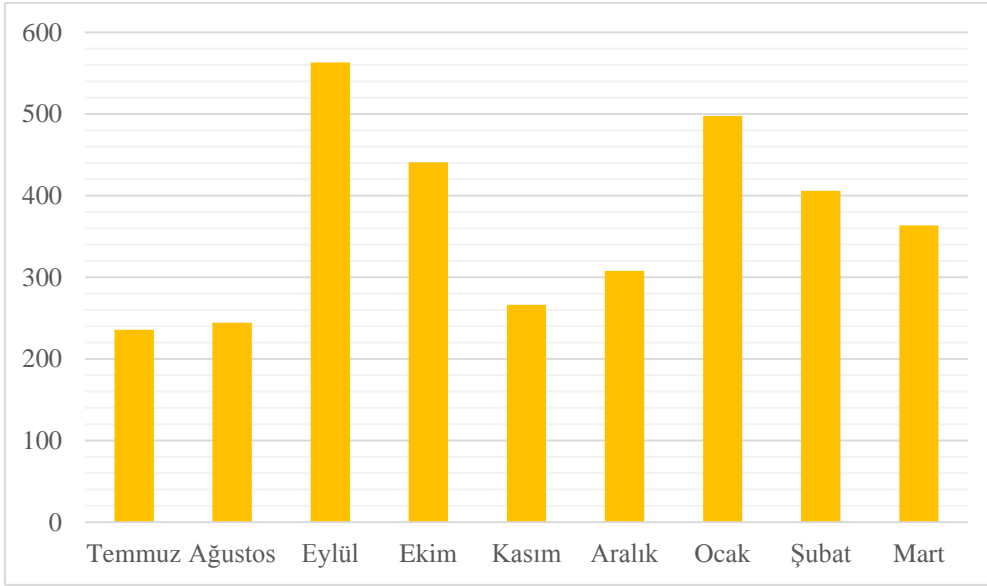
| Aylar | Güneş (Wh) | Rüzgâr (Wh) |
|--------------|-------------------|--------------------|
| Temmuz | 41 059,68 | 235,58 |
| Ağustos | 36 657,6 | 244,128 |
| Eylül | 22 809,6 | 563,0801 |
| Ekim | 13 231,07 | 440,58 |
| Kasım | 9 608,29 | 266,16 |
| Aralık | 15 610,16 | 307,85 |
| Ocak | 18 060,61 | 497,44 |
| Şubat | 25 165,94 | 405,62 |
| Mart | 20 414,9 | 363,28 |

Çizelge 4.1'de şebekeden bağımsız hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminde üretilen enerji miktarları görülmektedir. Bu veriler günlük kaydedilmekte ve çizelgeye aylık ortalaması alınarak eklenmektedir.



Şekil 4.1 Aylık bazda güneş panelleri ile üretilen enerji değerleri (Wh).

Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi güneş panellerinden elde edilen en yüksek enerji miktarı temmuz ayında elde edilmiştir. En düşük ay ise Kasım ayıdır.

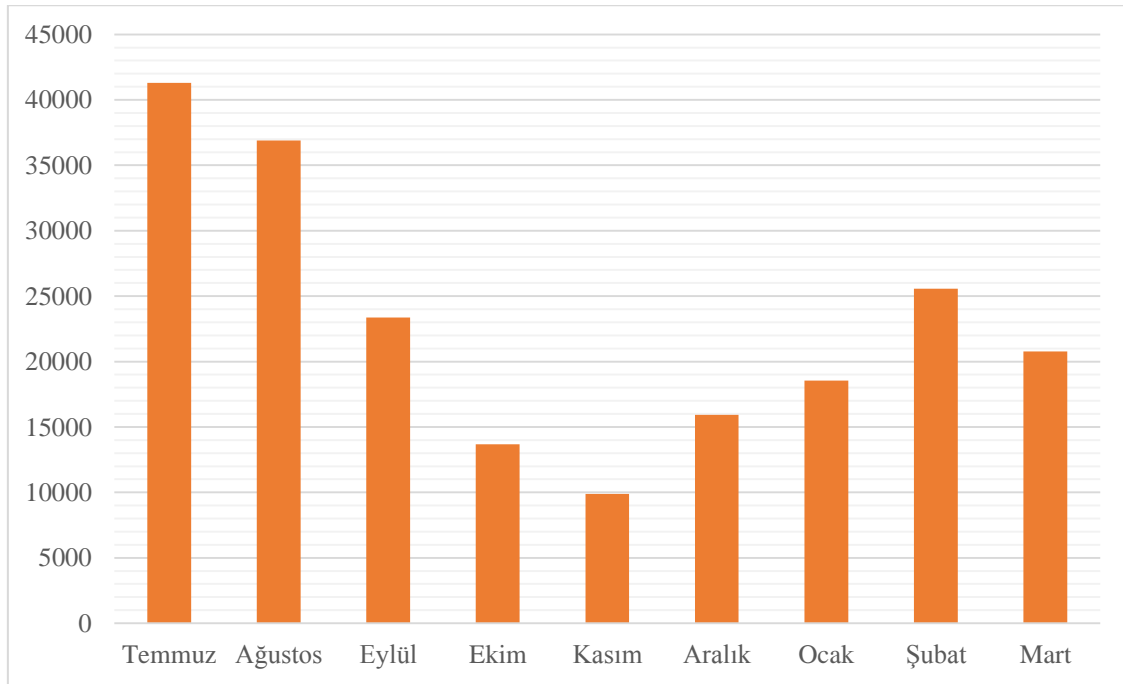


Şekil 4.2 Aylık bazda rüzgar türbini ile üretilen enerji değerleri (Wh).

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi rüzgar türbininden alınan en yüksek enerji miktarı Eylül ayında olmuştur. Cide’nin denizden gelen fırtınaları da bu miktarı etkilemektedir. En düşük enerji üretimi değeri ise Temmuz ayında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.2 Şebekeden bağımsız hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin ürettiği aylık bazda toplam enerji.

| Aylar | Toplam üretilen enerji (Wh) |
|---------|-----------------------------|
| Temmuz | 41 295,26 |
| Ağustos | 36 901,728 |
| Eylül | 23 372,6801 |
| Ekim | 13 671,65 |
| Kasım | 9 874,45 |
| Aralık | 15 918,01 |
| Ocak | 18 558,05 |
| Şubat | 25 571,56 |
| Mart | 20 778,18 |



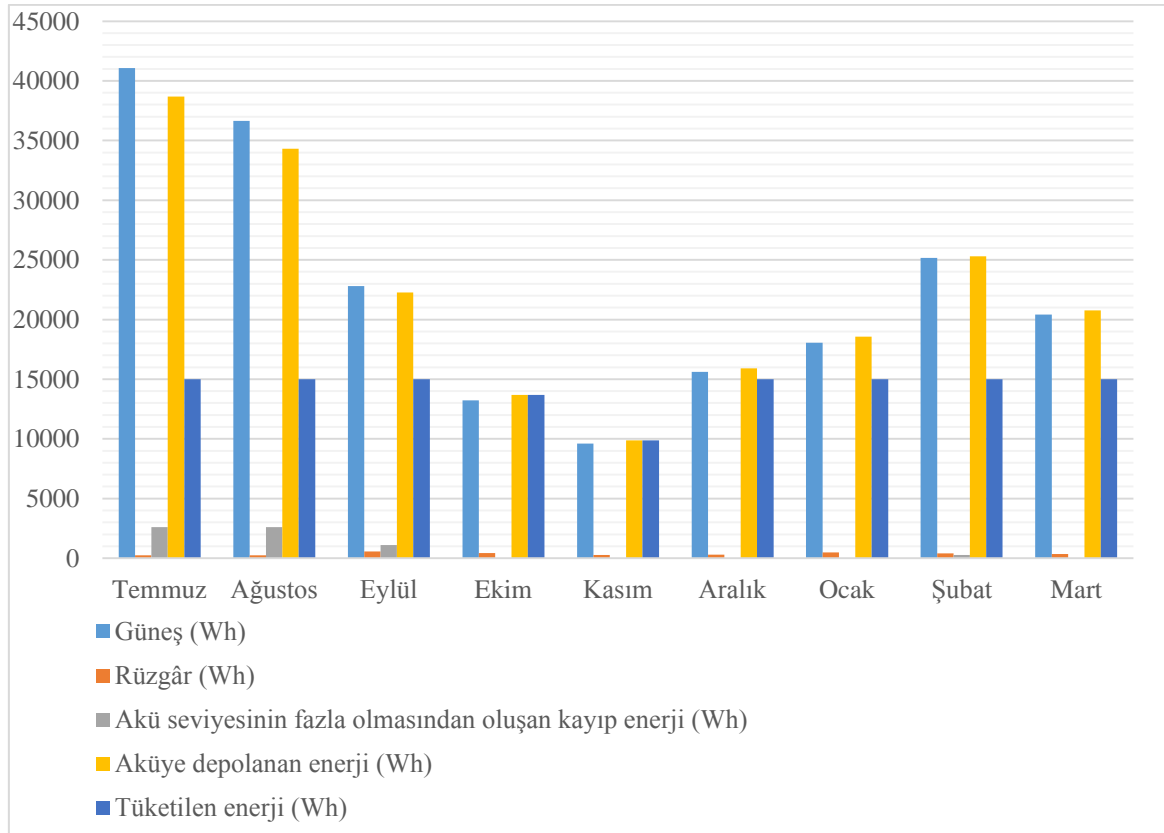
Şekil 4.3 Aylık bazda hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin ürettiği toplam enerji.

Çizelge 4.2’de hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminde üretilen enerji miktarları görülmektedir. Buna göre Temmuz ayında en yüksek enerji miktarına ulaşılmıştır. Kasım ayında ise en düşük enerji üretim miktarı gerçekleşmiştir. Çizelge 4.1’de görülen değerlerde güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarı rüzgar türbininden elde edilen

enerji miktarına göre oldukça fazladır. Bunun sebebi rüzgar türbini ile istenilen verimin elde edilememesidir.

Çizelge 4.3 Klasik sistem ile aylık bazda güneş panellerinden ve rüzgar türbininden üretilen, akü seviyesinin fazla olmasından oluşan kayıp olan, aküye depolanan ve yük tarafından tüketilen enerji durumu (Wh).

| | Güneş (Wh) | Rüzgâr (Wh) | Akü seviyesinin fazla olmasından oluşan kayıp enerji (Wh) | Aküye depolanan enerji (Wh) | Tüketilen enerji (Wh) |
|---------|------------|-------------|---|-----------------------------|-----------------------|
| Temmuz | 41 059,68 | 235,58 | 2603,2 | 38 692,06 | 15 000 |
| Ağustos | 36 657,6 | 244,128 | 2603,2 | 34 298,528 | 15 000 |
| Eylül | 22 809,6 | 563,0801 | 1 108,27358 | 22 264,40652 | 15 000 |
| Ekim | 13 231,07 | 440,58 | 0 | 13 671,65 | 13 671,65 |
| Kasım | 9 608,29 | 266,16 | 0 | 9 874,45 | 9 874,45 |
| Aralık | 15 610,16 | 307,85 | 0 | 15 918,01 | 15 000 |
| Ocak | 18 060,61 | 497,44 | 0 | 18 558,05 | 15 000 |
| Şubat | 25 165,94 | 405,62 | 260,37358 | 25 311,18642 | 15 000 |
| Mart | 20 414,9 | 363,28 | 0 | 20 778,18 | 15 000 |

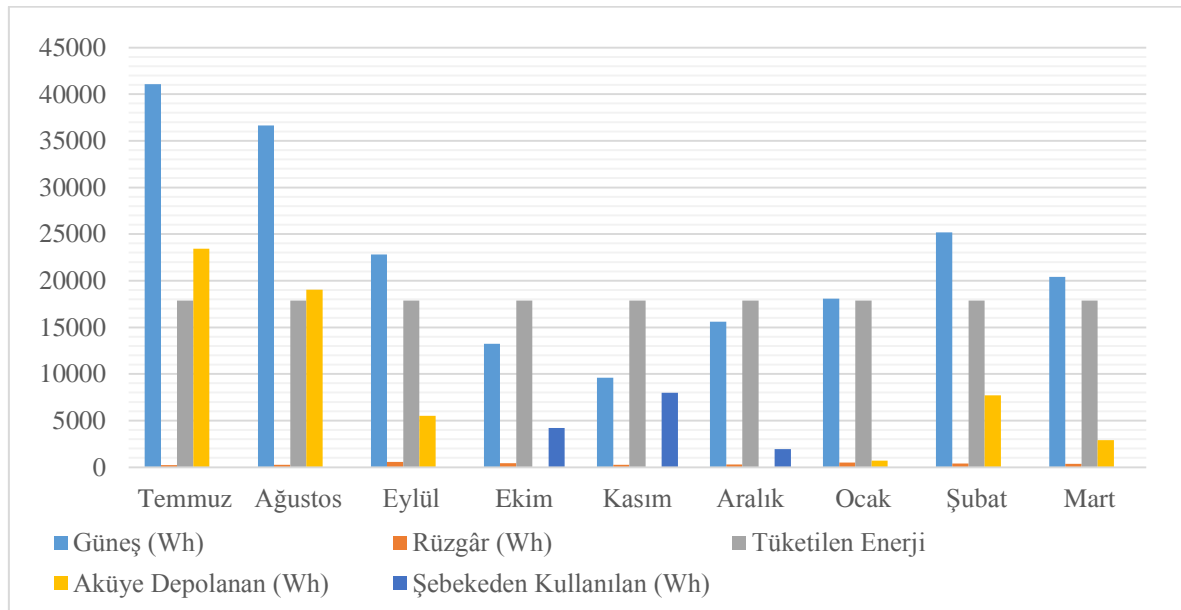


Şekil 4.4 Aylık bazda güneş panellerinden ve rüzgar türbininden üretilen, akü seviyesinin fazla olmasından oluşan kayıp olan, aküye depolanan ve yük tarafından tüketilen enerji durumu (Wh).

Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi klasik hibrit rüzgar-güneş panelleri ile üretilen enerji, aküde kayıp enerji ve tüketilen enerji miktarları görülmektedir. Kurulan bu sistemde üretilen enerji aküye depolanmaktadır. Yükün talebine göre aküden enerji çekilmekte ve yük beslenmektedir. Bu sistemde akü doluluk oranını aştığı durumlarda şarj işlemi duracaktır. Şarj eyleminin durduğu noktadan sonra tekrar şarj olana kadar üretilen enerji boşa gidecektir. Klasik sistemdeki kayıp bu noktadan itibaren başlamaktadır. Çizelge 4.3 de ve Şekil 4.3'te bu kayıp gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile tasarlanan hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin güneş ve rüzgardan elde edilen, tüketilen, aküye depolanan ve şebeke tarafından kullanılan enerji durumu.

| Aylar | Güneş (Wh) | Rüzgâr (Wh) | Tüketilen Enerji (Wh) | Aküye Depolanan (Wh) | Şebekeden Kullanılan (Wh) |
|---------|------------|-------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| Temmuz | 41 059,68 | 235,58 | 17 860 | 23 435,26 | 0 |
| Ağustos | 36 657,6 | 244,128 | 17 860 | 19 041,728 | 0 |
| Eylül | 22 809,6 | 563,0801 | 17 860 | 5 512,6801 | 0 |
| Ekim | 13 231,07 | 440,58 | 17 860 | 0 | 4 188,35 |
| Kasım | 9 608,29 | 266,16 | 17 860 | 0 | 7 985,55 |
| Aralık | 15 610,16 | 307,85 | 17 860 | 0 | 1 941,99 |
| Ocak | 18 060,61 | 497,44 | 17 860 | 698,05 | 0 |
| Şubat | 25 165,94 | 405,62 | 17 860 | 7 711,56 | 0 |
| Mart | 20 414,9 | 363,28 | 17 860 | 2 918,18 | 0 |



Şekil 4.5 Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile tasarlanan hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin güneş ve rüzgardan elde edilen, tüketilen, aküye depolanan ve şebeke tarafından kullanılan enerji durumu (Wh).

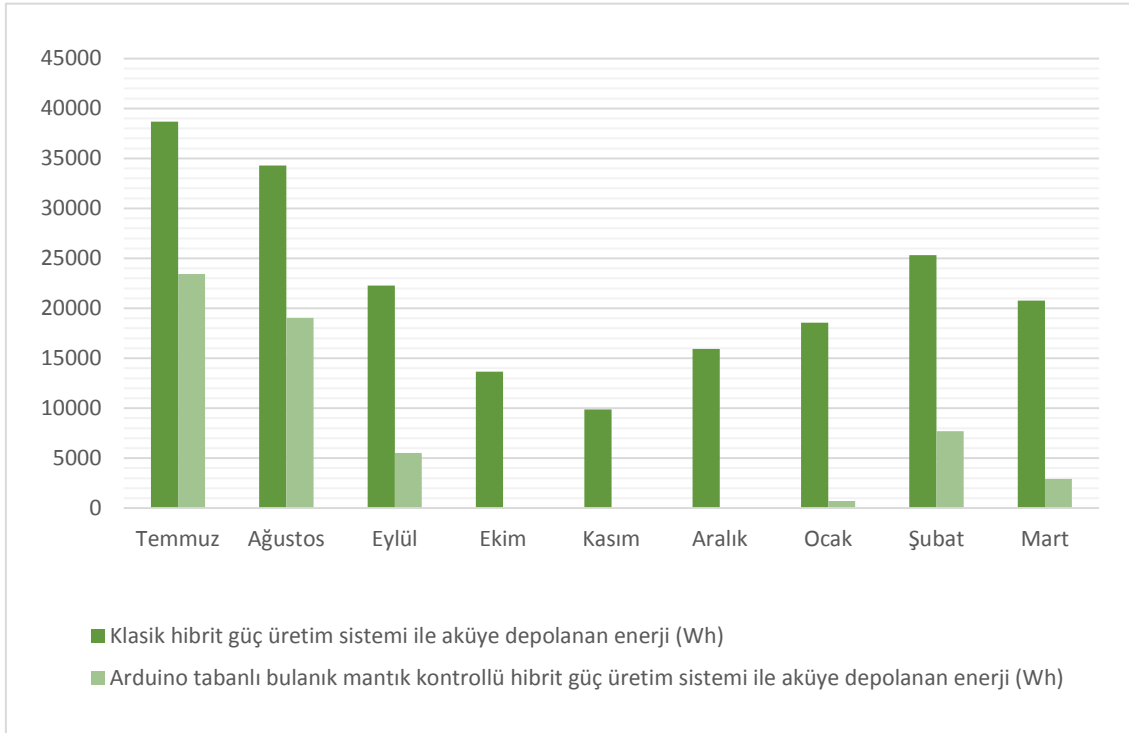
Çizelge 4.4’de Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile yapılan hibrit güç üretim sisteminden elde edilen, tüketilen, aküye depolanan enerji durumu görülmektedir. Çizelge 4.4’de tasarlanan sistem haricinde şebekeden kullanılan enerji durumu da görülmektedir. Sistem kontrolü için hazırlanan enerji akış diyagramına göre çalışmakta buna göre bulanık mantık kural tabloları tasarlanmaktadır. Üyelik fonksiyonları yüke ve gerçek zamanda rüzgar güneşten üretilen enerji durumuna göre tasarlanmıştır. Bu sistemde şebeke sadece rüzgar-güneş enerji üretim sisteminden yetersiz enerji geldiği durumlarda devreye girmektedir. Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi şebeke sadece 3 ay devreye girerek hibrit güç üretim sisteminin yetmediği durumlarda yükü çalıştırmıştır. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi Ekim, Kasım ve Aralık aylarında şebekeye ihtiyaç olmuştur. Onun haricindeki diğer 6 ay şebekeye ihtiyaç olmamıştır. Sistem içerisindeki algoritmaya göre akü doldurularak yük aküden beslenmektedir.

Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi yükün aslında tüketmesi gereken enerji miktarı günlük 500 W’tır. Bu değer aylık 15 000 W’a denk gelmektedir. Ancak DC-DC konvertörün %16’lık kaybindan dolayı bu rakam 17 860 W’a denk gelmektedir. DC-DC konvertörün verim hesapları gerçek zamanlı bir deney ile teyit edilmiştir.

Çizelge 4.4’de görüldüğü üzere aküye depolanan kısım klasik sistemin aksine algoritmaya göre güneş ve rüzgarın toplamı değildir. Bunun sebebi; enerji akış algoritmasına göre rüzgar-güneş enerji üretim sisteminin yükün gücünü karşıladığı durumlarda yükü beslemesi, aküyü şarj eden rölenin açık devre olması üzerine şarj işleminin bitirilmesi ile ilgilidir. Burada da günlük verilerin alındığı 9 aylık süreçte akünün Ekim, Kasım ve Aralık aylarında şarj edilmemesi söz konusudur. Şekil 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.5 Ay bazında aküye depolanan enerji durumu (Wh).

| Aylar | Klasik hibrit güç üretim sistemi ile aküye depolanan enerji (Wh) | Arduino tabanlı bulanık mantık kontrollü hibrit güç üretim sistemi ile aküye depolanan enerji (Wh) |
|---------|--|--|
| Temmuz | 38 692,06 | 23 435,26 |
| Ağustos | 34 298,528 | 19 041,728 |
| Eylül | 22 264,40652 | 5 512,6801 |
| Ekim | 13 671,65 | 0 |
| Kasım | 9 874,45 | 0 |
| Aralık | 15 918,01 | 0 |
| Ocak | 18 558,05 | 698,05 |
| Şubat | 25 311,18642 | 7 711,56 |
| Mart | 20 778,18 | 2 918,18 |



Şekil 4.6 Ay bazında aküye depolanan enerji durumu (Wh).

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi sistemin çalıştığı 3 aylık süreçte akünün depolanma oranlarında farklılıklar vardır. Klasik hibrit güç üretim sistemi Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolörlü sisteme göre daha fazla şarj edilmiştir.

Hibrit güç üretim sisteminin ürettiği enerji beklentilerin altındadır. Buna etki eden başlıca sebeplerden biri Cide ilçesinin güneş ve rüzgâr verimliliği açısından düşük seviyelerde olmasıdır. Bunu REPA' nın araştırmaları da doğrulamaktadır. Ayrıca tez çalışmasından önce de yapılan ve yapay zekâ yöntemleriyle potansiyel saptaması amaçlanan çalışmalarda doğrulamaktadır (Kaya and Oğuz 2016). Amasra için yapılan çalışmalarda potansiyeller olumlu yönde iken Cide için yapılan çalışmalarda potansiyeller daha az verimde olduğunu göstermektedir (Kaya vd. 2018, 2016).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Enerji kaynaklarının üretim değerleri, kullanıldıkları bölgelerin meteorolojik koşullarına ve coğrafi konumlarına bağlı olarak değişmektedir. Enerji üretimi yapılan bölgelerde sadece rüzgâr veya sadece güneş sistemi kurmak yeterli olmayabilir. Bundan dolayı hibrit sistemler son zamanlarda daha önemli hale gelmiştir.

Hibrit sistemlerin kullanım koşulları ve kullanıldıkları bölgelerin koşulları farklılık göstermekte, son zamanda bu sistemleri otomatik kontrol edebilen sistemler gelişmektedir. Bu sistemlerin en güncel olanı yapay zekâ temelli olanlarıdır. Ancak yapay zekâ yöntemleri ile enerji üretiminin yapıldığı sistemlerin ülkemizde çok gelişmediği görülmektedir. Klasik sistemler artık gelişen kontrol sistemlerde yerini yapay zekâ yöntemlerine bırakmaktadır. Yapay zekâ yöntemleri ile enerji üretim sistemleri hem daha kolay kontrol edilmekte hem de sınırı olmayan bir kontrol edilebilirlik sunmaktadır. Elbette bu sistemlerin de yavaş olması gibi dezavantajları vardır. Ancak hızlanan bilgisayar ve mikrodenetleyici sistemleri bu dezavantajları ortadan kaldıracaktır.

Yapılan çalışmada, şebekeden bağımsız hibrit bir güç üretim sistemi yapay zekâ yöntemleri ile kontrol edilmiştir. Burada yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantık kullanılmış ve Mamdani yöntemi ile üyelik fonksiyonları ve kural tabloları oluşturulmuştur. Oluşturulan kural tabloları, enerji üretim sistemini oluşturan rüzgâr türbini ve güneş panellerinden gelen sinyallere göre güç üretim sisteminin kontrolünü yapmaktadır. Çalışmada kullanılan rüzgâr türbini ve güneş panelleri ile üretilen enerjinin oldukça düşük seviyede olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi uygulamanın yapıldığı yerin rüzgâr ve güneş enerji üretimi açısından az verimli sayılmasıdır. Batı Karadeniz bölgesinde bulunan Cide ilçesinin güneşli gün sayısı oldukça azdır. Ayrıca rüzgâr enerji potansiyeli de yatırım yapmaya değer seviyede olsa da türbinin kurulduğu yerin coğrafi konumundan dolayı verim orta seviyelerdedir. Bu kurulum yeri belirlenirken laboratuvar koşullarını sağlamak ve 9 ay sürecek olan enerji seviyelerinin alınması süreci düşünülmüştür. Bundan dolayı sistem Cide Rıfat Ilgaz Meslek Yüksekokulu bahçesine kurularak çalışmalar yürütülmüştür.

Yapılan çalışmada Bulanık Mantık kural tablolarını bilgisayardan çalıştırarak kontrol sağlanmaktadır. Bu aslında hibrit güç üretim sisteminin en büyük problemidir. Ancak yapay zekâ yöntemlerini Arduino üzerinden gerçek zamanlı olarak çalıştırmanın başka yolları bulunarak sistem geliştirilebilir. Sistemin bilgisayarla bağlantısını sağlamak amacıyla Arduino Mega 2560 modeli kullanılmıştır. Aslında elektronik uygulamalar için gayet hızlı olan bu mikrodenetleyici bilgisayara bağlandığı ve üzerine Matlab gibi bir program üzerinden etkileşimli olarak çalıştığı zaman yavaşlamaktadır. Ancak Arduino Meganın giriş çıkış pinlerinin yeterli olması, sisteme kolay adapte edilmesi ve kurulum kolaylıkları oldukça iyi özellikleridir. Bu sebeple yavaş olsa bile kullanılabilir. Ancak bu tür sistemler Raspberry Pi ve diğer mikrodenetleyicilerle de gerçekleştirilebilir.

Bulanık mantık kontrolör sistem olarak oldukça uyumlu ve fonksiyonel bir yöntemdir. Bilindiği gibi kural tabloları ve üyelik fonksiyonları ile bütün kombinasyonlar yapılabilir. Özellikle enerji üretimi gibi çevre, zaman, üretim ve tüketim koşullarının sürekli değiştiği bir alanda bulanık mantığın kural tablolarının fonksiyonelliği oldukça büyük bir avantajdır. Literatür çalışmalarında da görüldüğü gibi enerji üretiminin yapıldığı bölgelerin çevre koşulları, üretim koşulları sürekli değişmektedir. Bulanık mantık bu tarz sistemler için birebirdir.

Şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sisteminin kural tablolarının, bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının ve Arduino I/O ara yüzü ile sisteme senkronize edilme süreci Matlab programı ile yapılmıştır. Matlab ile Arduino ara yüzünün kullanılmasında Simulink üzerinden bir destek programı kullanılmakta bu desteği firma ücretsiz sağlamaktadır. Bu destek ara yüzü kurmak sistemi kurmanın en zor kısmıdır ve bilgisayar özellikleri ile uyumu oldukça zordur. İlerleyen süreçte daha iyi bir destek sağlanabilirse sistemin hızı da ona göre artabilecektir.

Bu tez çalışmasında şebekeden bağımsız hibrit rüzgâr-güneş enerji üretim sisteminin Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolör ile enerji akışı kontrolü yapılmıştır. Böylelikle enerji talebi kesintisiz karşılanmıştır. Tasarlanan algoritma ile rüzgâr ya da güneş enerjisine öncelik verilerek enerji tüketiminde şebeke daha az kullanılmıştır. Üretilen

enerji yükü karşıladığı anda akünün dolma işlemi bırakılarak yük karşılanmaktadır. Eğer yenilenebilir kaynaklar yükü karşılamıyorsa aküden yük beslenmektedir. İstenildiğinde şebeke devreye girebilir. Sistemin çalışmasında Arduino biraz yavaş kalmaktadır. Bu sebeple daha hızlı sistemler denenebilir. Hibrit güç üretim sistemi ile üretilen enerji sayesinde verilerin alındığı 9 aylık bir süreçte şebekeye olan ihtiyaç sadece 3 aydır. Bunların haricinde sistem rüzgâr-güneş ve akü arasında döngü yapmaktadır.

Bu yapılan çalışma sonucunda veriler incelendiğinde coğrafi konum olarak daha etkin yerlerde daha fazla verimin alınabileceği kanısına varılmıştır. Sistemin verimini etkileyen en önemli etkenlerden biri de Arduino Mega'dır. Sistem Arduino Mega ile değil de daha hızlı mikrodenetleyicilerle kullanılarak anahtarlama hızlandırılabilir. Sisteme diğer güç üretim sistemleri de eklenebilir. Bunların kontrolü yapılabilmesi için sadece akım-gerilim değerlerinin sisteme dahil edilmesi yeterli olacağından ekstra maliyeti olmadan yeni algoritmalar gerçekleştirilebilir. Sistemin enerji kaynakları daha yüksek potansiyelle seçilerek elektrik dağıtım şebekesine senkronize edilebilir. Böylelikle bu tür sistemlerden kendi ihtiyacını gidermenin yanında kazanç da elde edilebilir. Daha sonra düşünülen projelerle sisteme yakıt pili ilave edilebilir. Sistemin verimliliğini arttırmak amacı ile farklı mikrodenetleyiciler kullanılabilir. Sistemde prototip olan yük yerine gerçek bir tüketici ihtiyacı karşılanabilir.

Tasarlanan Arduino tabanlı bulanık mantık kontrolörün klasik sistemlere göre, üretilen enerjiyi aküyü şarj etmeden yükü beslediği görülmüş ve akülerin ekonomik ömürlerini koruduğu sonucuna varılmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi ile kullanılan akünün 9 aylık süreçte 140 defa dolup boşalması engellenmiş ve akü ömrüne %4'lük bir katkı sağlanmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi ile enerji üretim sistemi enerji üretmediği durumlarda şebeke devreye girebilmekte ancak klasik sistemde bu mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla klasik sistemin sürekliliği Arduino tabanlı bulanık mantık kontrol sistemi ile kontrol edilen sistemden daha eksik olduğu sonucuna varılmıştır.

Sistemde bulanık mantığın kural tablolarının gerçek zamanlı olarak kullanılması ayrıca önemlidir. Yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantığın aktif ve fonksiyonelliği enerji üretim sistemlerini de aktif ve fonksiyonel hale getirmektedir.

6. KAYNAKÇA

- Abraham, A. (2001). Neuro-fuzzy systems: state-of-the-art modeling techniques, connectionist models of neurons, Learning Processes, and Artificial Intelligence. Springer-Verlag Germany. Jose Mira and Alberto Prieto (Eds.), Spain 269-276.
- Altın, V. (2004). Yeni ufuklara: nükleer enerji. *Bilim ve Teknik Dergisi*, **41**:3-4.
- Altun, Y., Öztürk, Z., Özüberk, H. (2016). Bulanık mantık ve arduino kullanarak step motorun hız kontrolü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **4**: 672-680.
- Anonim, (2017). A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030, (2014-2017). European Commission, Brussels
- Anonim, (2017). A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030, (2014-2017). European Commission, Brussels
- Anonim, (2017). MEB, Aküler, 2017, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Baykal, R. (2010). Örneklerle Temel Matlab. Murathan Yayınevi, Trabzon.
- Baykal N., Beyan T. (2010). Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler. Bıçaklar Kitapevi, Ankara.
- Bayram A. (2001). Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak pirina: üretimi, özellikleri, değerlendirilmesi. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 106-112, İzmir.
- Bingül, Z. (2006). Matlab ve Simulink'le Modelleme/Kontrol. II. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Boz, O. (2011). Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Bubbenzer, A., Luther, J. (2003), Photovoltaics Guide. Book for Decision.
- Ceylan, M. (2015). Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Çengel, Y.A., Boles, M. (2015). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Palme Yayınevi, Ankara.

- Çetinkaya, H.B. (2001). Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Çamoğlu, D. (2014). İleri Seviye Arduino. Dikeyksen Yayıncılık, İstanbul.
- Delebe, E. (2015). Projeler ile Arduino, Kodlab Yayıncılık, İstanbul.
- Doğan, N. (2015). Arduino Hızlı Başlangıç Rehberi. Dikeyksen Yayıncılık, İstanbul.
- Eggleston, D.M., Stoddard, F.S. (1987). Wind Turbine Engineering Desing. Van Nosrand Reinhold International Company Limited.
- El Chaar, L., Lamont, L. A., El Zein, N. (2011). Review of Photovoltaic Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**: 2165–2175.
- Elmas, Ç. (2010).Yapay Zekâ Uygulamaları. Seçkin Yayıncılık, Ankara,187.
- Elmas, Ç. (2003). Bulanık Mantık Denetleyiciler. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 24-39.
- Erdal, L. (2011). Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Faktörler ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Alternatifi. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- Fesli. U. (2009). Mikrodenetleyici Denetimli Düşük Güçlü Yenilenebilir Enerji Üreteci Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Frandsen,S., Christensen,C.J. (1992). Accuracy of estimation of energy production from wind power plants. *Wind Engineering* **16**:257-268.
- Girgin, M.H. (2011). Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Hepbasli, A. (2008). A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renewable and sustainable energy reviews* **12**: 593-661.

- Islam, M., Rahman, M. Z., Mominuzzaman, S. M., (2014). The effect of irradiation on different parameters of monocrystalline photovoltaic solar cell. *Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)*,1-6.
- İlkılıç, C. (2009). Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyeli ve kullanımı, *Mühendis ve Makine Dergisi*, **50**:26-33.
- Kanat, V. (2015). Hızlı ve kolay Arduino. Dikeyksen Yayıncılık, İstanbul.
- Kanat, V. (2015). Sensörler ve Arduino, Dikeyksen Yayıncılık, İstanbul.
- Kaya, Ü., Oğuz, Y., Şenol, Ü. (2018). An assessment of energy production capacity of Amasra town using artificial neural networks. *Turkish Journal of Electromechanics & Energy*, **3**: 22-26.
- Kaya,Ü., Caner,M., Oğuz,Y. (2016). Rüzgâr türbin modelleri kullanarak Kastamonu ili rüzgâr ile elektrik üretim potansiyeli tahmini. *Technological Applied Sciences*, **11**: 65-74.
- Kaya,Ü., Oğuz,Y. (2016). Farklı rüzgâr türbinlerinin güç eğrileri kullanılarak cide'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin yapay sinir ağları (YSA) ile tahmin edilmesi. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), Çukurova Üniversitesi, Adana, 26-28 Nisan,3140-3145
- Keleş, R., Hamamcı, C., Çoban, A. (2009). Çevre politikası (9. Baskı). İmge Kitabevi, Ankara.
- Kısar, O.A. (2009). Rüzgârdan enerji üretimi ve rüzgâr türbinlerinin evrimi. *Tübav Bilim Dergisi*, **1**:55-62.
- Koç, E., Kaplan, E. (2008). Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu-I dünya değerlendirmesi. *Termodinamik Dergisi*, **187**:70-80.
- Koç, E., Kaplan, E. (2008). Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu-II Türkiye Değerlendirmesi, *Termodinamik Dergisi*,**188**:106-118.
- Kornelakis, A. (2010).Multiobjective particle swarm optimization for the optimal design of photovoltaic grid-connected systems. *Solar Energy*,**84**: 2022-2033.

- Krishan, R., Sood, Y. R. Uday Kumar, B. (2013). The simulation and design for analysis of photovoltaic system based on MATLAB, Energy Efficient Technologies for Sustainability. 2013 International Conference on the IEEE, 2013, 647-651.
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H.D., Avcı, E.D. (2005). Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Mersin Üniversitesi, Mersin, 19-21 Ekim, 32-38.
- Küleççi, Ö.C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, **2**:83-91.
- Lin, L. (2005). Investigation characteristics and application of hybrid solar-wind power generation systems. Doctoral Thesis, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.
- Nabil, A. A., Masafumi, M. (2008). A stand-alone hybrid generation system combining solar photovoltaic and wind turbine with simple maximum power point tracking control. *Sophia University, IEEE Transactions on Energy Conversion*. Tokyo, **1**: 4244-4249.
- Oğuz, E. (2012). Bir Laboratuvar Aydınlatma Sistemi İçin Batarya Desteklemeli Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Üretim Sisteminin Simülasyonu ve Bulanık Mantık Kontrolör ile Enerji Akış Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Önal, E. Yarbay, R.Z. (2010). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **18**:77-96.
- Özcan, M., Günay, H. (2009). Mikrodenetleyici Geliştirme Seti Tasarım ve Uygulamaları. *Journal of Technical-Online Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu*, **8**:307.
- Özgöçmen, A. (2007). Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk, H.H. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Birsen Yayınları, Ankara.

- Öztürk, H.H.(2012),Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınları, Ankara.
- Richardson, R.D., Mc Nerney, G.M. (1993). Wind energy systems. *Proceeding of the IEEE* **81**:378-389.
- Ruey-Hsun L. (2007). A fuzzy-optimization approach for generation scheduling with wind and solar energy systems, *IEEE Transactions On Power Systems*,**22**:47-57
- Sayantani D., Ritesh D., Swain S. (2015). Fuzzy based optimal load management in standalone hybrid solar pv /wind/fuel cell generation system. 2015 International Conference on Communication, Control and Intelligent Systems.
- Shaahid, S.M., Elhadidy. M.A. (2007). Technical and economic assessment of gridindependent hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for commercial loads in desert environments. *Renewable and sustainable energy reviews* **11**:1794-1810.
- Sevil, M., Elalmış, N., Görgün, H., Aydın, N. (2015). Control of air conditioning with fuzzy logic controller design for smart home systems, *Sigma Journal*, **33**: 439-463.
- Sevinç, H. (2015). Arduino nesnelerin interneti. Dikeyksen Yayıncılık, İstanbul.
- Sreedher, R.G. (2005). Modeling and Power Management of a Hybrid Wind-Microturbine Power Generation System. Master of Science in Electrical Engineering, Montana State University, Bozeman Montana.
- Taşdemir, C. (2013). Arduino. Dikeyksen Yayıncılık, İstanbul.
- TEİAŞ. (2017). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Faaliyet Raporu, Ankara.
- Turgut, E., Selçuk, K. (2011). Elektrik Enerjisi Üretimi İletimi ve Dağılımı. Detay Yayıncılık, Ankara.
- Tosun, İ. (2007), Enerji iletimi ve dağıtımı, Birsen Yayıncılık, İstanbul.
- Villalva, M.G. ve Gazoli, J.R. (2009). Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. Power Electronics, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, **24**:1198-1208.

- Wai, R.J., Wang, W.H., Lin, C.Y. (2008). High-Performance stand-alone photovoltaic generation system, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, **55**:240-250.
- Yağcı, E. (2013). Rüzgâr Hızı Yükseltmelerinde Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması ve Hata Analizleri. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, İstanbul.
- Yılmaz, M. (2012) Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* **4**:33-54.
- Zhu, W., Yang, S., Wang, L., Luo, L. (2011). Modeling and Analysis of Output Features of the Solar Cells Based on MATLAB/Simulink, *Materials for Renewable Energy & Environment (ICMREE)*, 2011 International Conference on the IEEE, 2011, 730-734.

İnternet Kaynakları

- 1) <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> 03.02.2018
- 2) <https://www.ultraenerji.com/fosil-yakitlar/fosil-yakitlar.html> 13.03.2018
- 3) <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur> Erişim tarihi 15.03.2018
- 4) <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji> 15.03.2018
- 5) <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz> 19.03.2018
- 6) <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> 19.03.2018
- 7) <https://egitim448.wordpress.com/2017/02/10/ruzgar-turbinleri> 21.05.2018
- 8) <http://www.elektrikport.com/haber-roportaj/ruzgar-turbinlerinin-cesitleri-ve-birbirleriyle-karsilastirilmesi/8178#ad-image-0> 21.05.2018
- 9) <http://sunenerji.blogspot.com.tr/2013/10/ruzgar-turbinhtml> 21.05.2018
- 10) http://intechglobalenergy.com/ruzgar_enerjisi_santralleri.php 21.05.2018
- 11) <http://www.elektrikuretimi.org/ruzgar-turbinleri> 14.07.2018
- 12) <http://www.enerjibes.com/solar-panel-cesitleri-nelerdir/> 14.07.2018
- 13) <https://www.donanimhaber.com/Gunes-panellerinde-verimlilik.htm> 14.07.2018
- 14) http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx 14.07.2018
- 15) http://www.eie.gov.tr/teknoloji/dalga_enerjisi.aspx 14.07.2018
- 16) <http://www.enerjibes.com/dalga-enerjisi/> 14.07.2018
- 17) http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx 16.09.2018
- 18) http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx 16.09.2018
- 19) http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeo_enerji_nedir.aspx 16.09.2018
- 20) http://www.eie.gov.tr/teknoloji/h_enerjisi.aspx 16.09.2018
- 21) <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> 16.09.2018
- 22) <https://www.arduino.cc/en/Main/warranty> 18.09.2018
- 23) http://www.robotiksystem.com/arduino_mega_2560_ozellikleri.html 19.09.2018
- 24) <https://ozcanfatih.wordpress.com/2014/12/13/acs712-akim-sensoru> 05.11.2018
- 25) <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-current-measurements/acs712-current-sensor-user-manual/> (2017). 05.11.2018
- 26) <https://nejattukenmez.wordpress.com/2016/07/11/bulanik-mantik-tarihteki-ilk-kullanim-alanlari> 06.11.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ünal KAYA
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul-16.06.1986
Yabancı Dil : İngilizce
İletişim : 05052895248
unalky@gmail.com
ukaya@kastamonu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Avcılar Endüstri Meslek Lisesi, Elektronik Bölümü (2000-2003)
Lisans : Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Öğretmenliği (2005-2009)
Yüksek Lisans : Fırat Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Eğitim Programları ve Öğretim Ana Bilim Dalı (2011-2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2015-2019)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

Clariant Kimyevi Maddeler ve Madencilik San. ve Tic. A.Ş. (2002-2004)
Modeksan Telekomünikasyon San. ve Tic. A.Ş. (2004-2005)
Kastamonu Üniversitesi Cide Rıfat Ilgaz Meslek Yüksekokulu (2013-Devam Ediyor)

Yayınlar (Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler)

Kaya, Ü., Oğuz, Y., Şenol, Ü. (2018). An Assessment Of Energy Production Capacity Of Amasra Town Using Artificial Neural Networks. *Turkish Journal Of Electromechanics Energy*, **3**: 22-26.

Islak, S., Akkaş, M., Kaya Ü., Güzel, H.G. (2017). Cu-Tic Kompozitlerin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli İle Tahmini. *NWSA Academic Journals*, **12**: 122-129.

Kaya, Ü., Semerci, Ç. (2017). Yükseköğretimde Bağlı ve Mutlak Değerlendirmeye İlişkin Öğretim Elemanlarının Görüşleri. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, **5**:457-467.

Sezgin, C.T., Kaya, Ü., Akkaş, M. (2016). Estimating Wearing Rate Of Steel Coating Sic P By Using Tig Method With Artificial Neural Networks. *E-Journal Of New World Sciences Academy*, **11**: 146-152.,

Kaya, Ü., Caner, M., Oğuz, Y. (2016). Wind Energy Potential Estimation Via Artificial Neural Networks. *E-Journal Of New World Sciences Academy*, **11**: 65-74.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler:

Kaya, Ü., Ertuğrul, N.T., Güleç H.G. (2018). An Application Of Battery Charging Using Buck Converter For The Energy Generated From A Wind Turbine. International Congress On Engineering And Life Sciences. Kastamonu.

Caner, M., Kaya, Ü., Güleç H.G. (2018). An Experimental And Simulation Study On The Electromagnetic Field Inside A Solenoid. International Congress On Engineering And Life Sciences. Kastamonu.

Kaya, Ü., Oğuz, Y. (2018). Rüzgâr Türbini Ve Bulanık Mantık Teknolojisi İle Tasarlanan Enerji Üretim Sisteminin Kontrolü. IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu, Edirne.

Kaya, Ü., Oğuz, Y. (2018). Pv Paneller İle Tasarlanan Enerji Üretim Sisteminin Bulanık Mantık İle Gerçek Zamanlı Kontrolü. IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu, Edirne.

Kaya, Ü., Oğuz, Y. (2017). Bulanık Mantık ve Arduino Kullanarak Enerji Akış Kontrolü. Uluslararası Mesleki Bilimler Sempozyumu, Antalya. 201-205.

- Caner, M., Kaya, Ü., Kaya, K. (2017). Akım Halkaları İle Biot-Savart Yasası Doğrulaması İçin Deneysel Kurulum Ve Sonlu Elemanlar Simulasyonu. Uluslararası Mesleki Bilimler Sempozyumu, Antalya,108.
- Kaya, Ü., Oğuz, Y., Güleç, H.G. (2017). Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Çoklu Adaptif Bulanık Sinir Ağları İle Enerji Tüketimi Değerlendirmesi. Uluslararası Mesleki Bilimler Sempozyumu, Antalya,755.
- Kaya, Ü., Oğuz, Y. Şenol, Ü. (2017). Enerji Üretim Tesislerinde Üretim Kapasitesinin Yapay Sinir Ağları İle Değerlendirilmesi. 2nd International Conference On Advanced Engineering Technologies, Bayburt. 276-282.
- Güleç, H.G., Demirel, H., Kaya, Ü. (2017). Fotovoltaik Destekli Düşürücü Dönüştürücü İle Arduino Kontrollübatarya Şarj Uygulaması. 2nd International Conference On Advanced Engineering Technologies, Bayburt, 991-996.
- Kaya, Ü., Oğuz, Y. (2016). Farklı Rüzgâr Türbinlerinin Güç Eğrileri Kullanılarak Cide Nin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları Ysa İle Tahmin Edilmesi. 1st International Mediterranean Science And Engineering Congress, Adana,3140-3145.
- Sezgin, C.T., Islak S., Kaya, Ü. (2016). Gta Yöntemi Kullanılarak Üretilen Sic P Esasli Kaplama Sertliklerinin Yapay Sinir Ağları Ysa Yöntemi İle Tahmin Edilmesi. 1st International Conference On Engeneering Technology And Applied Sciencesafyon Kocatepe University. Afyonkarahisar.
- Kaya, Ü., Oğuz, Y. (2016). Prediction Of The Wind Speed Of Erzincan Province With Artificial Neural Networks And Prediction Of Power Potential To Be Generated Annually With Enercon E 70 Tribune. International Conference On Natural Science And Engineering, Kilis, 1269-1277.
- Kaya, Ü. Oğuz, Y. Caner, M. (2016). Kastamonu İlinin Rüzgar Enerji Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, (EEB2016) Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu, 11-13 Mayıs 2016, Tokat,127-132.