

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ EKSENLİ SENSÖRSÜZ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN
BULANIK MANTIK TABANLI VE GERÇEK ZAMANLI
OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl KARADENİZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN
BULANIK MANTIK TABANLI VE GERÇEK ZAMANLI
OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Anıl KARADENİZ
(161082318)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK

HAZİRAN 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 161082318 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Anıl KARADENİZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İKİ EKSENLİ SENSÖRSÜZ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK TABANLI VE GERÇEK ZAMANLI OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Yusuf YAŞA**
Bursa Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK
Gümüşhane Üniversitesi

Savunma Tarihi : 24 Haziran 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Anıl KARADENİZ

İmzası :

X



Anneme, abime, nişanlıma ve babama...

ÖNSÖZ

Bu tezi yazmamda ve projeyi gerçekleştirmemde desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK ve Arş. Gör. Alper YILMAZ hocalarıma, Mustafa EKİNCİ ve Ekin Pano firması çalışanlarına, fikir almak, bilgi edinmek için sorular sorduğum Murat BAYRAM arkadaşşıma ve tüm arkadaşşılarşıma, benim için sürekli bir itici güç sağlayan, her koşulda benden desteklerini esirgemeyen başta anneme, abime ve nişanlışıma olmak üzere tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışşıma, Bursa Teknik Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında 190Y0004 proje numarasıyla desteklenmiştir.

Haziran 2019

Anıl KARADENİZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ...	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Çalışmanın Özgün Değeri	3
1.3 Literatür Araştırması	4
1.4 Motivasyon.....	11
2. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ	12
2.1 Fotovoltaik (FV) Sistemler.....	12
2.2 Konsantre Güneş Enerjisi Sistemleri.....	13
2.3 Aktif Güneş Takip Yöntemleri.....	14
2.4 Pasif Güneş Takip Yöntemleri	15
3. MATERYAL ve METOD	17
3.1 Mekanik Tasarım.....	21
3.2 Elektriksel Tasarım	23
4. UYGULAMA.....	27
4.1 Güneş'in Konumunun Belirlenmesi.....	27
4.2 Sensörsüz Otomatik Güneş Takip Sistemi	28
4.3 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic).....	29
4.3.1 Dilsel değişkenler.....	30
4.3.2 Dilsel terimler ve üyelik fonksiyonları	30
4.3.3 Kurallar	30
4.4 Sensörsüz Bulanık Mantık Tabanlı Güneş Takip Sistemi.....	31
4.4.1 Giriş.....	31
4.4.2 Bulanık mantık modülünün yapısı	32
4.4.3 Bulanık mantık kontrolörü tasarımı	32
4.4.4 Azimut açısı için bulanık mantık kontrolörünün geliştirilmesi	33
4.4.4.1 Giriş / Çıkış üyelik fonksiyonları.....	34
4.4.4.2 Kural tabanının oluşturulması	36
4.4.5 Yükselme açısı (elevation) bulanık mantık kontrolörü.....	38
5. SONUÇLAR	40
5.1 Sensörsüz Otomatik Güneş Takip Sistemi Sonuçları.....	40
5.2 Sensörsüz Bulanık Mantık Tabanlı Güneş Takip Sistemi Sonuçları	44
5.3 Yapılan Ölçümler ve Karşılaştırma.....	45
5.3.1 Sensörsüz Otomatik GTS ile Sabit FV Sistemin Karşılaştırılması.....	46

5.3.2 Bulanık Mantık Tabanlı Sensörsüz GTS ile Sabit FV Sistemin Karşılaştırılması	48
5.3.3 Sensörsüz Otomatik GTS İle BMKV GTS'nin Karşılaştırılması	50
5.4 Öneriler.....	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ.....	57



KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
BMKV	: Bulanık Mantık Tabanlı Karar Verici
BTÜ	: Bursa Teknik Üniversitesi
CoG	: Center of Gravity (Ağırlık Merkezi)
CSP	: Konsantre Güneş Enerjisi
DAQ	: Veri Toplama
DC	: Doğru Akım
ESTELA	: Avrupa Güneş Termal Elektrik Enerjisi Birliği
FREN	: Fuzzy Rules Emulated Network (Bulanık Kurallara Benzeyen Ağ)
FV	: Fotovoltaik
GTS	: Güneş Takip Sistemi
LDR	: Light Dependent Resistör (Foto Direnç Sensörü)
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
METEOSAT	: Uzaydan Dünya Fotoğraflarını Çekebilen Uydu Programı
NI	: National Instruments
OT	: Orantısız Türev
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrolör)
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TR	: Türkiye
USNO	: United States Naval Observatory (Amerika Birleşik Devletleri Deniz Gözlemevi)
ÜF	: Üyelik Fonksiyonu

SEMBOLLER

A_{calcA}	: Hesaplanan azimut açısı değeri
A_{calcE}	: Hesaplanan elevation açısı değeri
A_{dataA}	: USNO veri tabanı azimut açısı değeri
A_{dataE}	: USNO veri tabanı elevation açısı değeri
dH_{Azimut}	: Azimut açısı hata değişim oranı
$dH_{Elevation}$: Elevation açısı hata değişim oranı
EoT	: Zamanın denklemi
H_{Azimut}	: Azimut açısı hata değeri
$H_{Elevation}$: Elevation açısı hata değeri
GüneşSaati	: Güneş'in pozisyonuna bağlı olarak hesaplanan gerçek zaman
IP65	: Koruma sınıfı
L_{ST}	: Standart boylam değeri
L_{LOC}	: Yerel standart meridyen zamanı
SaatDilimi	: Bölgenin bulunduğu saat dilimi
StandartSaat	: Bir bölgenin yerel saati
β	: Saatin standart saat ile yer değiştirmesi
n	: Günün yıl içindeki sırası
θ°	: Geliş açısı (angle of incidence)
δ	: Yükseklik açısı (declination angle)
α	: Yükselme açısı (elevation angle)
Z	: Zenit açısı (zenith angle)
γ_s	: Güneş azimut açısı (solar azimuth angle)
$^\circ C$: Santigrat derece
$^\circ$: Derece (açı)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Literatürde incelenen pasif takip yöntemlerinin karşılaştırması.....	11
Çizelge 3.1 Kullanılan lineer motor özellikleri.....	22
Çizelge 3.2 Kullanılan güneş panellerine ait elektriksel özellikler.....	23
Çizelge 4.1 Azimut açısı için oluşturulan bulanık mantık temelli 7x7 kural matrisi.	36
Çizelge 4.2 Bulanık mantık temelli 5x5 kural matrisi.	39
Çizelge 5.1 Hesaplanan güneş açıları.	41
Çizelge 5.2 USNO veri tabanından alınan ve LabVIEW yazılımı ile hesaplanan azimut açısı ve yükselme açısı değerleri.	44
Çizelge 5.3 Takibi sağlayan motorların harcadığı güç miktarları.	46
Çizelge 5.4 Otomatik GTS ve sabit sistemin ürettiği akım ve gerilim değerleri.	47
Çizelge 5.5 Otomatik GTS ve sabit FV sistemden elde edilen güç ve verim.	47
Çizelge 5.6 BMKV Güneş Takip Sistemi ve Sabit FV Sistem tarafından üretilen akım ve gerilim değerleri.	48
Çizelge 5.7 BMKV güneş takip sisteminden ve sabit FV sistemden elde edilen güç değerleri.	49
Çizelge 5.8 Geliştirilen güneş takip sistemleri tarafından üretilen güç miktarları. ...	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Kontrol yöntemlerine göre güneş takip sistemleri [4].	4
Şekil 1.2 Ölçüm sonuçları [10].	5
Şekil 2.1 FV sistemlerin yapısı.	12
Şekil 2.2 a) Parabolik oluk kollektör, b) Merkez odaklı kollektör, c) Çanak kollektör.	13
Şekil 2.3 Aktif güneş takip yöntemleri genel yapısı [5].	14
Şekil 2.4 Güneş takip yöntemleri [6].	15
Şekil 2.5 Pasif güneş takip yöntemleri genel yapısı.	16
Şekil 3.1 Meridyenler ve paraleller.	17
Şekil 3.2 Güneş geliş açısı.	19
Şekil 3.3 Güneş eğiklik açısı.	19
Şekil 3.4 Yükselme açısı ve zenit açısı.	20
Şekil 3.5 Eğim açısı ve yönelme açısı.	20
Şekil 3.6 Tüm güneş açılarının şematik gösterimi [51].	21
Şekil 3.7 Geliştirilen iki eksenli güneş takip sisteminin mekanik yapısı.	21
Şekil 3.8 Güneş takip sisteminin genel blok şeması.	22
Şekil 3.9 Geliştirilen sistemde kullanılan lineer DC motor.	22
Şekil 3.10 Geliştirilen güneş takip sisteminin elektriksel kontrol yapısı.	23
Şekil 3.11 LabVIEW blok diyagramı ve ön paneli.	24
Şekil 3.12 NI USB-6001 veri toplama ve kontrol kartı.	25
Şekil 3.13 Sistem kontrol panosu.	25
Şekil 3.14 Sistem güç panosu.	26
Şekil 4.1 Güneşin konumunu ve açılarını hesaplamak için geliştirilen program.	28
Şekil 4.2 Sensörsüz otomatik güneş takip sistemi akış diyagramı.	29
Şekil 4.3 Bulanık mantık süreci.	31
Şekil 4.4 Güneş ışınlarının panel yüzeyine geliş açısı.	33
Şekil 4.5 (a) Azimut açısı hatası için üyelik fonksiyonu (b) Azimut açısı hatasının değişim oranı için üyelik fonksiyonu.	34
Şekil 4.6 'U' çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları adım süresi.	35
Şekil 4.7 Azimut açısı için tasarlanan bulanık mantık sistemi.	37
Şekil 4.8 (a) Yükselme açısı hatası için üyelik fonksiyonu (b) Yükselme açısı hatasının değişim oranı için üyelik fonksiyonu.	39
Şekil 4.9 'U' çıkış değişkeninin tekli üyelik fonksiyonları adım süresi.	39
Şekil 5.1 Sensörsüz otomatik güneş takip sisteminden 29.06.2019 gününde elde edilen azimut ve yükselme açılarının değişimi.	40
Şekil 5.2 Azimut açısı saatlik değişim grafiği.	42
Şekil 5.3 Doğu-Batı motoru gün içindeki çalışma süreleri.	42
Şekil 5.4 Elevation açısı saatlik değişim grafiği.	43
Şekil 5.5 Kuzey-Güney motoru gün içindeki çalışma süreleri.	43
Şekil 5.6 Bulanık mantık tabanlı karar verici motor hareket süresi sonuçları.	45

Şekil 5.7 Sabit FV panel ve hareketli FV panel deneysel çalışma.....	45
Şekil 5.8 Otomatik GTS ve sabit FV sistem tarafından üretilen güç değerleri.	47
Şekil 5.9 BMKV güneş takip sistemi ve sabit FV sistem tarafından üretilen güç değerleri.	49
Şekil 5.10 BMKV ve otomatik güneş takip sistemlerinin ürettiği güç.	50



İKİ EKSENLİ SENSÖRSÜZ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN BULANIK MANTIK TABANLI VE GERÇEK ZAMANLI OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, günümüzde hızlı bir şekilde artmaktadır. Fotovoltaik (FV) sistemlerde güneş panellerinin ve sistemi oluşturan inverterlerin verimleri gün geçtikçe artmasına rağmen, uygulamada elde edilen elektrik enerjisinin verimi geleneksel üretim sistemleriyle kıyaslandığında oldukça düşüktür. Bu nedenle, güneş takip sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesi, FV sistemlerin verimlerinin artırılabilirliği açısından önemli bir konudur.

Bu çalışmada, iki eksenli bir güneş takip sisteminin (GTS) mekaniksel ve elektriksel tasarımı gerçekleştirilerek, matematiksel modele dayanan bulanık mantık (Fuzzy Logic) tabanlı akıllı bir kontrol yöntemi önerilmiştir. Önerilen iki eksenli GTS’de güneşin yükselme ve eğilme açıları hesaplanarak, bulunan bölgenin enlem ve boylamına göre güneşin konumu tespit edilmektedir. FV sistem herhangi bir ışınım sensörü kullanmadan, hesaplanan pozisyona göre güneşi takip etmektedir. Böylece mevcut yöntemlerde çevresel faktörlerden kaynaklanan konum tespit hataları ortadan kaldırılmıştır. Güneş takibinde motorların hareketi için belirlenen adım süreleri, gerçek zamanlı olarak geliştirilen bulanık mantık tabanlı bir karar verici ile sisteme verilmektedir. Bu sayede iki eksenli GTS, hem FV panellerin konumunu, hem de adım sürelerini otomatik olarak belirlemektedir. Motorların ve tüm sistemin kontrolü LabVIEW ortamında geliştirilen gerçek zamanlı yazılım ile sağlanmıştır. Geliştirilen iki eksenli GTS, sabit ve tek eksenli GTS ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, önerilen iki eksenli sensörsüz otomatik GTS yöntemi ile sabit FV sisteme göre %28,7 daha fazla elektrik enerjisi elde edilebilmiştir. Önerilen diğer bir sistem olan bulanık mantık tabanlı karar verici sensörsüz GTS yöntemi ile sabit FV sisteme göre %30,5 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği gözlemlenmiştir. Önerilen iki farklı GTS yönteminin karşılaştırılması sonucunda, bulanık mantık tabanlı sistemin, sensörsüz otomatik sisteme oranla %6,64 daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir. Ayrıca geliştirilen bulanık mantık tabanlı kontrolör ile adım süreleri %97,24 doğrulukla tespit edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar, önerilen iki eksenli GTS’nin mevcut yöntemlere göre geliştirilmesinin daha kolay olduğunu, FV sistemden elde edilen verimin oldukça arttığını, güneş takibinin daha kararlı ve doğru bir şekilde yapılabildiğini göstermektedir. Gerçek zamanlı olarak geliştirilen akıllı GTS’nin özellikle FV ve konsantre güneş enerjisi (CSP) temelli sistemlerde kolaylıkla uygulanabileceği de ön görülmüştür.

Anahtar kelimeler: İki Eksenli Güneş Takip Sistemi, Sensörsüz Güneş Takip Sistemi, Bulanık Mantık, Fotovoltaik Sistem, Gerçek Zamanlı Veri Toplama

FUZZY LOGIC BASED AND REAL-TIME ACTUALIZATION OF TWO AXIS SENSORLESS SOLAR TRACKER SYSTEM

SUMMARY

The production of electrical energy from solar energy is increasing rapidly today. In photovoltaic (PV) systems, efficiency of the solar panels and the inverters are increase day by day although the efficiency of the electrical energy obtained in the application is very low. Therefore, the design and development of solar tracking systems is an important for increasing the efficiency of PV systems.

In this study, a mechanical and electrical design of a two-axis solar tracking system (STS) implemented and an intelligent control method using fuzzy logic based on mathematical model proposed. In the proposed two-axis GTS, the sun's declination and tilt angles are calculated and the position of the sun is determined according to the latitude and longitude of the region. The PV system tracks the sun according to the calculated position without using any light sensors. Thus, position determination errors due to environmental factors have been eliminated in existing methods. The step lengths for the movement of the motors are given to the system with a real time developed fuzzy logic based decision maker. In this way, the two-axis STS automatically determines both the position of the PV panels and the step lengths. The control of the motors and the entire system is ensured by real-time software developed in the LabVIEW environment. With the proposed two-axis sensorless automatic GTS method, 28.7% more electrical energy was obtained compared to fixed PV system. Another proposed system, fuzzy logic based decision maker sensorless GTS method, was generated 30.5% more electrical energy than fixed PV system. As a result of the comparison of the two GTS methods, it was found that the fuzzy logic based system was 6.64% more efficient than the automatic system. Furthermore, with the fuzzy logic based controller, step times can be determined with an accuracy of 97.24%.

The results show that the proposed two-axis GTS is easier to develop than the existing methods, the efficiency obtained from the PV system is greatly increased, and that the solar tracking can performed more stable and accurate. Gerçek zamanlı olarak geliştirilen akıllı GTS'nin özellikle It has also been foreseen that the intelligent GTS, which is developed in real-time, can be easily applied especially in PV and concentrated solar energy (CPV) based systems.

Keywords: Two-Axis Solar Tracking System, Date-Time based Solar Tracking System, Fuzzy Logic, Photovoltaic System, Real Time Data Collection

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji, sanayileşme ve hızla artan nüfusa bağlı olarak enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaya devam etmektedir. Ancak Dünya'mızın sınırlı olan enerji kaynakları bu talebi karşılamaya yetmemekte ve bu sebeple yeni enerji kaynakları bulmak için çalışmalara devam edilmektedir.

Kullanmakta olduğumuz enerjinin büyük bir bölümü doğaya zararlı fosil yakıtlardan elde edilerek üretilmektedir. Bu sistemler çevreye zarar vermekte ve enerji talebimizi karşılamamakta zorlanmaktadır. Bu sorunları çözmek için yapılan araştırmalar sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmiştir. Bu kaynaklardan birisi de güneş enerjisidir.

TEİAŞ Mayıs 2019 verilerine göre ülkemizde üretilen enerjinin %45,7'si yenilenebilir enerji kaynaklarından (barajlı, akarsu, rüzgâr, güneş) elde edilmektedir [1]. Bu yenilenebilir kaynaklar içerisinde en yüksek orana sahip olan ise %23 ile hidroelektrik santralleridir. Güneşten elde edilen elektrik enerjisinin oranı %6,05 (5435,1 MW) olarak görünse de, 2007 yılında hiçbir FV tesisi olmadığı düşünüldüğünde, güneşten elektrik üreten santrallerin sayısının arttığı ve bu konudaki gelişmelerin hızlandığı görülmektedir. Ülkemizin enerji alanında kendi kendine yetebilmesi adına yenilenebilir enerji kaynakları alanında yapılan çalışmaların sayısının artması gerekmektedir.

Türkiye, Dünya üzerinde yer aldığı ve kapladığı alan itibari ile güneşten enerji üretebilmek adına birçok ülkeye göre daha avantajlı konumdadır. Avrupa ülkeleri arasında İspanya'dan sonra en yüksek ikinci güneş ışınım değerlerine sahiptir [2]. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası verilerine göre, yıllık ortalama güneşlenme süresi 7,5 saat/gün ve metrekareye düşen güneş ışınım değeri ise 4,2 kWh/gün olarak belirtilmiştir [3]. Türkiye her ne kadar güneşlenme süresi ve alanı açısından yüksek potansiyele sahip olsa da güneşten elektrik üretimi ve güneş enerjisi teknolojilerindeki çalışmalar yetersizdir.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesinde, hem geleneksel fotovoltaik (FV) sistemleri hem de yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (CSP) kullanılmaktadır. Bu sistemler tarafından üretilen elektrik enerjisi, topladıkları güneş enerjisi miktarına bağlıdır. Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlerde kullanılan FV malzemenin kalitesi ve çeşidi, coğrafi konum, ortam sıcaklığı, güneşin geliş ve ayrılış açısı gibi temel faktörler, toplanan güneş enerjisi miktarını etkiler. Son yıllarda, bu sistemler tarafından toplanan güneş enerjisi miktarını hem doğrudan hem de dolaylı teknikleri kullanarak artırmak için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu tekniklere ve sistemlere genel adıyla güneş takip sistemleri denilmektedir.

Bir güneş takip sisteminden beklenen en temel özellik, FV modülleri, güneşten gelen maksimum güneş ışığını yakalamak için güneşin gökyüzündeki hareketini izleyebilecek bir konuma yönlendirmesidir. Bir güneş takip sistemi, elektrik enerjisi üretimini arttırmak için, güneş ışığının geldiği en iyi açıyı hesaplayarak, güneş panellerinin en uygun konuma gelmesini sağlamalıdır. Elektrik enerjisi üretmek üzere böyle bir cihaz ve sistem tasarlamak, kapsamlı matematiksel hesaplamalar ve farklı güneş parametrelerinin ayrıntılı ölçümlerini gerektirir. Bu parametrelerden en önemlisi günlük ortalama güneş ışınımıdır. Günlük ortalama güneş ışınımı, dünya çapında 4 ile 7 kilowattsaat (kWh/m²) aralığında değişir [33]. Bu yüksek miktardaki günlük güneş ışınımı; su pompalama, telekomünikasyon sistemleri ve aydınlatma gibi daha birçok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Güneş ışınımı; aylara, günün saatine, hava koşullarına, coğrafi bölgeye ve gökyüzündeki güneşin konumuna bağlı olarak değişmektedir [4]. Bu nedenle güneş ışınımı, güneş takip sistemlerinin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametrelerdendir.

1.1 Tezin Amacı

Güneş paneli ile elektrik üretilen güneş enerjisi sistemlerinde paneller genellikle sabit olarak konumlandırılır. Panellerin güneşten gün boyu en yüksek düzeyde elektrik üretebilmeleri için güneşin gökyüzünde olduğu tüm saatler boyunca güneşi görmeleri ve güneş ışınlarının mümkün olan en dik açıyla panellere ulaşması gerekir. Sabit olarak konumlandırılan güneş enerjisi sistemlerinde, panellerin güneşi görme süresi sistemin bulunduğu bölgenin günlük güneşlenme süresine göre oldukça kısa olup, güneş ışınlarının panele gelme açısı da sürekli dik açıda değildir.

Sabit güneş enerjisi sistemleri verimli olmadığından, panellerin güneşten daha fazla faydalanabilmesi için güneşin gökyüzündeki yer değişimlerini takip edebilen hareketli sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada iki eksenli bir güneş takip sisteminin gerçek zamanlı akıllı bir denetleyici ile tasarlanması ve geliştirilmesi hedeflenmiştir. Güneş takibi için, FV sistemin kurulduğu konumun koordinat bilgileri (enlem ve boylam), tarih ve saat bilgileri ve saat dilimi bilgisi göz önüne alınarak, matematiksel olarak güneşin gökyüzündeki konumunun belirlenmesi ile güneş ışınlarının gelme açıları bulunarak panellerin hesaplanan konuma yönelmesi amaçlanmıştır. Bu sayede, bulutlu hava, rüzgarlı hava ve yansayan yüzeyler gibi çevresel koşullardan etkilenmeden, güneş takibinin kararlı ve sürekli bir şekilde devam ettirilmesi amaçlanmıştır. Güneş takibi sırasında doğu-batı ve kuzey-güney eksenlerinde hareketi sağlayan motorların adım aralıklarının geliştirilen bulanık mantık tabanlı akıllı bir karar verici ile otomatik olarak hesaplanması ve sistemin en yüksek seviyede elektrik enerjisi üretimi yapması hedeflenmiştir.

1.2 Çalışmanın Özgün Değeri

Güneş panellerini kullanarak elektrik enerjisi üreten sistemlerin sayısı son yıllarda hızlı bir artış göstermektedir. Bu sistemlerin verimini arttırmak için güneş panelleri ve inverterlerin verimlerinin artırılmasının yanında en çok kullanılan yöntemlerden birisi de, etkin güneş takip sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesidir.

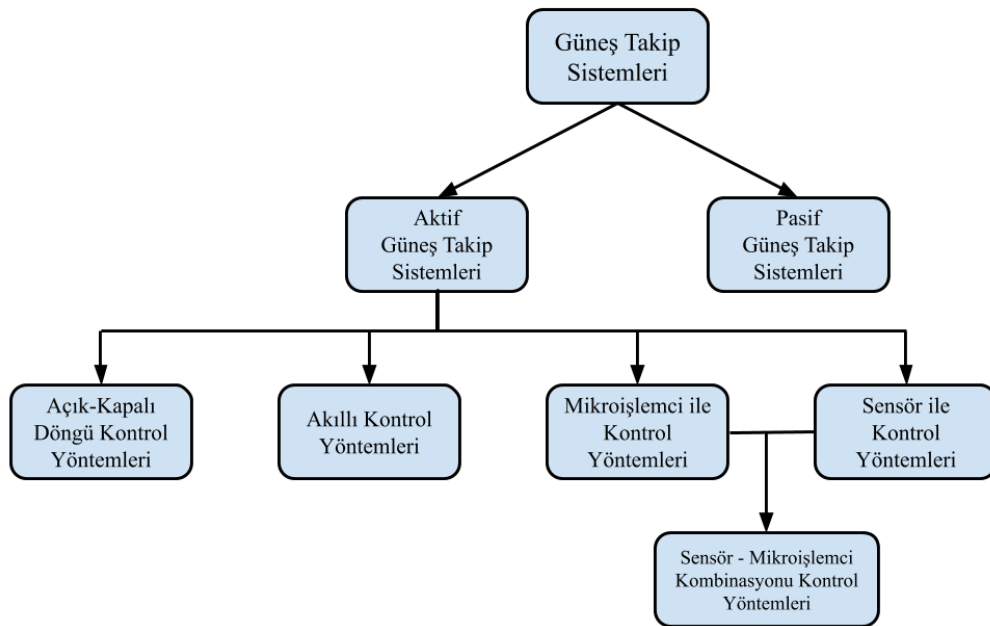
Bu çalışmada, iki eksenli bir güneş takip sisteminin mekaniksel ve elektriksel tasarımı gerçekleştirilerek, matematiksel modele dayanan bulanık mantık (fuzzy logic) tabanlı bir karar verme yöntemi önerilmiştir. Önerilen GTS'de sistemin bulunduğu bölgenin enlem ve boylam verilerine göre güneşin konumu tespit edilmektedir. FV sistem herhangi bir ışınım sensörü kullanmadan, güneşin gökyüzündeki hesaplanan pozisyonuna göre güneşi takip etmektedir. Böylece mevcut yöntemlerde çevresel faktörlerden kaynaklanan konum tespit hataları ortadan kaldırılmıştır. Güneş takibinde motorların hareketi için belirlenen adım süreleri geliştirilen bulanık mantık karar verici belirlenmiştir. Bu sayede, GTS hem FV panellerin konumunu, hem de adım sürelerini otomatik olarak belirlemektedir. Motorların ve tüm sistemin kontrolü LabVIEW ortamında geliştirilen gerçek zamanlı yazılım ile sağlanmıştır. Geliştirilen iki eksenli GTS, sabit ve tek eksenli GTS ile karşılaştırılmıştır.

1.3 Literatür Araştırması

Bu bölümde, literatürde geliştirilen güneş takip sistemlerinin ilkeleri ve mekanizmaları incelenmiştir. Literatürde yer alan sistemlerin teknikleri, verimlilikleri, performansı, avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmıştır. Kullanılan teknolojiler ve kontrol yöntemlerine göre güneş takip sistemleri sınıflandırılmıştır.

Literatürde FV sistemlerin güneşi takip etmesi konusuna yönelik birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler aktif ve pasif takip yöntemleri olmak üzere iki temel başlık altında incelenmektedir. Bu yöntemlerden aktif takip sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar daha fazladır. Bunun nedenlerinin başında pasif takip sistemlerinin sınırlayıcı olması ve istenilen verim seviyelerinin elde etmede yetersiz olmasıdır. Aktif sistemler genelde dişliler, motorlar, denetleyici kartlar, geliştirilebilir yazılımlar içerdiği için pasif sistemlere oranla kurulum ve bakım maliyetleri pahalıdır. Bunun yanı sıra, pasif sistemlere göre verimleri oldukça yüksektir.

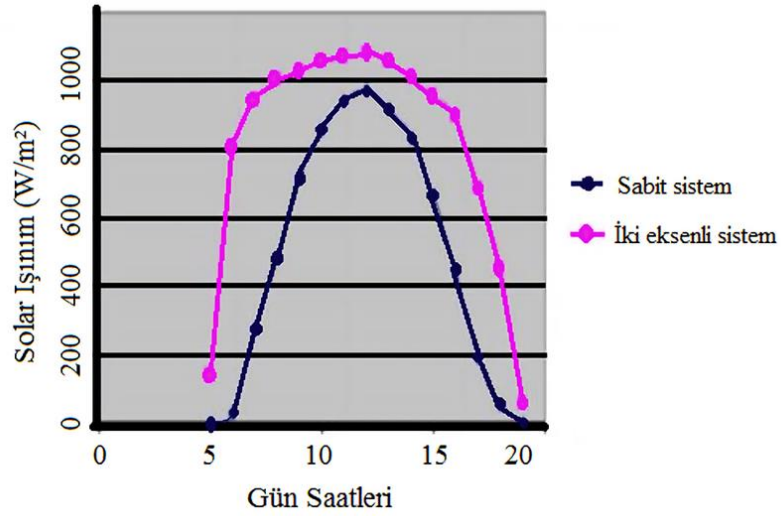
Kontrol yöntemleri güneş takip sistemlerini yan yana olacak şekilde hareket ettirmek için kullanılan yöntemlerdir. Kontrol yöntemleri veya sürme yöntemleri; sensör ile kontrol sağlayan sistemler, mikroişlemci ile kontrol, açık-kapalı döngü sistemler, akıllı sistemler ve bunlardan iki veya daha fazlasının birleşimi ile oluşturulan hibrit sistemler olmak üzere beş ana başlık altında incelenebilir [4]. Şekil 1.1’de kontrol yöntemlerine göre güneş takip sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Kontrol yöntemlerine göre güneş takip sistemleri [4].

Zogbi ve ark. [9] tarafından geliştirilen iki eksenli güneş takip sisteminde, hem azimut hem de yükseklik (elevation) açısı kullanılmıştır. Önerilen sistem, dört optik sensör, iki motor, bir fark alıcı kuvvetlendirici ve diğer elektronik bileşenlerden oluşmaktadır. Her bir sensör çiftinin çıkışını ölçerek, iki girdi arasındaki DC hata sinyalini hesaplayan kontrol sisteminde, fark yükseltecinden sıfır çıkışı elde edinceye kadar ilgili motor hareket ettirilmektedir.

Assaf [10] tarafından geliştirilen iki eksenli güneş takip sisteminde ise 4 adet Light Dependent Resistor (LDR), 2 adet servo motor ve 1 adet programlanabilir lojik kontrolör (PLC) ünitesi yer almaktadır. LDR sensörler, güneşin konumu hakkında PLC'ye gerilim sinyali göndermekte ve bu sinyali işleyen PLC üzerindeki yazılım, çıkış sinyalini motorlara göndererek motorların hareketinin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Geliştirilen sistemde, piranometre ile güneş ışınımı belirli tarihler arasında ölçülmüş ve elde edilen veriler ile Şekil 1.2'de gösterildiği gibi sabit güneş takip sistemlerine göre daha fazla elektrik enerjisi üretildiği saptanmıştır.



Şekil 1.2 Ölçüm sonuçları [10].

Tek eksenli güneş takip sisteminin önerildiği bir başka çalışmada [11], güneşi en iyi açı ile takip etmek için yeni bir güneş takip algoritması geliştirilmiştir. Doğu ve batı bölgelerindeki sıcaklığı ölçmek için iki adet sensör kullanılmış ve bu sıcaklıklar, ışık yoğunluğunu hesaplamak için LabVIEW ile geliştirilen programa gönderilmiştir. Eğer bir taraftaki ışık yoğunluğu diğerinden büyükse, iki yoğunluk arasındaki fark hesaplanarak sistemin hareket yönü belirlenmekte ve sisteme doğrudan bağlı olan step motorlar hareket ettirilmektedir.

PIC mikroişlemciler tarafından kontrol edilen tek eksenli bir güneş takip sistemi ise [12]'de tasarlanmıştır. Birbirine sırt sırta vermiş iki güneş paneli kullanılan bu çalışmada, her iki panel üzerindeki ışık yoğunluğuna bağlı olarak güneşin hareketi tespit edilmektedir. FV paneller tarafından üretilen güç doğrudan ölçülmekte ve bir gerilim bölücü devre yardımı ile elektronik gerilim sinyaline dönüştürülmektedir.

Mikrodenetleyici içerisine güneş panelinin konumunu ve yönünü hesaplayabilen bir algoritmanın gömüldüğü bir başka çalışmada [13], önerilen algoritma gösterilen zaman ile mikrodenetleyici zamanı arasındaki farkı hesaplamaktadır. Bu iki zaman arasındaki fark, bir sonraki yönü ve hareketi belirlemektedir. Böylece, sistem kötü havalarda ve konumlarda da kolaylıkla kullanılabilir. Geliştirilen bu sistem ile üretilen enerjinin; sabit sisteme göre %57 ve tek eksenli sisteme göre %47 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak, kullanılan algoritma güneşin konumunu yüksek doğrulukta belirleyememektedir.

Gerçek zamanlı güneş ışınım ölçümlerini temel alarak hareket edebilen iki eksenli güneş takip sisteminin tasarlandığı bir diğer çalışmada [14], ışınım sensörlerinden gelen sinyaller yüksek performanslı 16-bit dijital sinyal işlemcisine gönderilmiş ve elde edilen sinyaller ile matematiksel hesaplar ile belirlenen güneş konum bilgileri karşılaştırılarak FV panellerin konumu ayarlanmıştır. Deklinasyon ve saat açısına göre sistemi hareket ettiren iki motor kullanılarak geliştirilen bu sistem, sabit sistemlere göre güneşli günlerde ortalama %20 oranında verimi arttırmış, fakat bulutlu günlerde bu verim düşmüştür.

Tarihe göre güneşin konumunu hesaplayarak panellerin hareketini sağlayan kronolojik temelli tek eksenli bir takip sistemi ise Samantha ve ark. [15] tarafından önerilmiştir. Güneşin konumunu hesaplamak için kullanılan PIC18252 işlemcisi, sistemi istenilen yöne hareket ettirmek için L293D motor sürücüsüne bağlanmıştır. Bu yöntem küçük bir prototip üzerinde test edilmiş ve güneşin konumu takip edilip, sistemin verimi artırılmıştır.

Lakeou [16] tarafından önerilen sistem ile düşük maliyete sahip bir güneş takip sistemi tasarımı hedeflenmektedir. Bu sistem, önerilen güneş takip sistemi tarafından kontrol edilen 1kW rüzgâr türbinine bağlı olarak çalışmaktadır. Azimut açısını izleyerek panellerin eğim açısını ayarlayan sistem, yıl boyunca Washington şehrinde test

edilmiştir. Sistemde kullanılan yazılım ve donanımın maliyeti düşük, elde edilen sonuçlar ise kabul edilebilir aralıklarda olmuştur.

Çift eksenli bir izleme sistemi tasarlayan Akbar ve ark. [17] tarafından önerilen sistem bir adet ATmega328 mikrodenetleyici, iki adet DC motor, dört adet LDR ve dört adet röleden oluşmaktadır. LDR ışık yoğunluğunu ölçerek mikroişlemciye sinyal göndermektedir. Bu sinyaller karşılaştırılarak, motorların dönüş yönleri belirlenmiş, yatay olarak güneşi izlemek için iki adet LDR, bir adet DC motor ve 2 adet röle kullanılmıştır. Diğer elemanlar güneşi dikey olarak takip etmek için kullanılmıştır. Tek eksenli ve çift eksenli takip sistemleri bir ay boyunca sabah 9'dan akşam 4'e kadar test edilmiştir. Sabit sisteme göre; tek eksenli sistem %24.05, çift eksenli sistem ise %26,22 daha fazla güç üretmiştir. Ancak, çalışmada koşullar yeterince değerlendirilmemiştir.

Sistemde giriş olarak günlük yükseklik (elevation) açısı ve çıkış olarak motorların tork kuvvetinin kullanıldığı çift eksenli bir güneş takip sisteminde [18], önerilen açık döngü takip sistemi LabVIEW programı ile matematiksel formüller kullanılarak geliştirilmiştir. Sistemin doğruluğunu değerlendirmek için kuvvet eyleminin ilk ve son aşamalarında kabul edilebilir bir hata oranı belirlenmiştir. Bu hata oranının, sistemden elde edilen verime göre oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.

Melo ve ark. [19], kapalı ve açık çevrim kontrol sistemi tabanlı iki adet çift eksenli güneş takip sistemini önermiştir. Önerilen kapalı çevrim sistemi, LDR'leri kullanarak hareketi sağlamıştır. LDR'lerden elde edilen ışık yoğunluğunu karşılaştırmak ve FV panelin konumunu belirlemek için LDR'lerin ölçümlerini karşılaştıran bir algoritma kullanılmıştır. Açık çevrim sisteminde kullanılan algoritma ise güneş ışınımının bir yıllık ölçülmüş değerlerine göre ışınım değerini simüle eden bir yapıda geliştirilmiştir. Açık ve kapalı çevrim sistemi, farklı günlerde test edilmiş ve kapalı çevrim tarafından üretilen enerjinin sabit panele göre %33, açık çevrim sistem için ise %28 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Güneş takip sistemlerinin kontrolü için, mevcut yöntemlerin dışında, literatürde son yıllarda bulanık mantık, yapay sinir ağları ve derin öğrenme gibi yöntemleri kullanan akıllı kontrol yöntemleri de önerilmiştir [33,34]. Özellikle bulanık mantık, yapay sinir ağları, derin öğrenme ve bu yöntemlerin çeşitli kombinasyonları olan hibrit yöntemler güneş takip sistemlerinin kontrolünde kullanılmıştır.

Şebekeden bağımsız (off-grid) çalışan bir FV sistemden elde edilen elektrik enerjisinin verimliliğini artırmak için yapay sinir ağı kullanan bir takip sistemi Panait ve ark. [24] tarafından geliştirilmiştir. Çalışmada, bir step motor, bir H köprüsü ve bir yükseltici kuvvetlendirici kullanılarak, yapay sinir ağı modeli gerçek zamanlı olmayan bir ortamda test edilmiştir. Önerilen yöntem, sistemin maliyetini azaltarak, kış aylarında %40, yaz aylarında ise %100 oranında bir enerji artışı sağlayarak FV sistemin verimini arttırmıştır.

Günlük ortalama güneş ışınımı tahmin edebilen yapay sinir ağı prensibine dayanan yeni bir model Rabee ve ark. [25] tarafından geliştirilmiştir. Önerilen modelde, beş farklı bölgeden alınan gerçek ortalama güneş ışınımı verileri kullanılarak, güneş ışınımı tahmin edilmiştir. Uygulamada, çok katmanlı ileri beslemeli (multi-layer feed forward) sinir ağları kullanılmıştır. Eğitim aşamasında üç yıl boyunca kaydedilen veriler kullanılmıştır.

Tek eksenli bir güneş takip sistemi için akıllı bir sinir ağı kontrolörü, Kayri ve Gençoğlu [26] tarafından önerilmiştir. Rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, güneş yükselme açısı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve küresel radyasyon da dahil olmak üzere çeşitli değişkenler yapay sinir ağına girdi olarak kullanılmış ve FV sistemin çıkış gücü de çıkış değişkeni olarak elde edilmiştir. Önerilen sistem, bulutlu ve güneşli günlerde ayrı ayrı test edilmiştir.

FV panel tarafından elde edilen enerji miktarını en üst düzeye çıkarmak için bulanık mantığa dayalı akıllı bir takip sistemi Armendariz tarafından geliştirilmiştir [27]. Tasarlanan iki eksenli takip sistemini kontrol etmek için Fuzzy Rules Emulated Network (FREN) olarak adlandırılan bulanık mantık kurallarını yapay sinir ağlarında kullanan bir sistem geliştirilmiştir. Kullanılan 4 katman; saat, tarih, yıllık hareket ve günlük hareket olarak tanımlanmıştır. Yıllık astronomik güneş hareket sayıları ile yılın gününü ve saat zamanını dikkate alarak eğim ve oryantasyon açıları otomatik olarak ayarlanmıştır. Laboratuvarında deneysel bir prototip geliştirilmiş ve sistem MATLAB'da programlanmıştır.

Son birkaç yılda, görüntü işleme yöntemleri ile eğitilen sistemler de güneş takip sistemleri için önerilmiştir [28,29]. Carbello ve ark. [28], görüntü işleme ve derin makine öğrenmesi ile yeni bir yaklaşım geliştirerek, düşük maliyetli, akıllı bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistem, üzerinde bulunan kamera ile gün içinde elde

ettiği görüntüler kullanılarak eğitilmiştir. Bu görüntülerdeki güneş, bulut, gölge, engel ve diğer heliostat sistemler güneş takip sistemine öğretilmiştir. Test edilen sistemin hata payının, geleneksel sistemlerin hata payına yakın olduğu tespit edilmiştir. Hata payına rağmen, önerilen sistemin düşük maliyetli olması ve sabit sistemlere göre verimliliği arttırması bu sistemin avantajlarıdır.

Yapay görme tekniği ile yapılan bir diğer çalışmada ise [29] geleneksel yöntemlerden farklı olarak, gölgeye göre güneş takip sistemi geliştirilmiştir. Kamera önüne koyulan bir demir çubuk ve bu çubuğun bir plaka üzerine oluşturduğu gölgenin görüntüsü işlenerek güneş takibi yapılmıştır. Sistemin hareketi gölgenin merkezi ile uç noktası arasındaki mesafeye göre sağlanmıştır. Geliştirilen bu düşük maliyetli sistem 2° doğruluk ile takip yapmaktadır. Sabit panelli sistemlere oranla %25-45 daha fazla enerji çıkışı sağlamaktadır.

Güneş takip sistemlerinin kontrolünde kullanılan akıllı yöntemlerden önemli bir tanesi de bulanık mantık tabanlı kontroldür. Alata vd. [30] tarafından önerilen ve bulanık mantık kullanan güneş takip sisteminde, sisteminin girdileri ve çıktılarını modellemek için eğer-ise (if-then) kuralları kullanılmıştır. Kontrol sistemini modellemek için de Sugeno bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır. Bu izleme sistemi, güneşin 1° hareketini izlemek için her dört dakikada bir çalıştırılmıştır.

Bulanık mantık kontrollü çift eksenli bir güneş takip sistemi ise Sendoya ve ark. [31] tarafından geliştirilmiştir. Sistemin ana fikri, güneş panelleri üzerindeki güneşin dik konumunu bulmaktır. Güneşin konumu; ışık yoğunluğunu, gerilimi, akımı ve sıcaklığı ölçebilen dört adet LDR'yi kullanarak belirlenmektedir. İki tane LDR ışık yoğunluğunu yatay olarak ve iki tanesi de dikey olarak ölçmektedir. Ölçülen ışık yoğunluğu arasındaki fark, güneş panellerinin konumunu ve yönünü belirlemek için kullanılmıştır. Mamdani bulanık çıkarım sistemi, panelleri konumlandırmak, döndürmek ve motoru beslemek için kullanılmıştır. Bulanık mantık kontrolünün kuralları, yatay ve dikey ışık yoğunluğu arasındaki farklara dayanarak seçilmiş ve önerilen model sayesinde çıkış gücü sabit güneş panellerine kıyasla %12,45 artmıştır. Bununla birlikte, önerilen sistemin maliyeti oldukça yüksektir.

Zaher ve diğ. [32], bulanık mantık denetleyicisine ve METEOSAT (uydudan alınan dünya görüntüleri) görüntü işleme özelliğine sahip, çift eksenli bir güneş takip sistemi önermişlerdir. Önerilen model, gökyüzündeki bulut kapsamını ve bulutlanma süresini

tespit etmek için görüntü işleme tekniğini kullanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi ise bulutlanma ve süresini kontrolörün girdisi olarak kullanılmış, bu veriler bulanık kontrolörde değerlendirilerek, güneş panelinin en uygun konuma gelmesi sağlanmıştır. Açık, bulutlu ve parçalı bulutlu gökyüzü de dahil olmak üzere üç farklı durumun incelendiği çalışmada, bulanık kontrolör parçalı bulutlu gökyüzünde uygun pozisyona karar verebilmek için kullanılmıştır. Her saat başında uydudan dört adet görüntü elde edilmiş ve en uygun konumu bulmak için görüntü işlemesine dayanan bir algoritma kullanılmıştır. Önerilen sistem 17 ay boyunca test edilmiş, sistemin bulutlu gökyüzünde daha iyi çalıştığı ve %23 oranında daha yüksek bir güç elde edilebileceği görülmüştür.

Ticari olarak geliştirilen ilk pasif güneş takip sistemi, 1969 yılında Zomeworks firması tarafından üretilmiştir. Zomeworks şirketi bu tarihten bu yana pasif güneş takip sistemleri alanında lider konumdadır. Kullanılan Zomeworks Track Rack sistemleri ile sabit sistemlere göre elde edilen elektrik %25 oranında artmıştır. Track Rack sistemi fiyat-performans açısından endüstriyel güç sistemleri, su pompa sistemleri ve faydalı uygulamalar açısından oldukça verimlidir [20].

Elmaged ve ark. [21], FV panelleri, ilki güneye doğru bakan sabit bir sistem, ikincisi pasif takip sistemi kullanılan bir sistem olacak şekilde iki farklı şekilde kurarak, güneş enerjisi pompalama sistemlerinin performansını değerlendirmişlerdir. Pasif güneş takip cihazı güneye bakacak şekilde monte edilmiştir. Her iki sistemin değerlendirilmesi sonucunda, pasif bir güneş izleyicisinin kullanılması ile FV panellerden elde edilen gücün %16 oranında arttığı görülmüştür.

Clifford ve Eastwood. [22], alüminyum/çelik bimetel şeritler tarafından aktive edilmiş ve viskoz bir sönümleyiciyle kontrol edilen yeni bir pasif izleme sistemi önermişlerdir. Sistemde alüminyum ve çelikten oluşan iki bimetel şeritin güneş ışığı ile uzaması ve kısalması sonucu hareket sağlanmaktadır. Tasarlanan pasif güneş izleyici test edilmiş ve sabit panele göre verimin %23,3 arttığı belirlenmiştir.

Üç farklı türde gazın kullanıldığı yeni bir pasif güneş izleyici sistemi Narendrasinh ve ark. [23] tarafından önerilmiştir. Yeni pasif güneş izleyici sistemi, ısınan gazların yükselmesi sonucu hareket etmesi (Zomework ilkesi) ile çalışan bir güneş takipçisi tasarlanmıştır. Bu pasif takip sistemi modeli ile sabit sistemlere göre %23,33 daha fazla güç elde edilebilmiştir.

Literatürde incelenen pasif güneş takip yöntemlerinin karşılaştırılması, Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Literatürde incelenen pasif takip yöntemlerinin karşılaştırması.

Teknoloji	Özellik	Avantaj	Dezavantaj
Zomework	Tek Eksen	Ucuz	Hava
Track Rack [20]	Uygulaması var Sabit sistem ile karşılaştırıldı	%25 verim artışı	şartlarından etkilenebilir
Solar Pompa Sist. [21]	Tek Eksen Uygulaması var Sabit sistem ile karşılaştırıldı	Güneş ile birlikte hareket %16 verim artışı	Hava şartlarından etkilenebilir
Bimetal Özgün Sist. [22]	Tek Eksen Uygulaması var Sabit sistem ile karşılaştırıldı	Ucuz %23 verim artışı	Hava şartlarından etkilenebilir
Üç Tür Gazlı Sist. [23]	Tek Eksen Uygulaması var 3 tip gaz kullanımı	Dayanıklı %23 verim artışı	Pahalı Hava şartlarından etkilenebilir

1.4 Motivasyon

Literatürde incelenen yöntemlerin çoğu ışık sensörlerinden alınan bilgilere dayanarak çalışan çeşitli kontrol yöntemleri önermiş ve bu bilgiye dayanarak sistemdeki motorların hareketi sağlanmıştır. Özellikle bulutlu hava gibi çevresel koşulların değişiminde, bu yaklaşım doğru sonuçlar üretememektedir. Bunun yanı sıra, motorların çalışması için belirlenen süreler ve adım aralıkları sisteme özel tanımlanmış olup, otomatik olarak adım aralıklarının belirlenmesi konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, sensörsüz olarak güneşin konumunu tespit edebilen ve motorların çalışma adım sürelerini otomatik olarak bulanık mantık karar verici ile ayarlayabilen iki eksenli bir güneş takip sistemi önerilmiştir.

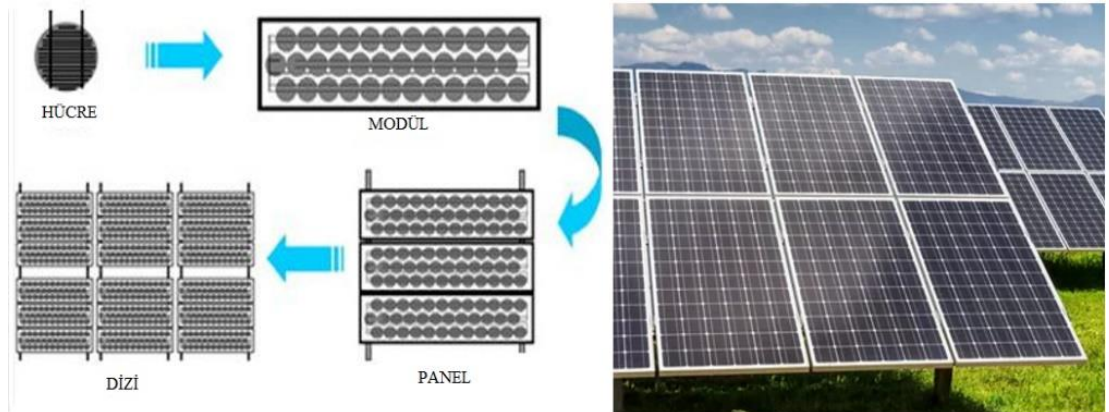
2. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

2.1 Fotovoltaik (FV) Sistemler

Fotovoltaik (FV) terim olarak, güneş ışığından elektrik enerjisi üretebilmek için güneş hücrelerinin kullanılmasıdır. FV sistemlerde kullanılan güneş hücreleri, üzerlerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir [44]. Üretilen elektrik DC yani doğru akımdır. Bu DC elektrik enerjisi; doğrudan DC güç ile çalışan cihazlarda kullanılabilir. Daha sonra kullanılmak üzere akülerde depolanabilir. Alternatif akım (AC) ile çalışan cihazlarda kullanılması için DC-AC dönüştürücü cihazlar ile kullanılabilir.

Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak %5-%30 arası bir verimle elektrik enerjisine dönüştürebilir. Elde edilen gücü artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine seri veya paralel bir biçimde bağlanır. Bu tür yapılara FV modül veya güneş paneli adı verilir [44].

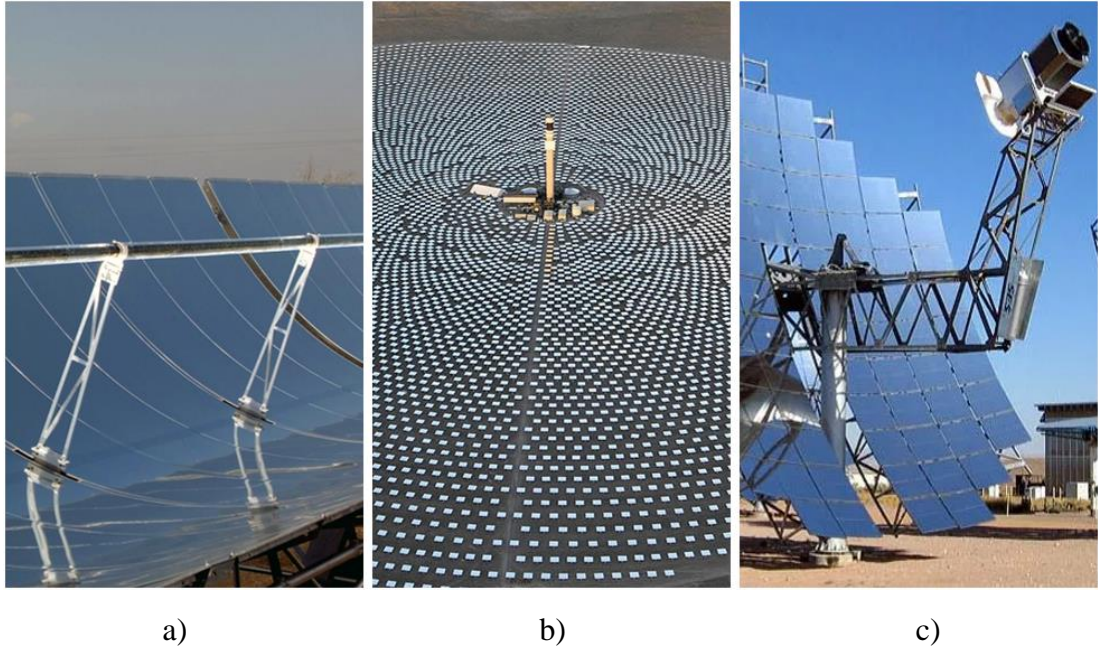
FV hücreler seri veya paralel bağlanarak modülleri, modüller panelleri, paneller de dizileri oluştururlar. Dizilerin genel adına güneş paneli sistemleri denir. Şekil 2.1’de bu sistemler gösterilmiştir. FV sistemler açık alana kurularak doğrudan güneş ışığını alırlar ve bu ışığı elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu sistemler arazilerde, çatılarda ve taşıyıcı sistemler üzerinde kurulabilir. FV sistemler; şebeke bağlantılı (On-Grid) ve şebekeden bağımsız (Off-Grid) olmak üzere iki şekilde kurulabilirler.



Şekil 2.1 FV sistemlerin yapısı.

2.2 Konsantre Güneş Enerjisi Sistemleri

Konsantre güneş enerjisi sistemleri (CSP) büyük ölçekli elektrik enerjisi üretimi yapılmak istenen alanlarda kullanılan en önemli yöntemlerdendir. CSP sistemlerinde, santraller yansıtıcı aynalar kullanarak güneş enerjisini çok yüksek sıcaklıklara sahip ısıya dönüştürürler. Bu ısı da geleneksel bir generatöre aktarılarak elektrik üretilir. CSP ile üretilen enerji doğrudan gün ışığına bağlıdır. Bu nedenle, CSP sistemler için verimli güneş takip yöntemlerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Avrupa CSP birliğine (ESTELA) göre, Güney Avrupa’da 2030 yılına kadar 62.000 MW kurulu güce sahip CSP santraller kurulacaktır. CSP sistemlerden elektrik enerjisi üretim miktarının, 2030 yılında AB içinde üretilmesi öngörülen miktarın yaklaşık %5 kadarına karşılık gelen 176 TWh/yıl olacağı tahmin edilmektedir [58]. Bu sistemler Tübitak MAM tarafından “Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemleri” olarak adlandırılmış ve parabolik oluk kollektörler, merkez odaklı kollektörler ve çanak kollektörler olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 2.2’de bu sistemlere ait örnekler gösterilmektedir.



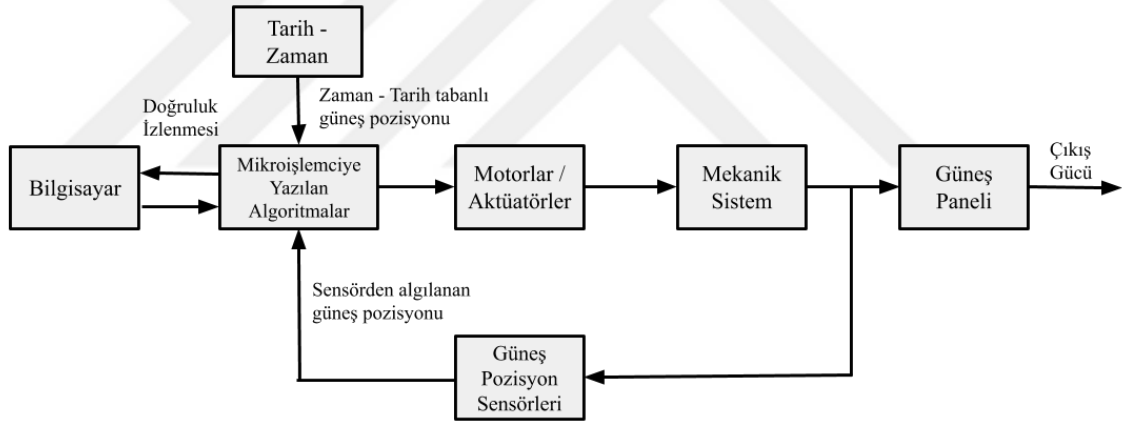
Şekil 2.2 a) Parabolik oluk kollektör, b) Merkez odaklı kollektör, c) Çanak kollektör.

Güneş takip sistemleri; FV panel, ayna vb. FV cihazların aldığı güneş ışınımı miktarını güneşi takip ederek arttırmak ve en iyi elektrik enerjisi çıkışını üretmek için geliştirilmişlerdir [36,37]. Bu sistemler dünya çapında birçok güneş enerjisi uygulamalarında kullanılmaktadır.

Bu sistemleri tasarlamak, uygulamak ve kurmak farklı nedenlerden dolayı zordur. İzleme sistemlerini kullanmadan önce birden fazla ölçüm sonucu gereklidir [38-40]. Toplanan sonuçlar, güneşin konumunu izlemek için en iyi tekniği belirlemek adına kullanılır. Panelin yönü, fotonların görülme açısı, sonuçların ölçülme süresi, güneş pillerinin oluşturulduğu materyal FV panellerin letkenliği, farklı çevresel basınçlar ve diğer çevresel parametreler güneş paneli hücrelerinin çıkışını etkileyebilir [41-43].

2.3 Aktif Güneş Takip Yöntemleri

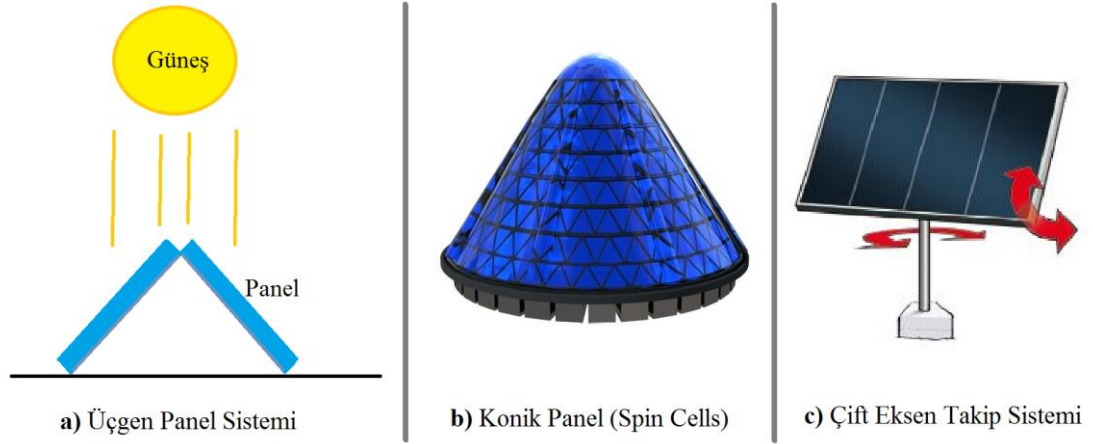
Aktif güneş takip yöntemleri kullanılarak geliştirilen sistemlerde, genellikle motor, dişli gibi mekanik ekipmanlar ve bunları kontrol eden işlemciler kullanılır. Şekil 2.3'te aktif güneş takip sistemlerinin genel çalışma yapısına ait blok şeması gösterilmiştir. Burada motorlar, mikroişlemciler üzerine yazılan algoritmalar ile kontrol edilmektedir. Kullanılan motorlar sistemin hareket etmesini sağlar ve güneş panelleri takip işlemini gerçekleştirmiş olur.



Şekil 2.3 Aktif güneş takip yöntemleri genel yapısı [5].

Aktif takip yöntemleri de kendi içinde; üçgen güneş paneli sistemi, tek eksenli takip, iki eksenli takip ve konik paneller olarak dört kategoride sınıflandırmıştır [6]. Üçgen güneş paneli sistemi birbirine karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki FV panel kullanarak gün ışığından eşit derecede faydalanmayı amaçlar. Tek eksenli güneş takip sistemi, en basit ve en ucuz sistemdir. Ancak sistem sadece dikey veya yatay eksenle hareket edebildiği için verimliliği düşüktür. Buna karşın iki eksenli güneş takip sistemlerinde hareket hem dikey hem de yatay eksenle yapılır. Konik paneller (Spin Cell) adı verilen sistemlerde ise FV paneller konik biçimde yerleştirilir. Bu sistemde panelleri hareket ettirmeye gerek kalmadan gün boyunca güneş ışığından faydalanılabilir ve yüksek

verimlilik sağlanır. Böylece sabit sistemlere göre hücre başına ölçülen akım değeri 20 katına kadar çıkarılabilir. Şekil 2.4'te güneş takip yöntemleri gösterilmiştir. [6]

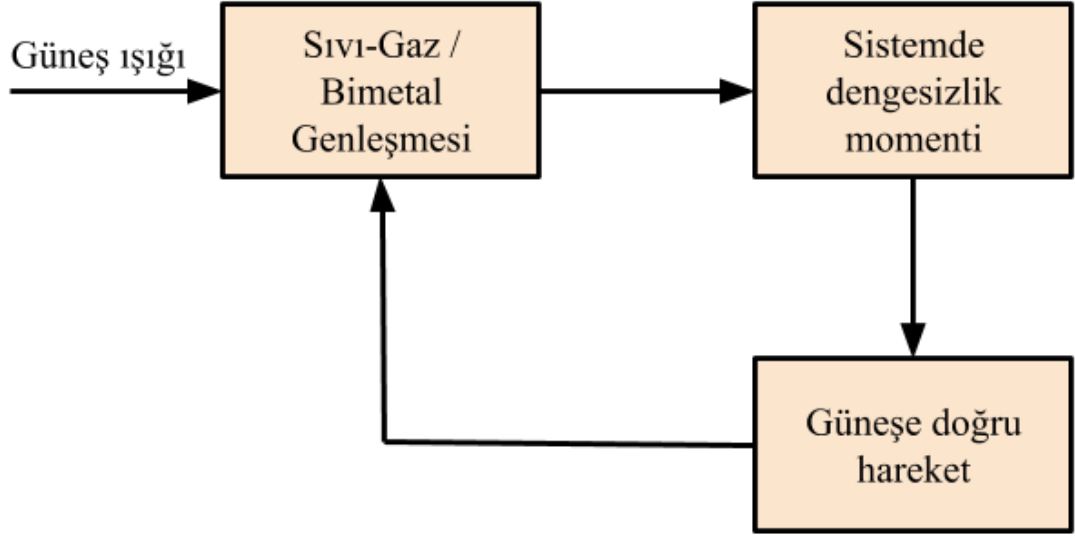


Şekil 2.4 Güneş takip yöntemleri [6].

Aktif güneş takip sistemleri [7] numaralı çalışmada kronolojik izleyiciler, tek eksenli izleyiciler ve çift eksenli izleyiciler olmak üzere üç ana başlıkta incelenmiştir. Kronolojik izleme, yeryüzünün hareketini, yeryüzününki ile aynı yönde ve hızla izlemek için tasarlanmıştır. Aktif güneş takip sistemleri başka bir çalışmada [8], FV panellerin yönlerini değiştirmek için kullanılan kontrol sistemlerine göre, mikroişlemci ve elektro-optik tabanlı, ikiyüzlü FV panelli, tarih ve saat hesabına dayanan veya hibrit kontrollere dayanan dört ana kategoriye ayrılmıştır. Mikroişlemci tabanlı sistemler, optik sensörler ile bir geri bildirim mekanizması kullanarak, takip sistemindeki motorları kontrol ederler. Kontrolör girişlerinin sayısını, güneşin ilgili parametrelerini algılayan sensörler ve diğer elektronik cihazlardan alınan veriler oluşturur. Bu veriler işlemcide değerlendirilerek, motorları sürmek için uygun kontrol sinyalleri gönderilir.

2.4 Pasif Güneş Takip Yöntemleri

Pasif güneş takip sistemlerinin genel çalışma prensibi, güneş ışığı sayesinde sistem üzerinde bir dengesizlik yaratarak, takip sisteminde bir hareket elde etmektir. Termal genişleme özelliğine sahip sıvılar veya şekil alışımlı maddeler ile bu hareket sağlanabilir. Şekil 2.5'te pasif güneş takip yöntemlerinin çalışmasına ilişkin genel blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Pasif güneş takip yöntemleri genel yapısı.

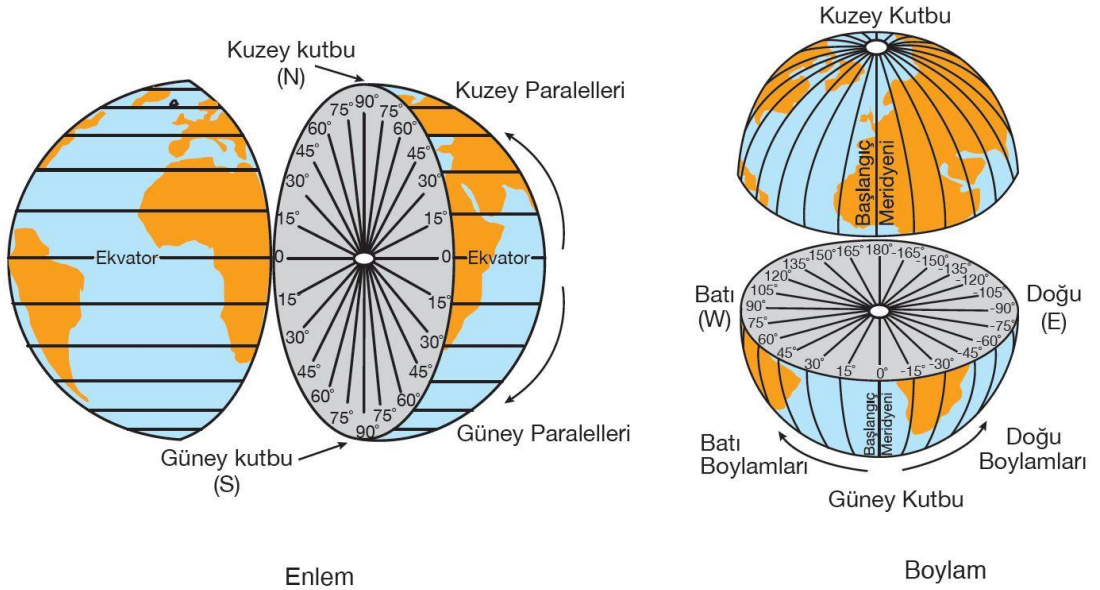
Pasif sistemlerin en büyük avantajı, motorları, dişlileri veya denetleyicileri kullanmadan güneşi izleyebilmeleridir. Pasif sistemlerin aktif sistemlere göre diğer avantajları, kurulum işlemlerinin kolay olmaları, verimli olmaları, harici güç gereksinimlerinin olmaması ve düşük bakım maliyetleridir.

Pasif takip sistemlerinin en büyük dezavantajı ise hava koşullarına bağımlı olmalarıdır. Sistem güneşten elde edilen ısınmayı maksimize edebilmesine rağmen, kötü hava şartlarından dolayı verimsiz hale gelebilir. Bu tip sistemlerin kurulduğu bölge oldukça önemlidir. Çünkü seçilen bölge verimli bir şekilde güneş enerjili ısıtma işlemi için sürekli ve yeterli gün ışığı almalıdır. Dahası, sert kışlar pasif güneş izleme sistemlerine aşırı yük bindirebilir. Bu nedenle sisteme ek cihazların konulması, maliyetleri artıracaktır. Diğer bir dezavantaj ise pasif güneş takip sistemleri oluşturmak için uygun cam ve gaz türlerinin seçilmesinde yaşanan zorluklardır.

3. MATERYAL ve METOD

Bir güneş takip sistemi güneşin konumunu izler ve FV modülleri veya yansıtıcıları en iyi güç çıkışını üretecek bir açıda tutar. Güneş takip sistemlerini tasarlarken ve uygulamaya alırken birçok astronomik ve coğrafi parametre göz önüne alınmalıdır. Greenwich saati (Greenwich Time) ve Güneş Saati (Solar Time) bu alandaki en temel parametrelerdendir.

Greenwich saati; Dünya'nın bir gün boyunca kendi eksenini etrafında dönmesi süresi sonucu oluşan zaman ölçüğüdür [45-47]. Bu süreyi belirlemek için İngiltere'deki Greenwich kasabasından geçtiği varsayılan boylam, sıfır meridyeni, referans alınır. Bu sıfır meridyenine göre diğer boylamlar da iki bölüme ayrılmıştır. Sıfır boylamı doğusunda kalan boylamlar üzerindeki tüm saatler Greenwich saatine (+) sayılar eklenerek, batısında kalan boylamlar üzerindeki tüm saatler ise Greenwich saatinden (-) sayılar çıkarılarak hesaplanır. Greenwich Saati'ne eklenen veya çıkartılan her bir sayı, Greenwich çizgisine göre saat diliminin bölgesine göre belirlenir. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi Dünya üzerinde toplam 360 adet boylam vardır.



Şekil 3.1 Meridyenler ve paraleller.

Güneş saati (Solar Time) parametresi, Güneş'in gökyüzündeki pozisyonuna bağlı olarak hesaplanan gerçek zamandır. Bu saatin hesabındaki esas birim 1 Ocak'ta 1 olarak başlayan ve 31 Aralık'ta 365 olarak biten gün sırasındır. [48] Güneş saati hesabı Denklem 3.1'de anlatıldığı gibi yapılır;

$$\text{GüneşSaati} = \text{StandartSaat} + 4(L_{ST} - L_{LOC}) + EoT \quad (3.1)$$

Burada, *StandartSaat* bir bölgenin yerel saati, L_{ST} standart boylam değeri, L_{LOC} yerel standart meridyen zamanı ve *EoT* ise zamanın denklemi olarak tanımlanır.

Yerel standart meridyen zamanı bir bölgenin saat dilimini 15° ile çarparak hesaplanır.

$$L_{LOC} = \text{SaatDilimi} \times 15^\circ \quad (3.2)$$

Zaman denklemi, görünen güneş saati ile gerçek güneş saati arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Denklem 3.3'te gösterildiği gibi hesaplanır:

$$EoT = 229,2(0,000075 + 0,001868\cos\beta - 0,032077\sin\beta - 0,014615\cos2\beta - 0,04089\sin2\beta) \quad (3.3)$$

Burada, β saatin standart saat ile yer değiştirmesidir:

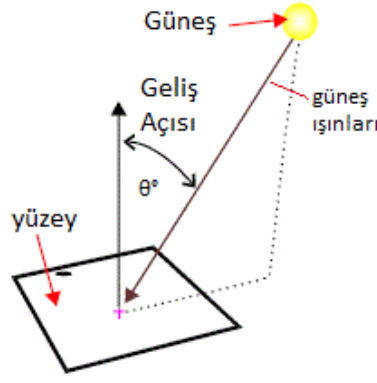
$$\beta = \frac{(n-1) \times 360}{365} \quad n = \text{günün yıl içindeki sırası} \quad (3.4)$$

FV modülleri en iyi şekilde yönlendirmek için boylam ve zaman denklemine ek olarak birkaç parametre daha ölçülmeli veya hesaplanmalıdır. Enlem, geliş açısı, ışık şiddeti, eğiklik açısı, yönelme açısı, güneş azimuth açısı, sapma açısı, eğim açısı, yükselme açısı ve zenit açısı ana parametrelerdir.

Enlem (latitude); Dünya üzerindeki herhangi bir konumun Ekvator'a olan uzaklığını tanımlamak için kullanılır. Enlem açısı da Şekil 3.1'de gösterildiği gibi derece ile ölçülür.

Geliş açısı (angle of incidence); yer yüzüne gelen güneş ışınlarının düştüğü nokta ile bu noktanın dikeyi arasında kalan açıdır [49]. Bu açı, Şekil 3.2'de gösterilmektedir ve (θ°) ile ifade edilir.

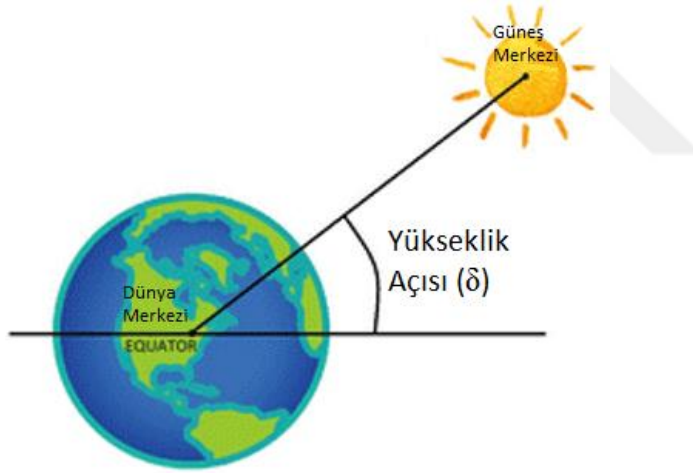
Bununla birlikte, güneş takip sistemlerini tasarlarken, geliş açısını tek başına kullanmak yeterli değildir. Güneş ışınımı olarak bilinen ışık şiddeti de önemli bir parametredir. Işık şiddeti (solar radiation), ışık kaynağının gücünün veya ışık akısının ölçülmesiyle belirlenebilir. Güneşin ışık yoğunluğu, piranometre gibi özel aletler kullanılarak ölçülür.



Şekil 3.2 Güneş geliş açısı.

Yükseklik açısı (declination angle); Güneş'in merkezinden Dünya'nın merkezine bir çizgi çizilip bu çizgi ile ekvator çizgisi arasında kalan açıdır. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi (δ) ile tanımlanır ve derece cinsinden ölçülür. Denklem 3.5'teki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$\delta = -23.45 \times \cos\left(\frac{360}{365} \times (n + 10)\right) \quad (3.5)$$

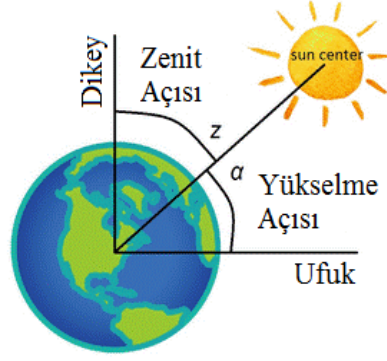


Şekil 3.3 Güneş eğiklik açısı.

Yükselme ve zenit açıları da eğiklik açısı ile benzer tanımlara sahiptirler. Yükselme açısı (elevation angle); Güneş'in merkezi ile ufuk çizgisi arasındaki açıdır. Güneş'in rakımı olarak da tanımlanabilir. Zenit açısı (zenith angle); Güneş'in merkezi ile dünya üzerindeki konumun dikeyi arasındaki açıdır. Her iki açı da derece olarak ölçülür ve Denklem 3.6 ve 3.7'de gösterildiği gibi hesaplanabilir. Şekil 3.4'te yükselme ve zenit açıları bir arada gösterilmiştir.

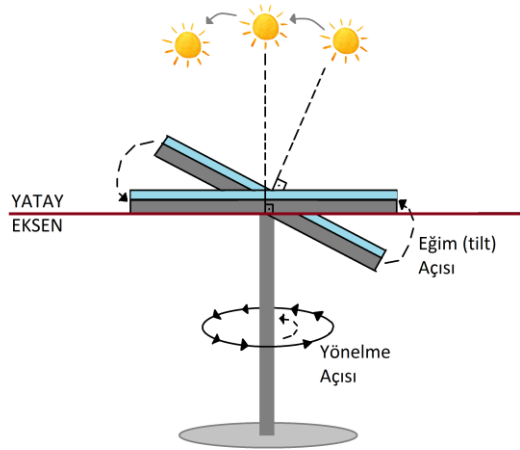
$$\alpha = 90^\circ - Z \quad (3.6)$$

$$Z = \cos^{-1} \sin L_{st} \sin \delta + \cos L_{st} \cos \delta \cos \text{StandartSaat} \quad (3.7)$$



Şekil 3.4 Yükselme açısı ve zenit açısı.

Eğim açısı ve yönelme açısı da güneşi verimli bir şekilde takip edebilmek için önemli parametrelerdir. Eğim açısı (tilt angle), güneş takip sistemi ile yatay eksen arasında kalan açıdır. Geliş açısı, eğim açısının farklı bir şeklidir [50]. Yönelme açısı (orientation angle) ise FV modülleri güneşe doğru dik açıyla tutmak için sistemi hareket ettirmek için kullanılır. Eğim ve yönelme açısı Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Eğim açısı ve yönelme açısı.

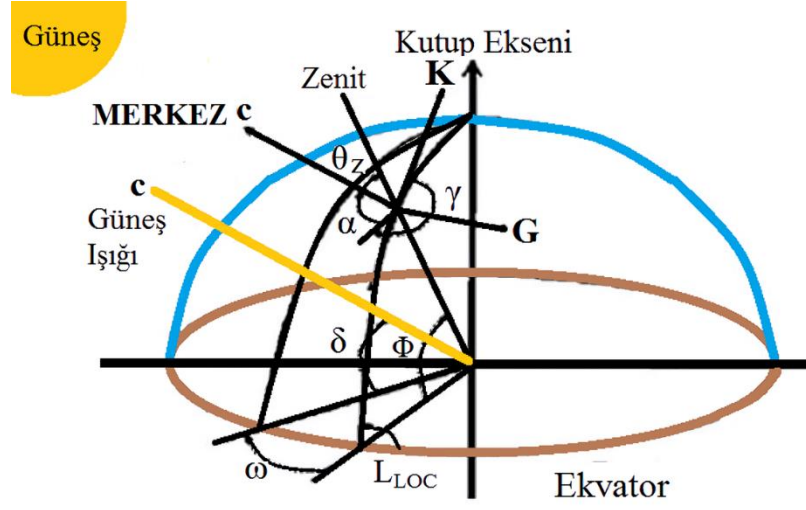
Güneş azimut açısı (solar azimuth angle); güney yönüne göre ölçülmektedir. Güneş’ten gelen ışınların yeryüzünde oluşturduğu görme hattı ile güneye doğru çizildiği varsayılan bir hat arasındaki açısal mesafedir. Gösterimi (γ_s) şeklindedir ve güneyin doğusunda ise pozitif, batısında ise negatif ifade edilir. Denklem 3.8 ve 3.9 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\gamma_s = \sin^{-1}\left(\frac{-\sin h \cos \delta}{\sin Z}\right) \quad (3.8)$$

$$h = 15^\circ(\text{güneşsaati} - 12) \quad (3.9)$$

Yukarıda tanımları ve hesaplamaları verilen parametrelerin tümü güneş takip sistemlerinin kurulması için en iyi konumu belirlemek için kullanılabilir.

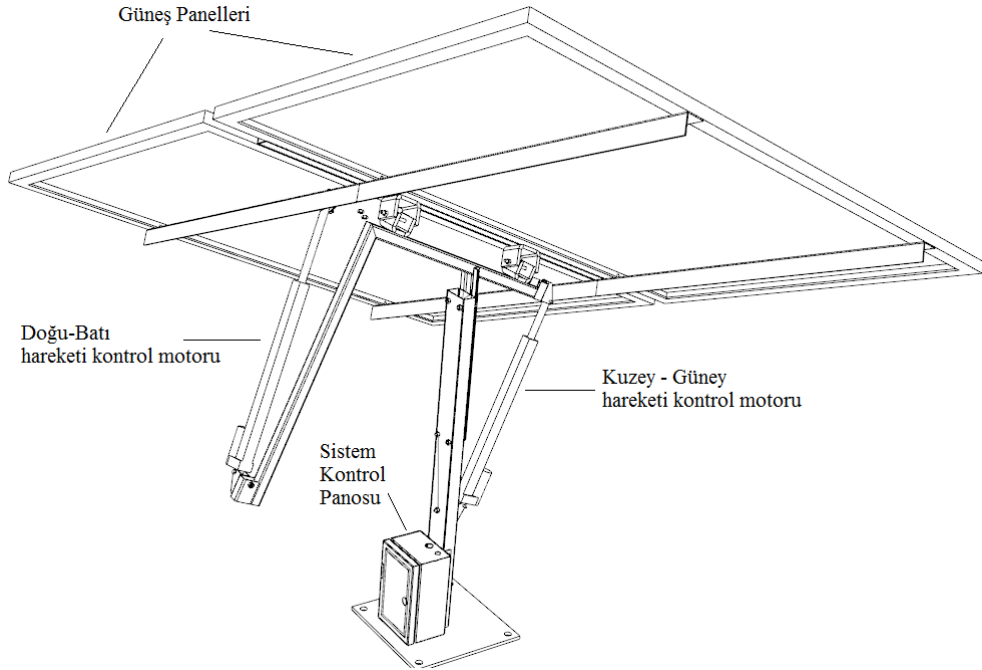
Tüm parametreler Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Tüm güneş açılarının şematik gösterimi [51].

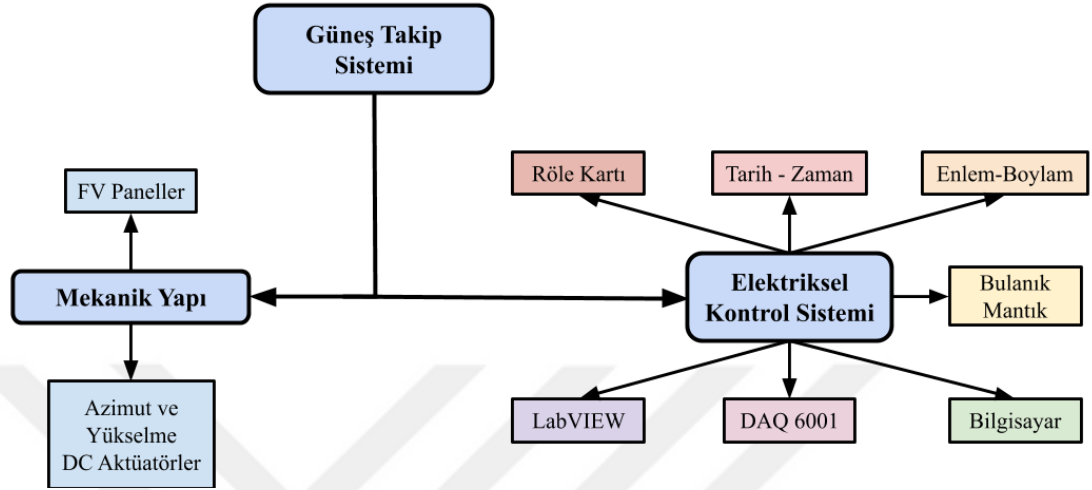
3.1 Mekanik Tasarım

Geliştirilen güneş takip sistemi, 17 kg ağırlığında iki adet güneş panelini taşıyacak ve çeşitli hava olaylarına karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. Taşınmasını kolaylaştırmak için de kalın taban sacı altına güçlü sarhoş tekerlekler konulmuştur. Kullanılan taban sacı ile hem denge sağlanmış olup hem de kontrol panosu ve aküler için yer sağlanmıştır. Bu ekipmanların sağladığı ağırlık ile de dayanıklı bir sistem ortaya çıkmıştır. Sistemin mekanik yapısı Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Geliştirilen iki eksenli güneş takip sisteminin mekanik yapısı.

Güneş takip sisteminin iki ekseninde (kuzey-güney, doğu-batı) hareket etmesi amaçlanmıştır. Bu hareketleri sağlamak için aynı boyut ve güçlerde iki adet lineer aktuatör, genel adıyla lineer DC motor kullanılmıştır. Geliştirilen güneş takip sisteminin genel blok şeması ise Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Güneş takip sisteminin genel blok şeması.

Lineer aktüatörler, düşük gerilim ile çalışan bir DC motorun yaptığı dönme hareketini, dişli çarklar aracılığı ile doğrusal (ileri-geri) harekete dönüştürebilen sistemlerdir. Bu motorların seçilme nedenlerinin başında, sürücü ve enkoder ihtiyacını ortadan kaldırmaları gelmektedir. Diğer bir neden ise, az güç ile ağır yükleri hareket ettirebilmeleridir. Şekil 3.9’da lineer motor örneği gösterilmiş ve Çizelge 3.1’de kullanılan motorlara ait teknik özellikler belirtilmiştir.



Şekil 3.9 Geliştirilen sistemde kullanılan lineer DC motor.

Çizelge 3.1 Kullanılan lineer motor özellikleri.

Model	Gerilim	Stroke Boyu	Hız	Koruma	Tork
LFHA12-300	12V DC	300 mm	20mm/sn	IP65	500N – 50Kg

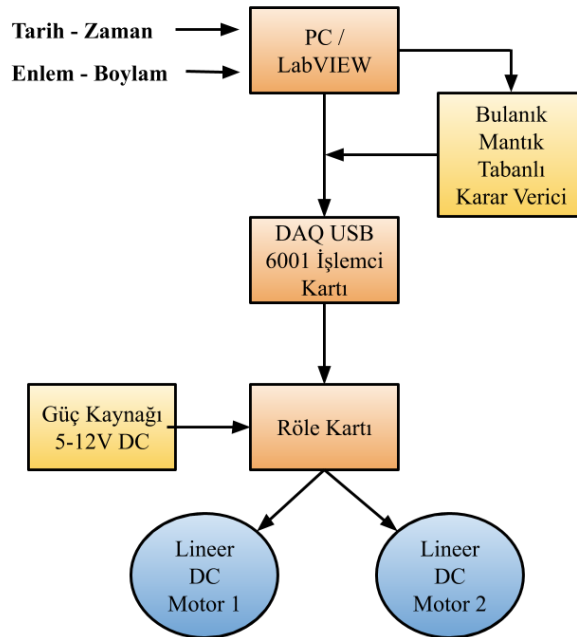
Geliştirilen sistemde seçilen güneş panelleri; ortalama bir tüketicinin kullanabileceği tipte, standart boyutlarda ve genel elektriksel özelliklere sahip olarak seçilmiştir. Güneş paneli yapı olarak polikristal malzemeden üretilmiştir. Kullanılan güneş paneli 17 kg ağırlığında, 1580x808x35mm boyutlarına sahip ve -40°C/+85°C sıcaklıkları arasında çalışabilmektedir. Çizelge 3.2’de kullanılan güneş panellerine ait standart test koşullarında elde edilmiş (25°C ve 1000 W/m²) teknik detaylar ±%5 toleranslı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kullanılan güneş panellerine ait elektriksel özellikler.

Maks. Güç (Pmax)	Açık Devre Gerilimi (Voc)	Maks. Güç Gerilimi (Vpm)	Kısa Devre Akımı (Isc)	Maks. Güç Akımı (Ipm)	Maks. Sistem Gerilimi
160 W	43,3 V	35,2 V	4,98 A	4,4 A	1000 V

3.2 Elektriksel Tasarım

Sistemin tasarımı kullanılan elektriksel elemanlar donanımsal ve yazılımsal olarak kategorize edilebilir. Donanım olarak kontrol panosu üzerinde güç kaynağı, röle kartı, klemensler ve sistemin kontrolünü sağlamak üzere NI DAQ USB-6001 işlemci kartı kullanılmıştır. Yazılımsal olarak ise LabVIEW programı ve ilgili araçları kullanılmıştır. Şekil 3.10’da tasarlanan güneş takip sisteminin elektriksel kontrol sistemine ait genel blok şeması gösterilmektedir.

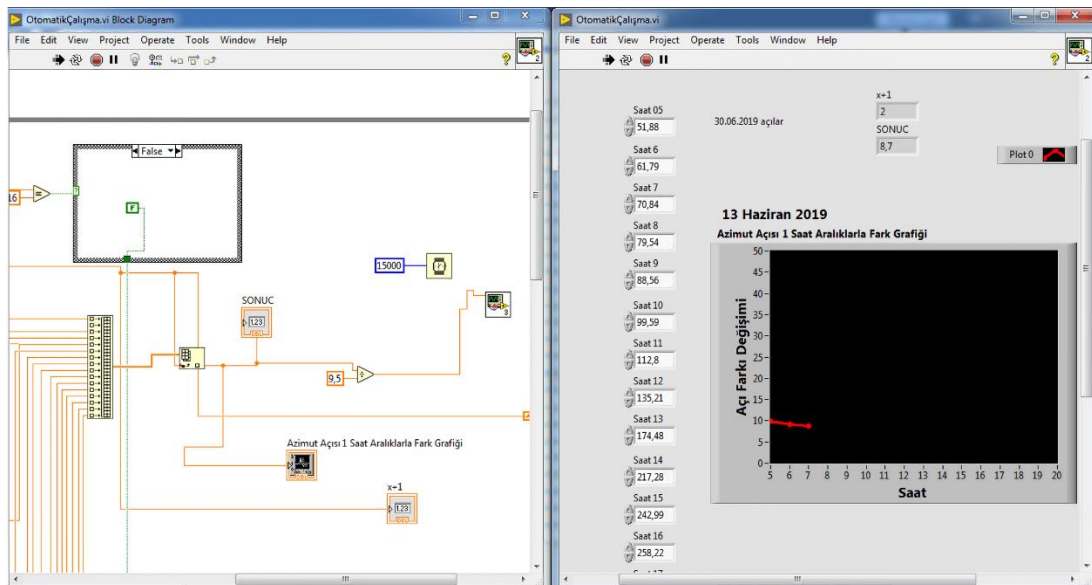


Şekil 3.10 Geliştirilen güneş takip sisteminin elektriksel kontrol yapısı.

LabVIEW; National Instruments tarafından geliştirilen en kısa tanımıyla grafiksel programlama ortamıdır. Donanım ve verilere hızlı bir şekilde erişim ile test, ölçüm ve kontrol gerektiren uygulamalar için kullanılan bir yazılımdır. Görsel ikonlar ve bu ikonlar arasındaki hat bağlantıları ile program yazılır. Metin tabanlı dillerin aksine, tamamen görsel olarak algoritma geliştirilir. Test, ölçüm, veri oluşturma, işleme ve izlemesinde kullanılan LabVIEW, içeriğinde bulunan otomasyon ve ölçme devre elemanları fonksiyonlarının ekranda birbirlerine bağlanması şeklinde kullanılır. LabVIEW'in kullandığı dil G (graphical) dili olarak anılmaktadır. LabVIEW bazı kısıtlamalar dışında, C ve PASCAL gibi dillerle yapılabilecek hemen hemen her türlü bilimsel uygulamaya yatkındır.

LabVIEW üzerinde programlama yaparken ön panel ve blok diyagram adı verilen iki yapı kullanılır. Ön panel ile programın arayüzü tasarlanır. Burada butonlar, grafikler, şekiller, yazılar, görüntüler vb. birçok görsel yer alır. Blok diyagram kısmında ise ön panele eklenen görsellerin programlaması, kartlardan alınan veriler, hesaplamalar, değişkenler yer alır. Özetle; ön panel arayüz tasarlanması, blok diyagram ise kod yazma kısmıdır. Şekil 3.11'de LabVIEW ön paneli ve blok diyagramları gösterilmiştir.

LabVIEW, gerçek zamanlı verilerin alınması-işlenmesi, program çıktılarına anında görebilme, paralel olarak programlama yapabilme, görsel olarak hızlı sonuç alma gibi özellikleri ile akademik ve endüstriyel uygulamalarda, özellikle test amaçlı kullanılan, oldukça popüler bir yazılım programıdır. Ayrıca diğer yazılım dillerini de kendi içerisinde çalıştırıp uygulama alanlarını genişletme imkânı sağlamaktadır.



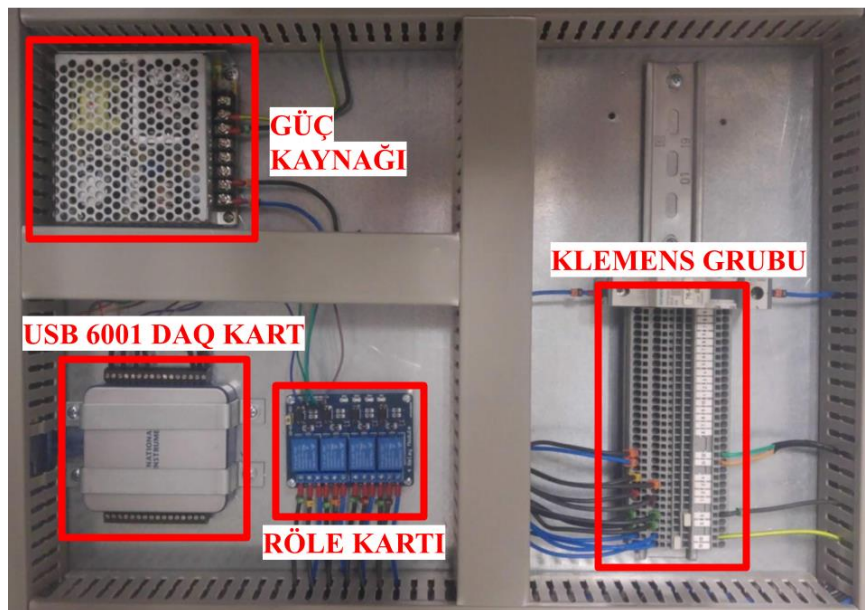
Şekil 3.11 LabVIEW blok diyagramı ve ön paneli.

Tasarlanan sistemde; panellerin hareketini sağlayan motorları kontrol etmek için ve panellerin ürettiği enerji miktarı verisini gerçek zamanlı olarak takip edebilmek için, USB-6001 tip veri toplama ve kontrol kartı kullanılmıştır. NI tarafından üretilen düşük maliyetli, çok fonksiyonlu bir veri toplama kartıdır. Analog giriş-çıkış, dijital giriş-çıkış ve 32-bit sayıcı gibi özellikler sunmaktadır. Basit veri kaydı, taşınabilir ölçümler ve akademik laboratuvar deneyleri gibi uygulamalar için temel işlevsellik sağlamaktadır. USB'den besleme ve veri akışı bağlantısı ile hızlı kullanım sunmakta, vidalı giriş-çıkışlar ile kolayca sensör, sinyal vb. bağlantılar yapılabilmektedir. şekil 3.12'de USB – 6001 veri toplama ve kontrol kartı gösterilmiştir.



şekil 3.12 NI USB-6001 veri toplama ve kontrol kartı.

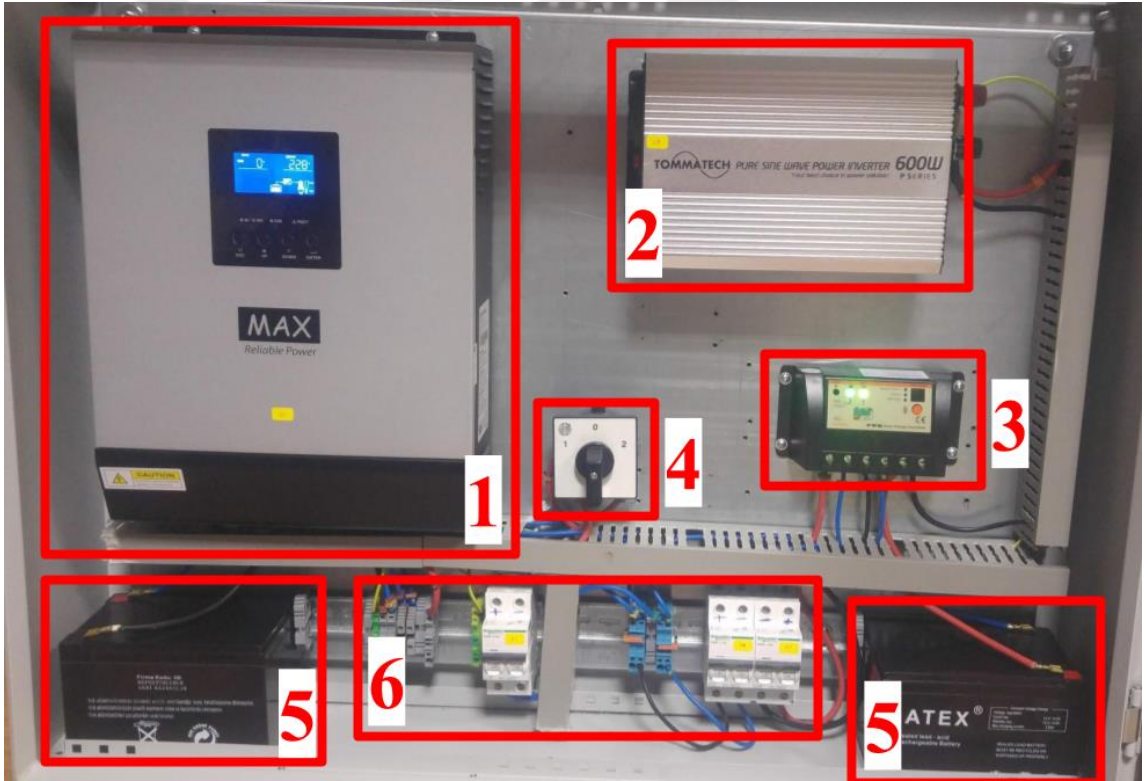
Lineer motorları sürmek için gereken gerilim USB-6001 DAQ kart çıkışlarından sağlanmaktadır. Bu nedenle 12V DC gerilim ile çalışan motorları besleyerek kuzey-güney ve doğu-batı hareketlerini yaptırmak için 4 adet röle ve 12V DC güç kaynağı kullanılmıştır. Tüm bu ekipmanlar daha kolay kullanım ve düzenleme için şekil 3.13'te gösterildiği gibi tasarlanan bir pano üzerinde bir araya getirilmiştir.



şekil 3.13 Sistem kontrol panosu.

Sistemden elde edilen enerjiyi ölçmek, depolamak ve düzenli bir şekilde kullanabilmek için Şekil 3.14'te gösterildiği gibi bir güç panosu tasarlanmıştır.

1 numaralı çerçevede yer alan inverter 3000VA/2400W anma gücüne sahiptir. 24V DC akü yardımı ile aktif hale gelmektedir. Güneş panellerinden aldığı elektrik enerjisini dönüştürerek şebeke kullanılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda içerisinde bulunan şarj regülatörü ile akülerin düzenli olarak şarj olmasını ve tamamen boşalmamasını kontrol etmektedir. 2 numaralı cihaz ise 600W güce sahip bir inverter. 3 numaralı cihaz 600W güce sahip inverter ile birlikte çalışan bir şarj regülatörüdür. Hemen solunda bulunan 4 numaralı çerçevede yer alan şalter ile hangi inverter çalıştırılmak isteniyorsa onun seçimi yapılabilmektedir. 5 numaralı cihazlar 12V 120Ah gerilim ve akım değerlerine sahip seri bağlı olarak yerleştirilmiş kuru akülerdir. 6 numarada yer alan malzemeler sigorta ve klemens grubudur. Dışardan gelecek kabloların bağlantısını kolaylaştırmak için klemensler ve sistemi fazla yükten korumak amacıyla sigortalar yerleştirilmiştir.



Şekil 3.14 Sistem güç panosu.

4. UYGULAMA

Bu bölümde, tasarlanan ve geliştirilen sisteme ait güneş takip yönteminin detayları anlatılmıştır. Sistem akıllı kontrol yöntemlerinden biri olan Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) kurallarına dayalı olarak güneş takibini yapmıştır. Güneş'in gökyüzündeki konumunu belirlemek için sistemin bulunduğu enlem ve boylam bilgisi dikkate alınmıştır. Ayrıca gerçek zamanlı veri takibi yapılarak sabit sistemler ile karşılaştırılmıştır.

4.1 Güneş'in Konumunun Belirlenmesi

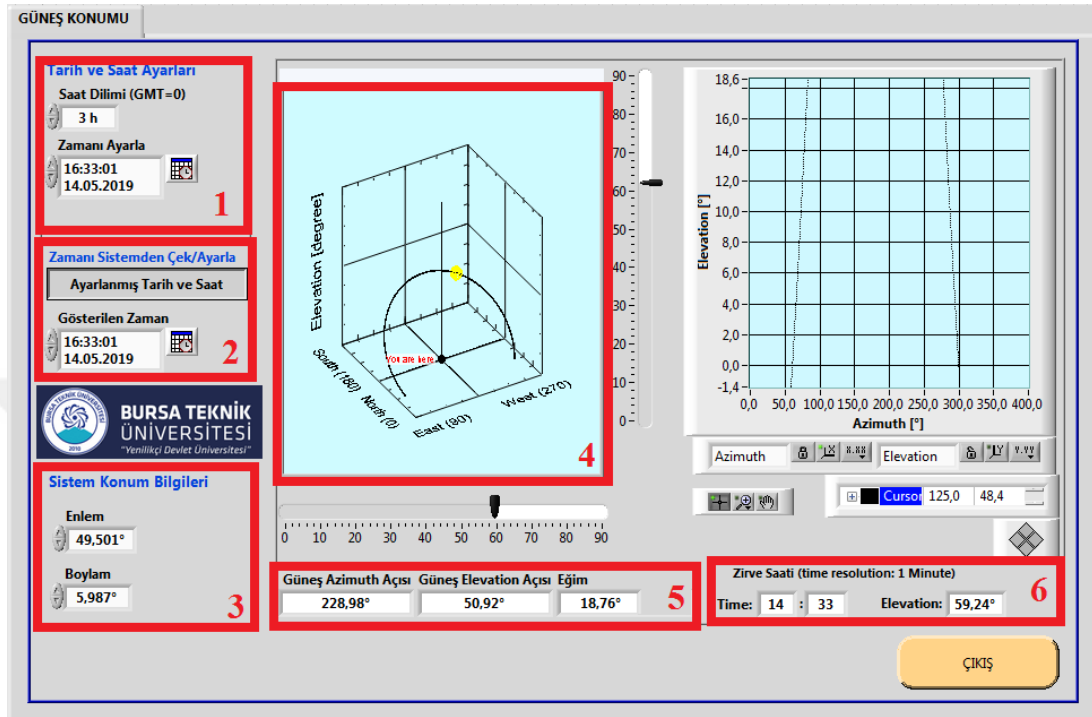
Sistemin gökyüzünde hareket eden güneşi takip edebilmesi için geliştirilen algoritmada, öncelikle güneşin pozisyonu belirlenir. Bu pozisyon sistemin yeryüzü üzerinde bulunduğu konuma göre değişkenlik göstermektedir.

Geliştirilen yazılımda, sistemin bulunduğu konuma ait enlem-boylam bilgileri sisteme girilmektedir. Bu bilgilere ek olarak, sistem saati de programda otomatik olarak hesaplamaya katılır ve güneşin pozisyonu belirlenerek gerçek zamanlı olarak takip edilmektedir.

Güneş'in konumu bulunduktan sonra anlık olarak 3 boyutlu (3B) görselleştirme ile güneşin hareketi kullanıcılara aktarılmaktadır. Güneş'in konumunun belirlenmesinden daha önemli parametreler ise güneş ışınlarının açılma değerleridir. Bu bilgiler de programda verilen bilgiler sonucu hesaplanmaktadır. Sonuçlar yine program üzerinde ayrı ayrı belirtilmektedir.

Şekil 4.1'de güneşin konumunu hesaplamak için geliştirilen yazılım gösterilmektedir. Belirtilen 1 numaralı kısımda, güneşin konumunun bulunmasının istendiği tarih ve zaman bilgileri girilmektedir. 2 numaralı kısımda ise tarih ve zaman bilgilerinin bilgisayar saatinden otomatik olarak alınması veya elle girilmesi seçeneği yer almaktadır. Belirtilen 3 numaralı kısımda, FV panellerin yer aldığı noktanın enlem ve boylam konum bilgileri girilmektedir. Bu ayarlamalar yapıldıktan sonra program çalıştırılır. Sonuçlar 4,5 ve 6 numaralı bölümlerde gösterilmektedir. 4 numaralı bölüm

gerçek zamanlı olarak güneşin hareketini, izlediği yolu, pozisyonunu 3B şekilde gösteren grafiklerdir. 5 numaralı bölüm güneşin belirtilen konum ile yaptığı azimut açısı, yükseklik (elevation) açısı ve eğim açısı bilgilerini göstermektedir. Bölüm 6, belirtilen tarihte güneşin tepede olacağı saat verisini ve elevation açısı verisini göstermektedir.



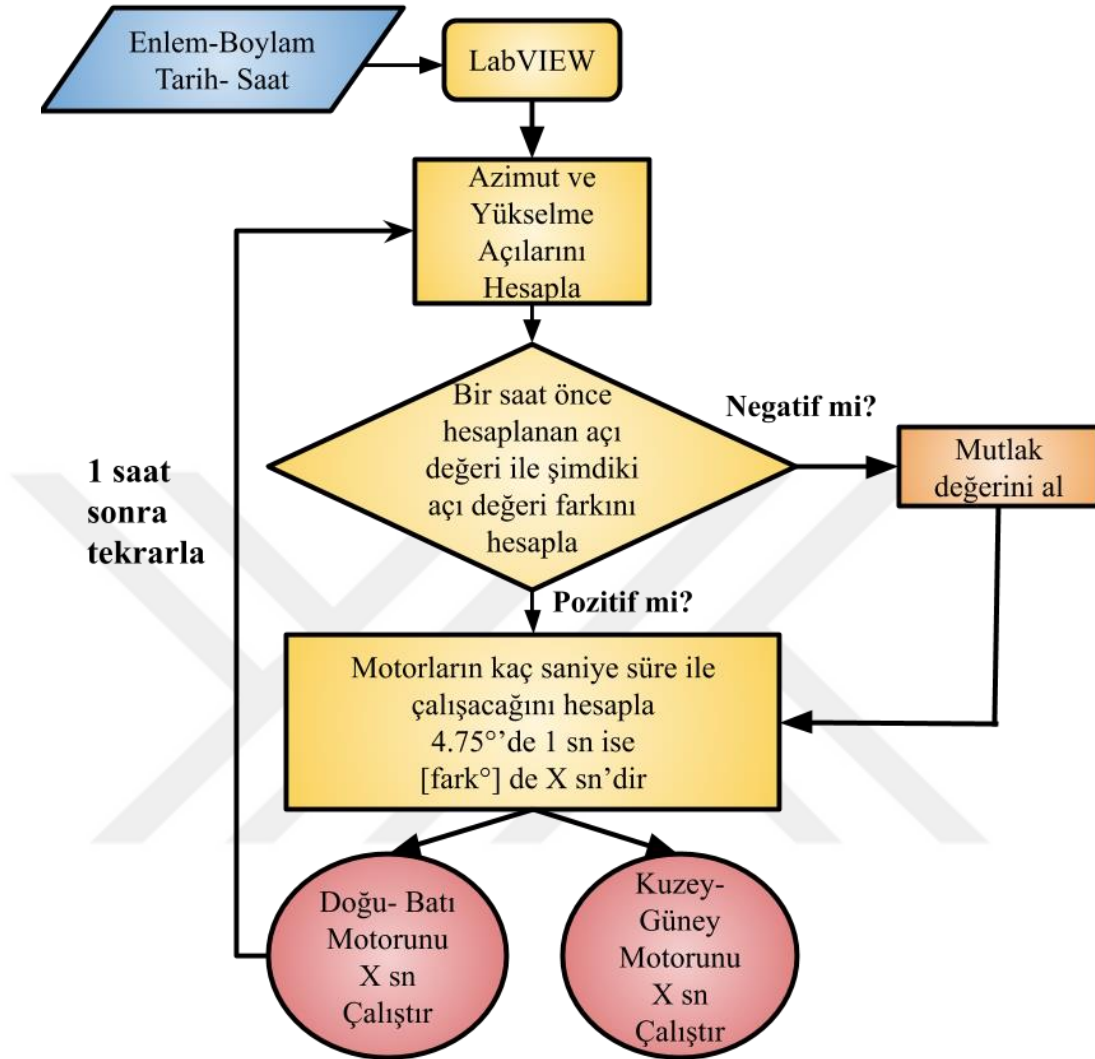
Şekil 4.1 Güneş konumunu ve açılarını hesaplamak için geliştirilen program.

4.2 Sensörsüz Otomatik Güneş Takip Sistemi

Sistemin bulunduğu konum ve tarih-zaman bilgilerine göre güneşin gökyüzündeki konumunun ve güneşin gün içerisinde gökyüzünde takip edeceği rotanın hesaplanması ile güneş takip işleminin birinci adımı tamamlanmaktadır. Bir sonraki adım olarak motorların çalıştırılması ile sistemin hareket etmesi işlemi vardır.

Geliştirilen iki eksenli konum ve zaman tabanlı (sensörsüz) güneş takip sistemi azimut açısı ve elevation (yükseklik) açısı hesaplamalarını kullanarak güneş takibini yapmaktadır. Gün doğumundan gün batımına kadar geçen sürede, 60 dakikalık periyotlar halinde bir önceki saatte hesaplanan açı ile geçerli saat arasındaki açı farkına göre lineer DC motorlar çalıştırılarak takip gerçekleştirilmektedir. Motorların 1 saniyede $4,75^\circ$ 'lik yol aldığı bilgisi ile hesaplanan açı farkı değerine göre kaç saniye süre ile çalışacakları hesaplanmaktadır.

Şekil 4.2’de sensörsüz otomatik güneş takip sisteminin çalışma prensibine ilişkin akış şeması yer almaktadır.



Şekil 4.2 Sensörsüz otomatik güneş takip sistemi akış diyagramı.

4.3 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık mantık, 1961 yılında Lütü Alişker Zade'nin yayınladığı bir makalenin sonucu olmuş bir mantık yapısıdır. Çeşitli sistemler ve süreç kontrolü yapılan uygulamalar için kullanılan kural tabanlı karar verme yöntemi olarak tanımlanabilir. Son yıllarda, bulanık mantık uygulamalarının sayısı ve çeşitliliği önemli ölçüde artmıştır. Uygulamalar kameralar, çamaşır makineleri ve mikrodalga fırınlar gibi tüketici ürünlerinden endüstriyel proses kontrolüne, tıbbi cihazlara, karar destek sistemlerine ve portföy seçimine kadar çeşitlilik göstermektedir.

Bulanık mantığın temeli, bulanık küme ve alt kümelere dayanır. Klasik yaklaşımda bir varlık ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde varlık küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda "1", kümenin elemanı olmadığı zaman "0" değerini alır. Bulanık mantık klasik küme gösteriminin genişletilmesidir. Bulanık varlık kümesinde her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Varlıkların üyelik derecesi, (0, 1) aralığında herhangi bir değer olabilir.

4.3.1 Dilsel değişkenler

Kelimelerle ifade edersek dilsel değişkenler, kontrol edilen sistemin giriş değişkenlerini ve çıkış değişkenlerini temsil eder. Örneğin bir ısıtıcı için; mevcut sıcaklık ve istenen sıcaklık olmak üzere iki giriş değişkeni ve çıkış değişkeni olarak da ısıtıcı ayarı belirlenebilir. Her dilsel değişken değer aralığına sahiptir. Mevcut sıcaklık aralığı 0-100 derece, istenilen sıcaklık aralığı da 50-80 derece olabilir. Bulanık mantık kontrolü için en az bir giriş ve bir çıkış dilsel değişken gerekir.

4.3.2 Dilsel terimler ve üyelik fonksiyonları

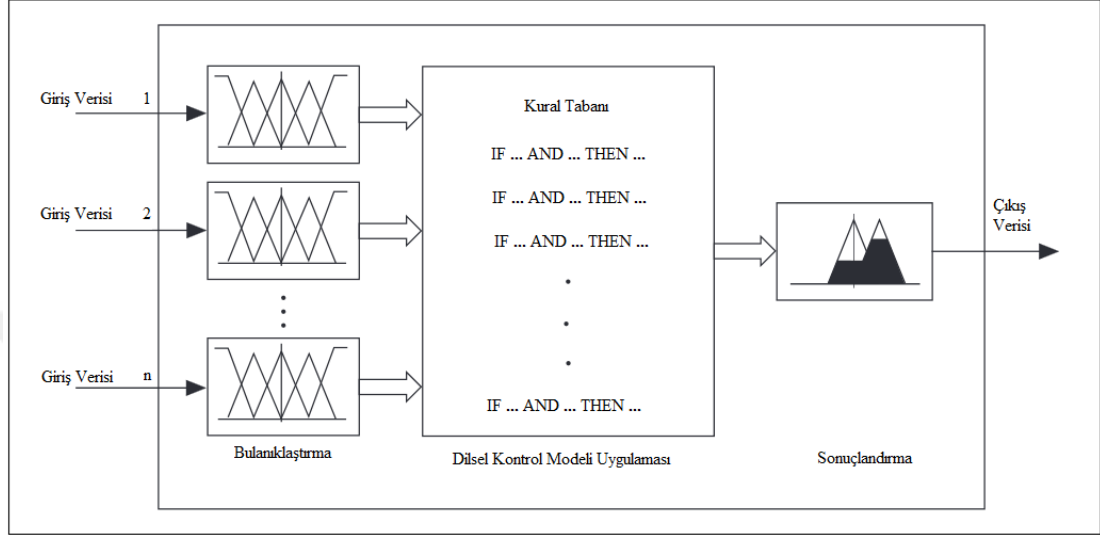
Dilsel terimler, dilsel bir değişkenin değerleri için kategorileri temsil eder. Mevcut sıcaklık ve istenen sıcaklık dilsel değişkenleri; soğuk, ılık ve sıcak gibi dilsel terimleri içerebilir. Isıtıcı ayarı dilsel değişkeni ise; kapalı, düşük ve yüksek gibi dilsel terimler içerebilir.

Üyelik fonksiyonları, dilsel terimlere karşılık gelen sayısal fonksiyonlardır. Bir üyelik fonksiyonu, dilsel değişkenlerin içindeki dilsel terimleri ile birlikte üyelik derecesini gösterir. Üyelik derecesi, 0 ile 1 arasında sonsuz ve süreklidir. Burada 0, %0 üyeliğine ve 1, %100 üyeliğe eşittir. Örneğin, dilsel değişken olarak akım sıcaklığını belirleyelim. Burada dilsel terim 100 derece içinde tam üyeliğe (1), 70 derece veya daha düşükte hiç üyeliğe (0) ve 70 ila 100 derece arasındaki tüm sıcaklıklarda kısmi üyeliğe sahip olabilir.

4.3.3 Kurallar

Kurallar, giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkileri onların dilsel terimlerine göre tanımlar. Örneğin şöyle bir kural belirleyelim: EĞER (IF) mevcut sıcaklık soğuksa VE (AND) istenen sıcaklık ılıksa O ZAMAN (THEN) ısıtıcı ayarı düşük. “Mevcut sıcaklık soğuksa” ve “istenilen sıcaklık ılıksa” ibareleri bu kuralın öncülüdür. VE (AND)

bağlayıcısı, toplanmış kuralların gerçek değerini belirlemek için bulanık mantık denetleyicisinin bu iki öncülü nasıl ilişkilendirdiğini belirtir. “Isıtıcı ayarı düşük” ibaresi bu kuralın sonucudur. Bir kural tabanı, bulanık mantık sistemi için kurallar kümesidir. Kural tabanı, denetleyici cihazın kontrol stratejisine eşdeğerdir. Şekil 4.3’te bulanık mantık süreci akış olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Bulanık mantık süreci.

4.4 Sensörsüz Bulanık Mantık Tabanlı Güneş Takip Sistemi

4.4.1 Giriş

Güneş, gökyüzündeki konumunu sürekli olarak değiştirmektedir. Gün doğumundan, gün batımına kadar, her gün doğudan batıya azimut hareketini yapmaktadır. Ayrıca, yıl boyunca kuzeyden güneye yükselme (elevation) hareketini yapmaktadır. FV panellerden elde edilen enerji güneş açılarının dik olarak panel yüzeyine geldiğinde en yüksek değerine ulaştığı için, azimut ve yükselme açılarındaki değişim dengelenerek paneller güneşe tam dönük olarak durmalıdır. Bu gereklilikleri yerine getirmek için bulanık mantık yöntemine dayanan bir kontrol sistemi geliştirilmiştir.

Bulanık kontrol, insan düşüncesi ve doğa dilinin özelliklerini gösteren bulanık mantık yöntemine dayanmaktadır [52]. Kontrol sisteminin davranışı için sadece nitelikli bilgiye ihtiyaç duyarak, kontrol stratejisinin uygun bir şekilde oluşturulmasını sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar daha fazla doğruluk ve geleneksel denetleyicilere göre daha iyi performanslar sağlayarak, geleneksel kontrol cihazlarına umut vaat eden alternatifler getirmiştir [53]. Bulanık denetleyiciler, kontrol mühendisliği alanında

insan bilgisinin kullanımıyla proses kontrolünü yapma kabiliyetleri sayesinde, büyük bir yenilik gerçekleştirmişlerdir. Böylece matematiksel modellerin bulunamadığı ya da çok karmaşık olduğu sorunları kontrol etmek için çözümler sağlamaktadırlar [54].

4.4.2 Bulanık mantık modülünün yapısı

Bulanık mantık modülü, çift eksenli güneş takip sistemini kontrol etmek için azimut açısını ve eğim (yükseklik) açısını yönlendiren iki bağımsız bulanık mantık tabanlı karar vericiden oluşmaktadır. Modül; FV panelleri güneş ışınlarına dik açıyla yönlendirmek için iki adet lineer DC motoru kontrol etmektedir.

4.4.3 Bulanık mantık kontrolörü tasarımı

Bulanık mantık denetleyici ile gerçekleştirilen birçok çalışmada, sistemlerin karmaşıklığına bakılmadan hata ve hata oranı bilgileri girdi değişkenleri olarak kullanılmaktadır [55].

Durum değişken girdileri olarak güneş açılarının farkları tanımlanmıştır. H_{Azimut} ; azimut açısındaki değişim ve $H_{Elevation}$ yükseklik (elevation) açısındaki değişimdir. Hata değişim oranları da dH_{Azimut} ve $dH_{Elevation}$ olarak ifade edilmiştir. Açısal farkları elde etmek için genelde sensör bilgilerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada 3. Bölümde bahsedilen denklemler ile yapılan matematiksel hesaplamalar ile sistemin bulunduğu konum-tarih-zaman bilgilerine göre hesaplanan azimut ve yükseklik (elevation) açıları ve USNO veritabanından alınan güneş açıları arasındaki farklar girdi olarak kullanılmıştır. Açısal hataların değerlendirilmesi ve değişim oranları Denklemler 4.1 ile 4.4 arasında verilmektedir.

- $A_{calcA} = \text{Hesaplanan Azimut Açısı Değeri}$
- $A_{dataA} = \text{USNO Azimut Açısı Değeri}$
- $A_{calcE} = \text{Hesaplanan Elevation Açısı Değeri}$
- $A_{dataE} = \text{USNO Elevation Açısı Değeri}$

$$H_{Azimut} = A_{calcA}(k) - A_{calcA}(k - 1) \quad (4.1)$$

$$H_{Elevation} = A_{calcE}(k) - A_{dataE}(k - 1) \quad (4.2)$$

$$dH_{Azimut} = \Delta(H_{Azimut}(k)) = A_{calcA}(k) - A_{dataA}(k) \quad (4.3)$$

$$dH_{Elevation} = \Delta(H_{Elevation}(k)) = A_{calcE}(k) - A_{dataE}(k) \quad (4.4)$$

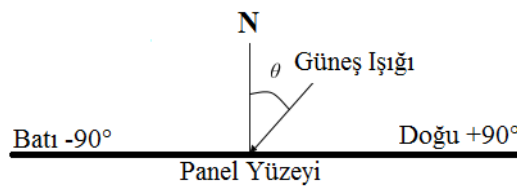
Burada hesaplanan değerler, gün doğumundan, gün batımına kadar olan süre içerisinde 1 saat arayla oluşturulan verilerdir.

Bulanık mantık kontrolörü tasarımımda aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

- Giriş durumu değişkenlerini ve her değişkenin kapsadığı aralıklar belirlenmiştir.
- ıktı değişkenlerini ve her birinin kapsadığı aralıklar tanımlanmıştır.
- Değişkenleri [0, 1] veya [-1, 1] aralığına normalleştirmek için giriş değişkenlerinin uygun ölçeklendirme faktörü seçilmiştir.
- yelik fonksiyonlarının Őekilleri sabit olarak belirlenmiştir.
- Her giriş durumu değişkeni için üyelik fonksiyonlarının sayısı ve dilsel değişkenler içindeki yerleri belirlenmiştir.
- Her yelik fonksiyonuna dilsel bir terim atanmıştır.
- Her değişken için bulanık üyelik fonksiyonunun derecesi oluşturulmuştur.
- Kural tabanı oluşturulmuştur.
- Her kurala katkıda bulunan ıktıdan anlam çıkarmak için bulanık yaklaşık akıl yürütme kullanılmıştır.
- Her kural tarafından önerilen bulanık çıktılar toplanmıştır.
- Net bir çıktı oluşturmak için bulanıklaştırma uygulanmıştır.
- Sürecin gerçek girdilerini bulanıklaştırma modülünün net çıktılarına uyarlamak için uygun süreç sonrası işlem seçilmiştir.

4.4.4 Azimut açısı için bulanık mantık kontrolörünün geliştirilmesi

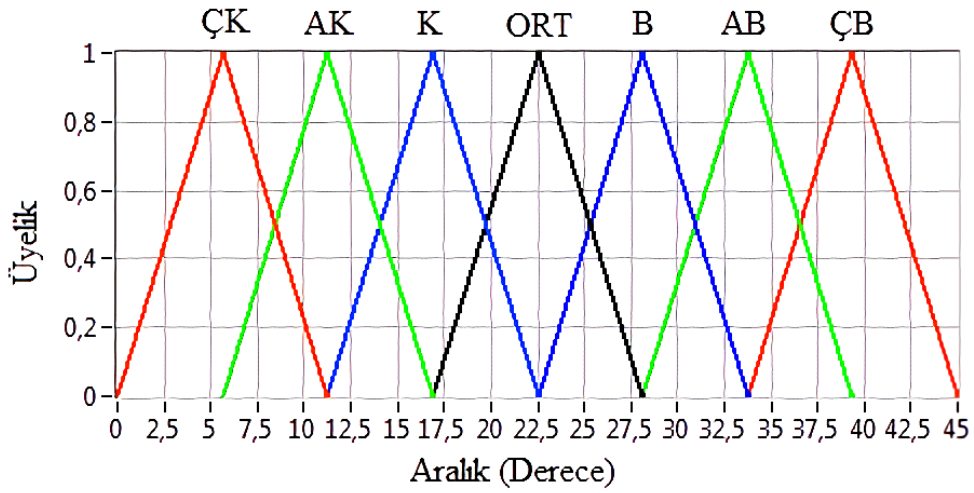
Azimut açısının bulanık mantık tabanlı karar vericinin durum değişkeni girdileri, H_{Azimut} açısal hatası ve dH_{Azimut} hata değişim oranıdır. Azimut açısal hatası için dilsel değişkenler; güneş panelinin güneş işınlarına göre optimal konumundan maksimum sapması olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.4, bir güneş paneline gelen güneş vektörünü göstermektedir. Güneş işınları güneş panelinin yüzeyine normal olduğunda, geliş açısı (θ) sıfırdır. Bu açı, gün doğumundan gün batımına -90° ile $+90^\circ$ arasında değişebilir.



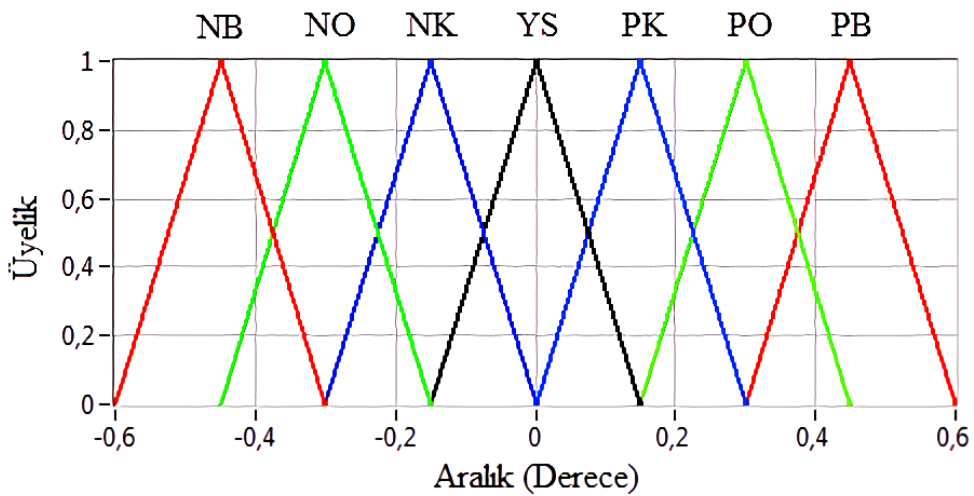
Şekil 4.4 Güneş işınlarının panel yüzeyine geliş açısı.

4.4.4.1 Giriş / Çıkış üyelik fonksiyonları

Azimut açısal hatası (H_{Azimut}) ve hata değişim oranı (dH_{Azimut}) 7 adet üçgen üyelik fonksiyonu olarak, sırasıyla H_{Azimut} [$0^\circ, 45^\circ$] ve dH_{Azimut} [$-0,6^\circ, +0,6^\circ$] şeklinde belirsiz olarak bölümlenmiştir. En uzun gün olan 21 Haziran tarihinde güneşin doğuşu ile batışı arasındaki açı değişimleri esas alınmıştır. 1 saatlik ara ile hesaplanan azimut açısı değişimleri arasındaki en yüksek farkın 45° olduğu görülmüştür. Bu sebeple değişkenler 0° ile 45° arasında $5,625^\circ$ 'lik eşit aralıklarla konumlandırılmıştır. Hassasiyeti nedeniyle azimut açısı için yeterli bir çözünürlük sağlamak amacıyla yedi adet seviye kullanılmıştır. İki giriş değişkenini temsil eden üyelik fonksiyonlarının boyutu, şekli ve etiketleri Şekil 4.5 (a) ve (b) 'de gösterilmektedir.



(a)



(b)

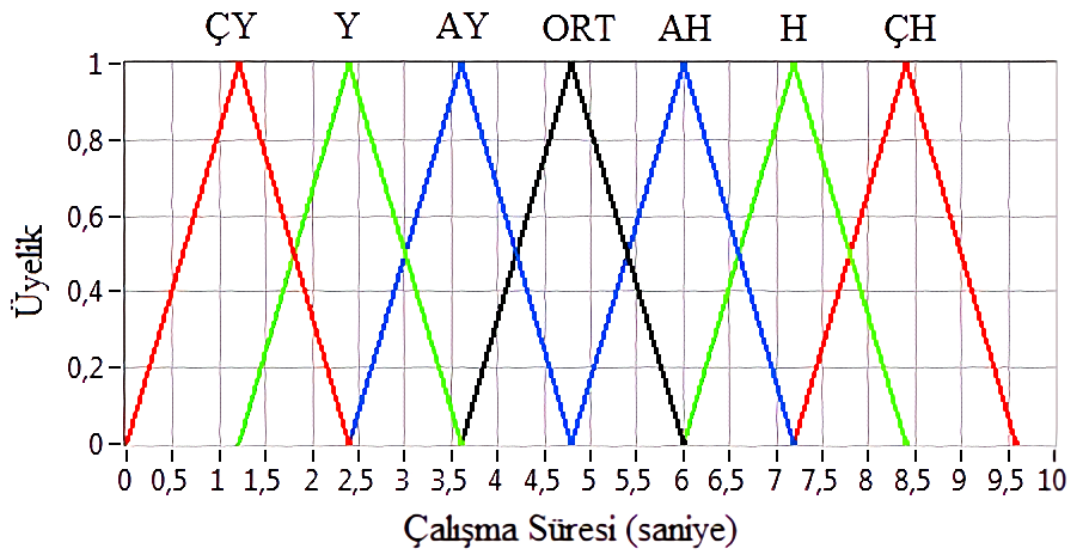
Şekil 4.5 (a) Azimut açısı hatası için üyelik fonksiyonu **(b)** Azimut açısı hatasının değişim oranı için üyelik fonksiyonu.

Giriş değişkenleri, dilsel terimlerle tanımlanan bulanık kümeler halinde belirtilir: Çok Küçük (ÇK), Az Küçük (AK), Küçük (K), Orta (ORT), Büyük (B), Az Büyük (AB), Çok Büyük (ÇB); Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Negatif Küçük (NK), Yaklaşık Sıfır (YS), Pozitif Küçük (PK), Pozitif Orta (PO) ve Pozitif Büyük (PB).

Her küme için giriş değerlerinin doğruluk derecesini temsil eden üyelik fonksiyonları, komşu bulanık kümeler için yeterli örtüşme sağlayan üçgen fonksiyonlardır. Dilsel değişkenler içerisinde, sadece iki bulanık küme sıfırdan farklı üyelik derecesine sahip olacaktır.

Bu örtüşme, sistemin düzgün bir şekilde eşleştirilmesini sağlar ve hesaplama karmaşıklığını azaltır. Büyük hatalar için kötü çözünürlüğü olan üyelik fonksiyonları ve güneş panelinin istenen duruşu (sistemin orijini) etrafındaki iyi çözünürlük kullanılmıştır [52].

Bulanık mantık tabanlı karar vericinin kontrol çıkış sinyali, bulanık çıkarım sistemi tarafından hesaplanan çıkış değerleri DC motor rölelerine uygulanan sinyalin açık kalma süresidir. [0, +10] saniye aralığında yedi üçgen üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. Lineer DC motor 1 saniyede $4,75^\circ$ açı katetmektedir. Buna göre adım aralık süreleri 1,2 saniye aralıklarla eşit olarak belirlenmiştir. Yedi dilsel terim tarafından, yedi üçgen ÜF Şekil 4.6'da gösterildiği gibi; çok yavaş hareket (ÇY), yavaş hareket (Y), az yavaş hareket (AY), orta hareket (ORT), az hızlı hareket (AH), hızlı hareket (H) ve çok hızlı hareket (ÇH) şeklinde tanımlanmıştır [57].



Şekil 4.6 'U' çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları adım süresi.

4.4.4.2 Kural tabanının oluşturulması

Kontrol kurallarının çıkarılması sezgiseldir ve kontrol etme sürecinin niteliksel bilgisine dayanır. Bulanık kurallar, kontrol hedefine ulaşmak için istenen duruştan sapma (azimut açısıl hata) en aza indirilecek şekilde türetilir [56].

Oransal türev (OT) tipi kontrolörün genel denklemi Denklem 4.5'teki gibidir

$$u(k) = k_p e(k) + k_d \Delta e(k) \quad (4.5)$$

k_p ve k_d orantılı ve diferansiyel kazanç katsayıları, e hatadır, Δe ise hatadaki değişimdir.

Bulanık mantık tabanlı karar verici aşağıdaki formun kurallarından oluşur;

$$R^i: \text{ IF } H_{Azimut} = A_1^i \text{ AND } dH_{Azimut} = A_2^i \text{ THEN } u = B^i \quad i = 1 \dots 7$$

A_1^i ve A_2^i ; i değeri için önceki çiftleri temsil eden dilsel terimlerdir. B^i ise i değeri için sonucu temsil eden bulanık kümedir. Çizelge 4.1'de, azimut açısı için oluşturulan bulanık mantık temelli 7x7 kural matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 bu kuralları azimut açısı için bir matris formunda bulanık mantık tabanlı karar verici (BMKV) için özetlemektedir. Kontrol kuralları, en soldaki sütunun ve en üstteki sıranın bulanık kümelerini içerdiği 2 boyutlu bir matris yapısı olarak görselleştirilir. Çıkış kontrol işleminin bulanık kümeleri matrisin gövdesinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Azimut açısı için oluşturulan bulanık mantık temelli 7x7 kural matrisi.

u		H_{Azimut} : Hata						
		ÇK	AK	K	ORT	B	AB	ÇB
dH_{Azimut} : Hata Değişim Oranı	NB	ORT	AY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY
	NO	AH	ORT	AY	Y	ÇY	ÇY	ÇY
	NK	H	AH	ORT	AY	Y	ÇY	ÇY
	YS	ÇH	H	AH	ORT	AY	Y	ÇY
	PK	ÇH	ÇH	H	AH	ORT	AY	Y
	PO	ÇH	ÇH	ÇH	H	AH	ORT	AY
	PB	ÇH	ÇH	ÇH	ÇH	Y	AY	ORT

Her iki durum değişkenin girişlerinde 7 adet üyelik fonksiyonu olduğundan, toplam if-then kuralı sayısı $7 \times 7 = 49$ adet olmaktadır.

Bulanık temelli kural matrisine atfen, bazı kuralların fiziksel anlamları aşağıda açıklanmıştır:

Kural 7: IF $H_{Azimut} = \text{ÇK}$ AND $dH_{Azimut} = \text{NB}$ THEN $u = \text{ÇY}$

“Açısal hata çok küçük” ifadesi $A_{dataA}(k)$ veriden alınan açı değerinin, $A_{calcA}(k)$ hesaplanan açı değerinden daha fazla olduğunu gösterir. “Hata değişim oranı negatif büyük” ifadesi takip sisteminin doğuya doğru hareket ettiğini belirtmektedir. Bu sebeple güneşi takip edebilmek için kontrolör “çok yavaş hareket (ÇY)” eylemini uygulamak zorundadır.

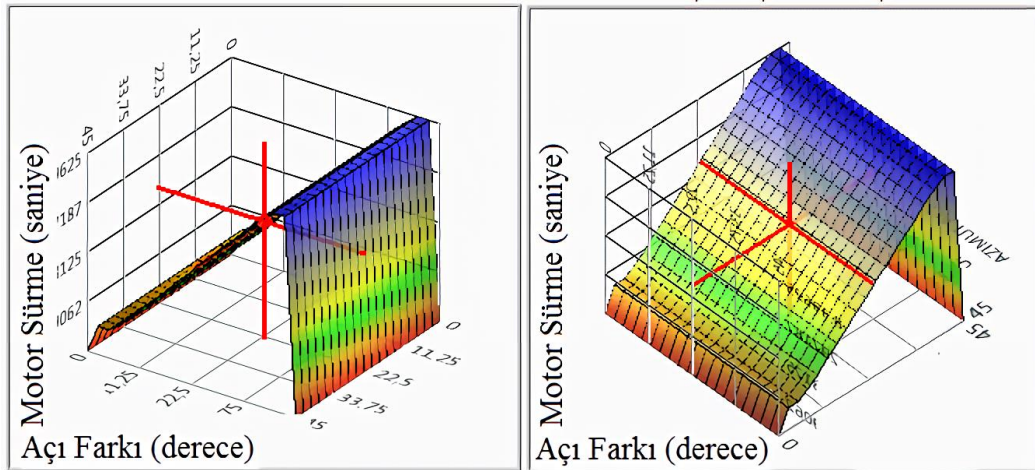
Kural 25: IF $H_{Azimut} = \text{ORT}$ AND $dH_{Azimut} = \text{YS}$ THEN $u = \text{ORT}$

Bu kural, sapma hatasının bulanık ORT bölgesi içinde olduğu ve yine YS bölgesi içinde bir hata değişim oranı olduğu durumlarda, kontrol cihazının şu anki durumunu orta hızda hareketli olarak uyguladığı anlamına gelir.

Kural 32: IF $H_{Azimut} = \text{B}$ AND $dH_{Azimut} = \text{YS}$ THEN $u = \text{AH}$

“EĞER açısal hata büyük VE hata değişim oranı yaklaşık sıfır ise” ifadesi güneş panellerinin doğuya doğru hafif bir şekilde yanlış hizalandığını gösterir. Doğru konuma ulaşmak için kontrolör paneli hafifçe doğuya doğru hareket ettirmek için “az hızlı hareket” sonucunu uygulamalıdır.

Matris farkedilir özellikler sunar. Köşegeninde simetrik bir özelliğe sahiptir. Yani kontrol eyleminin yavaş hareket terimleri (ÇY, Y ve AH) köşegen üzerine yerleştirilirken, hızlı hareket dilsel değerler (ÇH, H ve AH) konumunu orta hızda hareket (ORT) kontrolüne sahip diyagonalin altındadır. Bu matrisin bir başka özelliği, her iki yönde, aktüatörler için uygulanacak adım süresinin, diyagonalden uzaklaştıkça artmasıdır. Şekil 4.7’de azimut açısı için tasarlanan bulanık mantık sisteminin 3B grafik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.7 Azimut açısı için tasarlanan bulanık mantık sistemi.

4.4.5 Yükselme açısı (elevation) bulanık mantık kontrolörü

İkinci bulanık mantık kontrolörü, takip sisteminin eğim açısını ayarlamak için kullanılmıştır. Azimut açısı denetleyicisi ile birlikte çalışmaktadır. Bu bulanık mantık kontrolörünün girişleri; yükselme açısı (elevation) hatası " $H_{Elevation}$ " ve hata değişim oranı " $dH_{Elevation}$ " değeridir. Çıktısı ise ikinci lineer DC motoru çalıştıran kontrol işlemidir.

Eğim açısı, ekvator düzlemi ile güneşin ve dünyanın merkezlerini birleştiren çizginin yaptığı açıdır ve -23.45° ile $+23.45^\circ$ arasında değişmektedir. Değişim sadece mevsimsel bazda olduğu için, beş üçgen şeklindeki ÜF'ler kullanılarak 21 Haziran gününden yapılan hesaplamalar sonucu iki saat arasındaki en az ve en çok açı değerine göre $[-12^\circ, +12^\circ]$ dilsel değişkenler eşit bölümlere ayrılmış ve daha az sayıda nitelikleştirme yapılmıştır. Kullanılan dilsel terimler, Negatif Büyük (NB), Negatif Küçük (NK), Yaklaşık Sıfır (YS), Pozitif Küçük (PK) ve Pozitif Büyük (PB) olarak belirlenmiştir. Motorları sürme süresi ise; çok yavaş hareket (ÇY), yavaş hareket (Y), orta hızda hareket (ORT), hızlı hareket (H) ve çok hızlı hareket (ÇH) şeklinde tanımlanmıştır.

Şekil 4.8'de yükseklik açısı (elevation) hatasının ve hata değişim oranının üyelik fonksiyonu değerlerinin grafiksel gösterimi yer almaktadır.

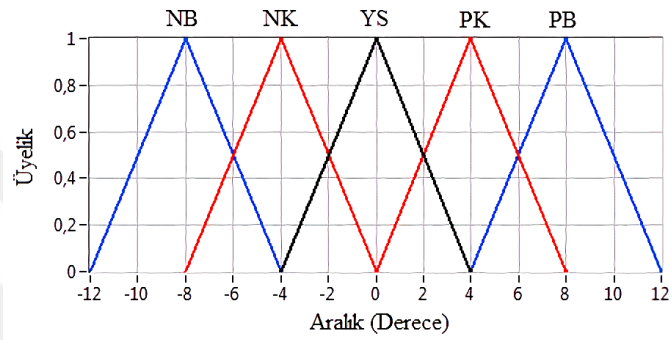
Çizelge 4.2 bu kuralları yükselme (elevation) açısı için bir matris formunda bulanık mantık tabanlı karar verici için özetlemektedir. Kontrol kuralları en soldaki sütunun ve en üstteki sıranın bulanık kümelerini içerdiği, çıkış kontrol işleminin bulanık kümeleri matrisin gövdesinde gösterilmiştir.

Azimut açısını kontrol eden bulanık kontrolörün kural tabanı matrisine benzer olarak, yükseklik açısı kural tabanı matrisi de köşegeninde simetrik bir özelliğine sahiptir. Kontrol eyleminin kuzeye ait dilsel terimleri (H ve ÇH) köşegen altına yerleştirilirken, güneye yönelik dilsel değerler (Y ve ÇY) konumunu sabit tutma (ORT) kontrolüne sahip diyagonalin üzerindedir. Bu matrisin bir başka özelliği, her iki yönde, aktüatörler için uygulanacak adım sayısının, diyagonalden uzaklaştıkça artmasıdır.

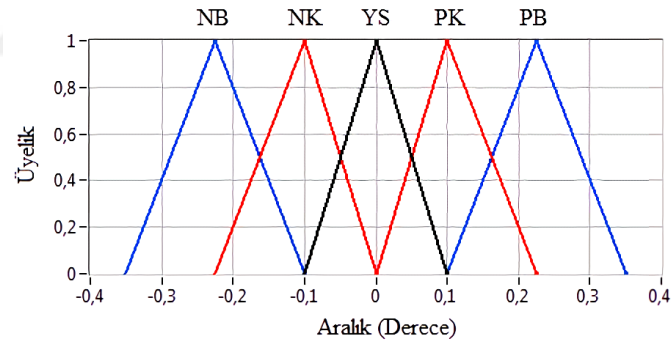
Şekil 4.9, 'U' çıkış değişkeninin tekli üyelik fonksiyonları adım sayısını göstermektedir. Kullanılan dilsel terimler; Çok Yavaş (ÇY), Yavaş (Y), Orta (ORT), Hızlı (H), Çok Hızlı (ÇH).

Çizelge 4.2 Bulanık mantık temelli 5x5 kural matrisi.

U		$dH_{Elevation}$ = Hata Değişim Oranı				
		PB	PK	YS	NK	NB
$H_{Elevation} = Hata$	NB	ORT	Y	ÇY	ÇY	ÇY
	NK	H	ORT	Y	ÇY	ÇY
	YS	ÇH	H	ORT	Y	ÇY
	PK	ÇH	ÇH	H	ORT	Y
	PB	ÇH	ÇH	ÇH	YH	ORT

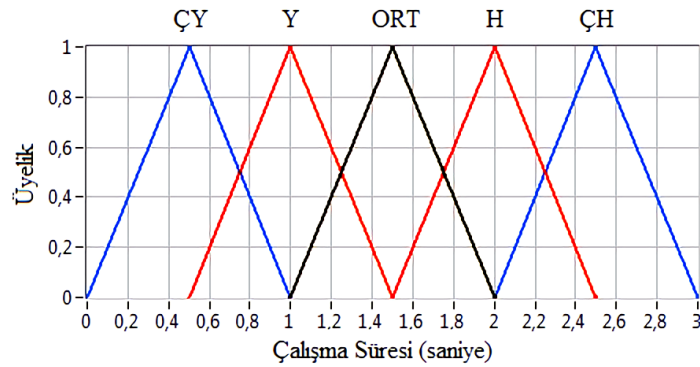


(a)



(b)

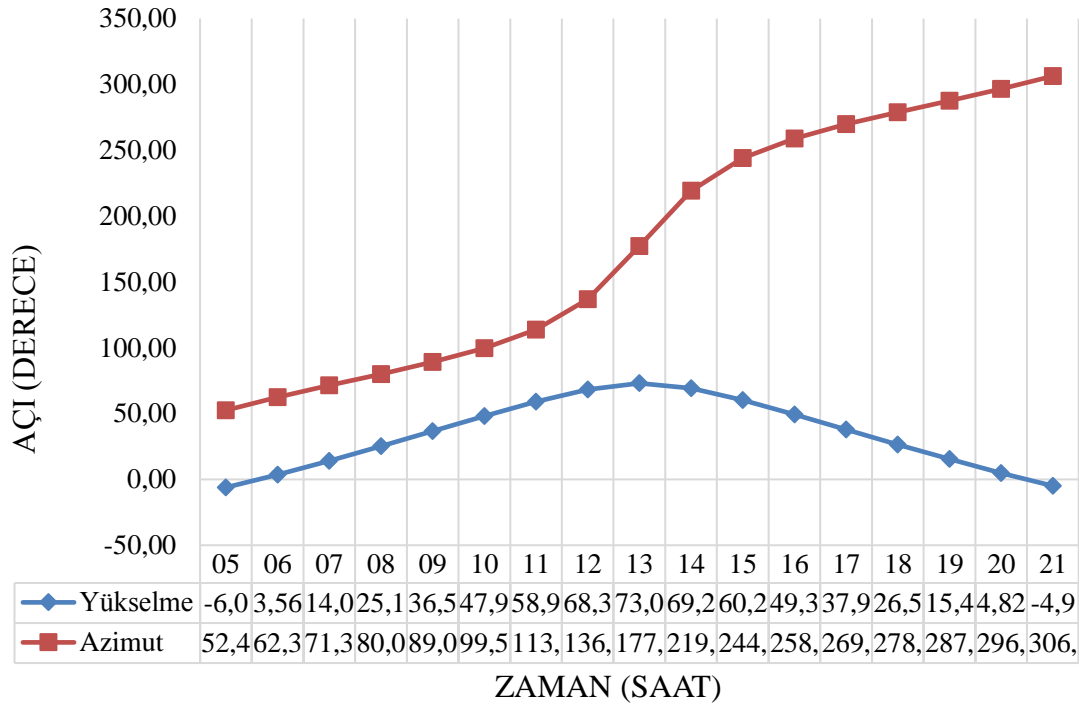
Şekil 4.8 (a) Yükselme açısı hatası için üyelik fonksiyonu **(b)** Yükselme açısı hatasının değişim oranı için üyelik fonksiyonu.



Şekil 4.9 'U' çıkış değişkeninin tekli üyelik fonksiyonları adım süresi

5. SONUÇLAR

Bu bölümde, geliştirilen sensörsüz otomatik güneş takip sisteminden ve sensörsüz-bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminden elde sonuçlar sunulmuş ve önerilen güneş takip sistemlerinin çalışmaları test edilmiştir. Bu sonuçlardan elde edilen veriler ile sabit sistem ve hareketli sistem arasında karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 5.1’de, sensörsüz otomatik güneş takip sisteminden 29.06.2019 gününde elde edilen azimut ve yükselme açılarının değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Sensörsüz otomatik güneş takip sisteminden 29.06.2019 gününde elde edilen azimut ve yükselme açılarının değişimi.

5.1 Sensörsüz Otomatik Güneş Takip Sistemi Sonuçları

Bölüm 4.1’de anlatıldığı üzere, geliştirilen güneş takip sistemi sensör kullanmadan konum-tarih-zaman bilgilerine dayalı olarak güneş pozisyonunu hesaplamakta ve Bölüm 4.2’de anlatıldığı şekilde güneş açıları arasındaki saatlik farka göre takip işlemini gerçekleştirmektedir.

Geliştirilen yazılım ile 29.06.2019 günü ve 40,19° K ve 29,12° D (BTÜ Mimar Sinan, Bursa, TR) konumu için sabah 05:00 ile akşam 21:00 (UTC +3) saatleri arasında, 60 dakikalık periyotlarla hesaplanan güneş hareketine ait veriler alınmıştır. Gün doğumu saat 05:39'da başlamış, saat 13:04'te öğle (gün ortası) saati ile devam etmiş, saat 20:29'de gün batımı gerçekleşmiştir. Hesaplanan güneş açıları Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

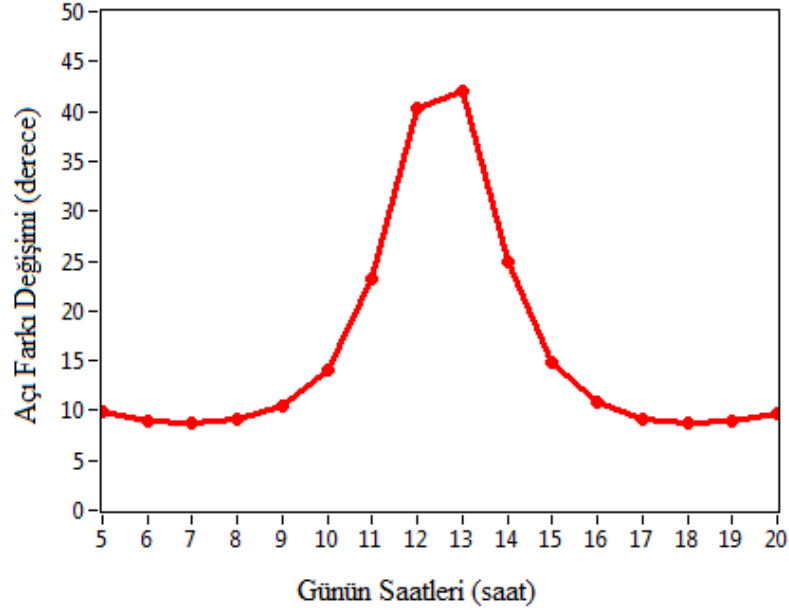
Çizelge 5.1 Hesaplanan güneş açıları.

Saat	Yükselme (Derece)	Azimet (Derece)
05:00	-6,09	52,48
06:00	3,56	62,33
07:00	14,09	71,34
08:00	25,18	80,03
09:00	36,58	89,09
10:00	47,99	99,59
11:00	58,96	113,74
12:00	68,38	136,89
13:00	73,02	177,15
14:00	69,29	219,25
15:00	60,23	244,11
16:00	49,36	258,98
17:00	37,97	269,76
18:00	26,56	278,93
19:00	15,42	287,63
20:00	4,82	296,57
21:00	-4,96	306,29

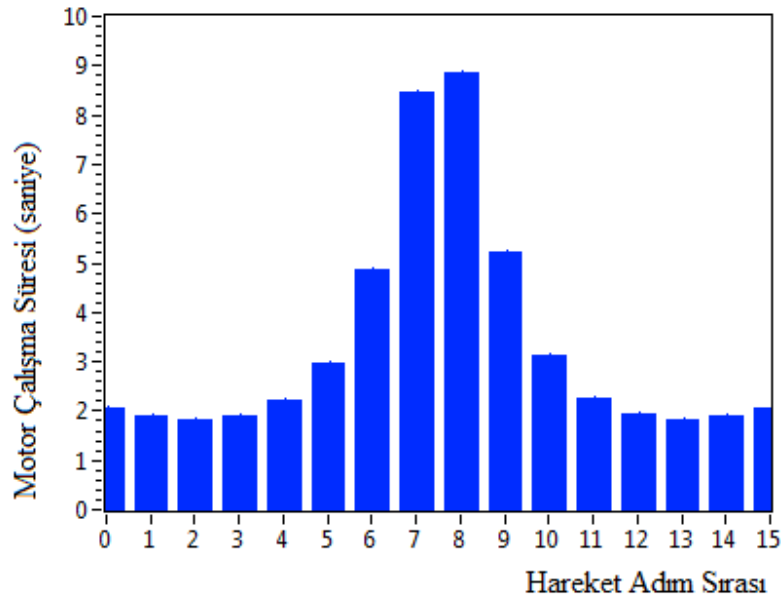
Hesaplanan güneş açılarının saatlik farkına göre güneş takibi gerçekleştirilmiştir. Güneş'in yaptığı hareket sonucu, öğle saatleri (12.00-14.00) arasındaki azimet açı değerlerinin günün diğer saatlerine oranla oldukça yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Bu açıların saatlik olarak farkları arasındaki değişim grafiği Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Açılar arasındaki değişim miktarına göre yapılan matematiksel hesaplamalar sonucunda motorun ne kadar süreyle çalışacağı belirlenmiştir. Motor her saat başı değişen açı farkı verilerine göre hesaplanan saniye süresi kadar aktif hale gelen röleler yardımıyla güneşin takip edilmesini sağlamıştır. Motorun 1 saniye hareket etmesi ile panellerin 4,75°'lik bir açı değeri ile hareket ettiği tespit edilmiştir. Geliştirilen yazılım, bu açı değerine göre motorların ne kadar süre ile çalışacağını ve saatlik açı

farkı kadar takip edeceğini yönetmiştir. Motorun gün içindeki açı değişimlerine göre çalışma sürelerine ait veriler Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



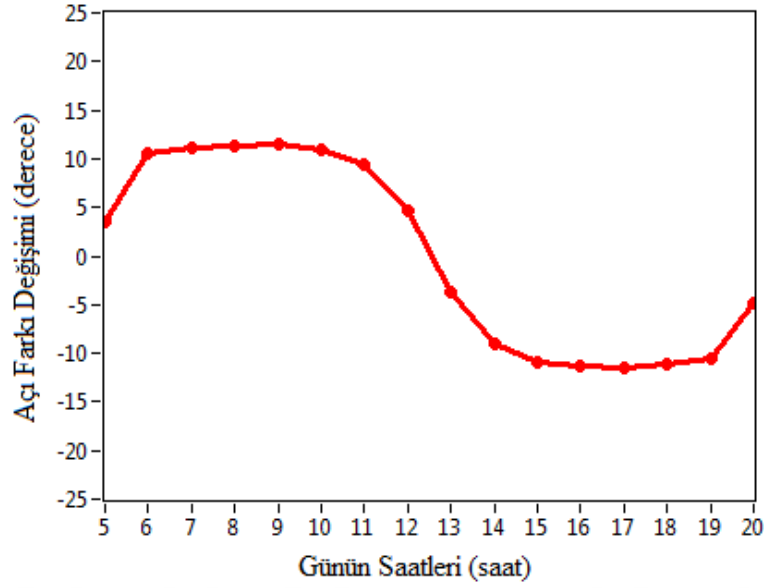
Şekil 5.2 Azimut açısı saatlik değişim grafiği.



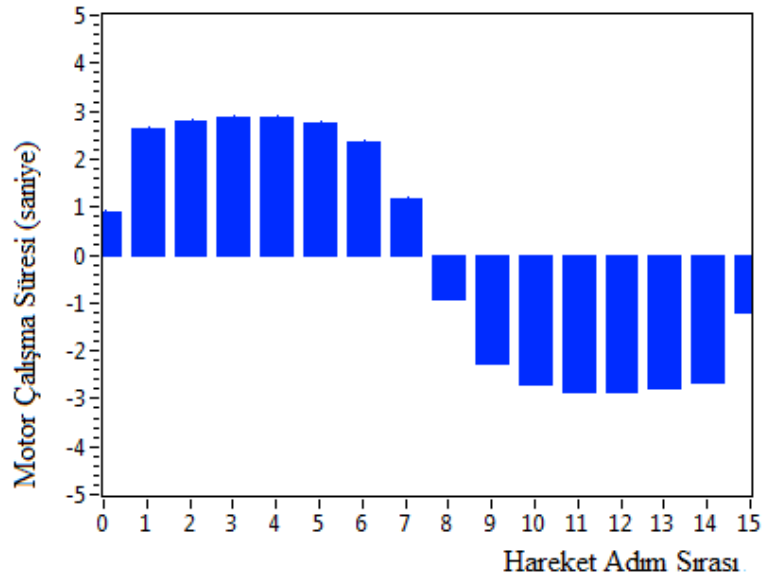
Şekil 5.3 Doğu-Batı motoru gün içindeki çalışma süreleri.

Güneş'in yaptığı hareket sonucu öğleden sonra yükselme açısı değerleri azalarak güneşin kuzey-güney hareketinde eski pozisyonuna doğru konumlandığı belirlenmiştir. Şekil 5.4'te gösterilen grafikte yükselme açısı saatlik farklarının sıfırın altında değer aldığı gösterilmiştir.

Açılar arasındaki değişim miktarına göre yapılan hesaplamalar ile kuzey-güney hareketini sağlayan motorun ne kadar süreyle çalışacağı belirlenmiştir. Motorun 1 saniye hareket etmesi ile panelelerin 4°'lik bir açı ile pozisyon değiştirdiği tespit edilmiştir. Şekil 5.5'te gösterilen grafikte motorun gün içindeki çalışma süreleri yer almaktadır. Bu grafikte sıfırın altında (-) işareti ile belirtilen süreler motorun geri yönde hareket ettiğini belirtmektedir.



Şekil 5.4 Elevation açısı saatlik değişim grafiği



Şekil 5.5 Kuzey-Güney motoru gün içindeki çalışma süreleri.

5.2 Sensörsüz Bulanık Mantık Tabanlı Güneş Takip Sistemi Sonuçları

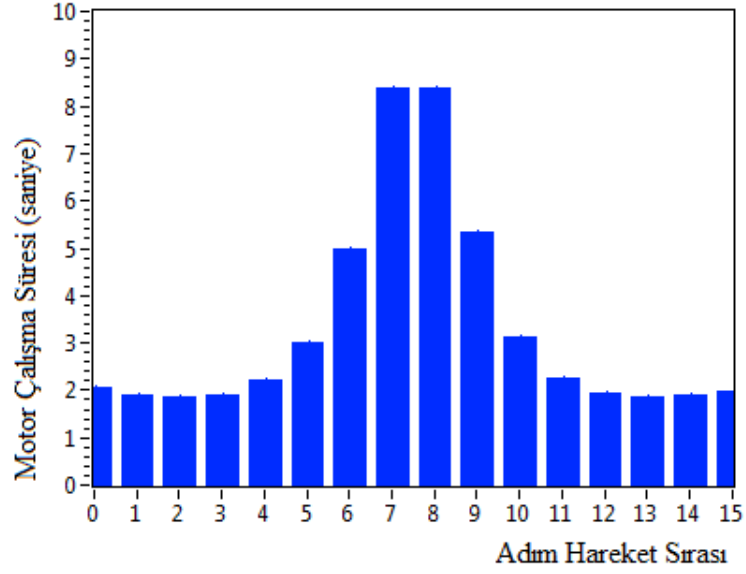
Geliştirilen bulanık mantık tabanlı karar vericinin en doğru açıda güneş takibini yapması amaçlanmaktadır. Sistem takip işlemini yapmak için üyelik fonksiyonlarını işleme alarak çıktılara göre motorları hareket ettirmektedir. Şekil 5.6’da bulanık mantık tabanlı karar vericinin motorları sürme süresine ait grafik gösterilmektedir.

Bölüm 4.1’de bahsedilen şekilde yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen güneş açısı verilerinin, saatlik olarak farkları alınarak, Amerika Birleşik Devletleri Deniz Gözlemevi (USNO) veritabanından alınan veriler ile karşılaştırılmaktadır. Hesaplanan saatlik açı değerleri arasındaki fark hata olarak, hesaplanan ve veritabanından alınan veriler hata değişim oranı olarak tanımlanmıştır.

30 Haziran 2019 günü için veri tabanından elde edilen ve geliştirilen yazılım ile hesaplanan azimut açısı ve yükselme açısı değerleri ve açılarının farkları arasında hata ve hata değişim değerleri saatlik olarak Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 USNO veri tabanından alınan ve LabVIEW yazılımı ile hesaplanan azimut açısı ve yükselme açısı değerleri.

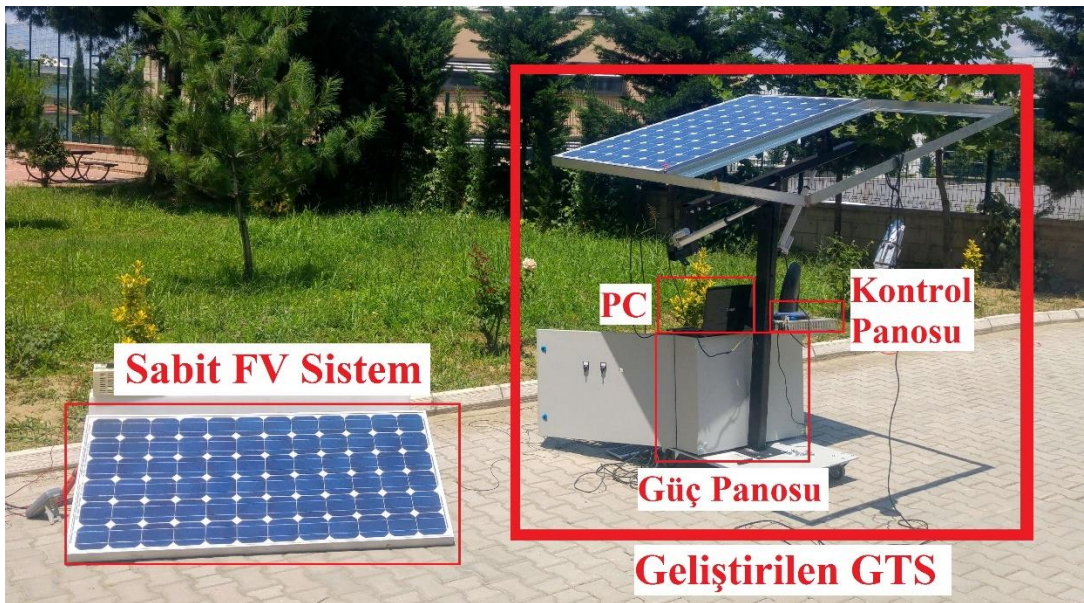
Saat	USNO Yükselme	VeriTabanı Azimut	Yükselme fark hata	Yükselme hata değ.	Azimut fark hata	Azimut hata değ.
05:00	-6,00	52,60	0,06	-0,31	-0,15	0,15
06:00	3,90	62,40	-0,25	0,51	0,00	-0,01
07:00	14,20	71,50	0,26	-0,22	-0,01	-0,01
08:00	25,30	80,20	0,04	0,00	-0,02	-0,09
09:00	36,70	89,30	0,04	-0,01	-0,11	0,09
10:00	48,00	99,80	0,03	0,02	-0,02	-0,13
11:00	59,00	114,10	0,05	-0,04	-0,15	0,16
12:00	68,30	137,40	0,01	0,14	0,01	0,19
13:00	72,90	177,50	0,15	-0,13	0,20	0,15
14:00	69,10	219,20	0,02	0,07	0,35	-0,29
15:00	60,10	244,00	0,09	-0,04	0,06	-0,08
16:00	49,30	258,90	0,05	-0,04	-0,02	0,01
17:00	37,90	269,70	0,01	0,03	-0,01	0,02
18:00	26,50	278,90	0,04	-0,02	0,01	-0,13
19:00	15,40	287,60	0,02	0,22	-0,12	0,12
20:00	5,00	296,60	0,24	-0,51	0,00	0,00
21:00	-5,00	306,40	-0,27	0,27	0,00	0,00



Şekil 5.6 Bulanık mantık tabanlı karar verici motor hareket süresi sonuçları.

5.3 Yapılan Ölçümler ve Karşılaştırma

Sabit olarak yerleştirilen panel ile hareketli sistem üzerine yerleştirilen panelin gün içerisinde ürettikleri enerji miktarları saatlik olarak ölçülmüştür. 29 -30 Haziran 2019 günlerinde, Bursa Teknik Üniversitesi Mimar Sinan Kampüsü'nde saat 09:00 ile 15:00 arasında sabit FV sistem, sensörsüz otomatik FV takip sistemi ve sensörsüz bulanık mantık tabanlı FV takip sistemi verileri toplanmıştır. Sabit panel 28,5° eğim ile güneydoğu yönünde konumlandırılmıştır. Şekil 5.7'de sabit panel ve hareketli sistem gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Sabit FV panel ve hareketli FV panel deneysel çalışma.

FV sistem tarafından üretilen akım ve gerilim değerlerinin okunması ile sistemden elde edilen güç değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen güç değerleri kullanılarak, FV sisteme ilişkin verim değeri Denklem 5.1’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$Verim(\%) = \frac{Takip\ Sistemi\ Üretilen\ Güç - Sabit\ Sistem\ Üretilen\ Güç}{Sabit\ Sistemin\ Ürettiği\ Güç} \times 100 \quad (5.1)$$

FV paneller ile güneşten elde edilen elektrik enerjisinin dışında, sensörsüz otomatik güneş takip sisteminin iki ekseninde yer alan motorların gün boyunca hareket esnasında en az 2,1W en çok 5,25W güç tükettikleri de ölçülmüştür. Çizelge 5.3’te doğu-batı ve kuzey-güney hareketini sağlayan motorların güneş takibi yapılan süre boyunca ne kadar güç tükettiği gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Takibi sağlayan motorların harcadığı güç miktarları.

	Doğu-Batı Motoru			Kuzey-Güney Motoru		
	Akım (A)	Gerilim (V)	Güç (W)	Akım (A)	Gerilim (V)	Güç (W)
En Düşük	0,3	10,5	3,15	0,2	10,5	2,1
En Yüksek	1	10,5	10,5	0,5	10,5	5,25

Motorların güneş takibi boyunca harcadıkları güç miktar 2,1W ile 5,25W arasında olup, FV sistem tarafından üretilen gücün (428,7W) %7’sine karşılık gelmektedir. Geliştirilen GTS’nin harcadığı gücün, FV sistemin ürettiği güç miktarına göre oldukça az değerlerde olduğu ve sistemin kendine yetecek bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Sistem üzerinde ölçüm yapmak için yük olması gerekmektedir. Güç panosu içerisinde yer alan 2 adet 12V 120Ah akülerin şarj olurken çektikleri akım ve inverterin çalışırken çektiği akım sistemin yükü olarak hesaplanmıştır. Sistemin çalışmasını sağlarken aynı zamanda FV paneller tarafından ne kadar gerilim ve akım üretildiğine dair ölçüm yapılmasını sağlamıştır.

5.3.1 Sensörsüz Otomatik GTS ile Sabit FV Sistemin Karşılaştırılması

Geliştirilen iki eksenli sensörsüz otomatik GTS ile sabit olarak yerleştirilen FV sistemin 29 Haziran 2019’da ürettiği gerilim ve akım değerleri Çizelge 5.4’te gösterilmiştir.

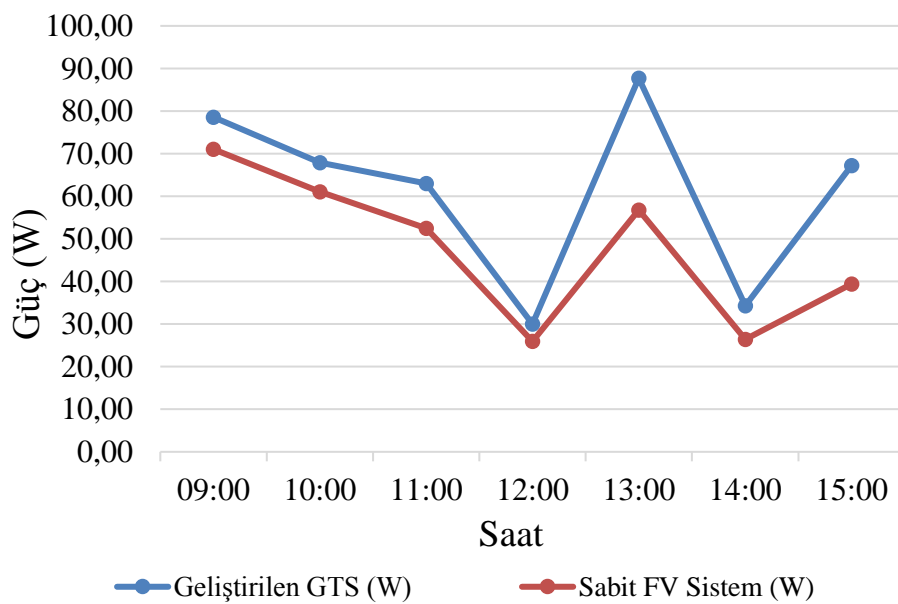
Çizelge 5.4 Otomatik GTS ve sabit sistemin ürettiği akım ve gerilim değerleri.

Saat	Otomatik GTS'li FV Sistem		Sabit FV Sistem	
	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)
9:00	2,31	34	2,22	32
10:00	1,94	35	1,85	33
11:00	1,75	36	1,5	35
12:00	1,2	25	1,08	24
13:00	2,58	34	1,67	34
14:00	1,04	33	0,88	30
15:00	2,1	32	1,36	29

Çizelge 5.5'te sabit FV panel ve geliştirilen GTS üzerindeki panelin ürettiği güç değerleri ve takip sisteminin sabit sisteme göre verimliliği gösterilmiştir. Şekil 5.8'de iki sistemde üretilen güç değerlerinin grafiksel gösterimi yer almaktadır.

Çizelge 5.5 Otomatik GTS ve sabit FV sistemden elde edilen güç ve verim.

Saat	Oto. GTS	Sabit FV Sistem	Verim (%)
	Güç (W)	Güç (W)	
9:00	78,54	71,04	10,6
10:00	67,90	61,05	11,2
11:00	63,00	52,50	20,0
12:00	30,00	25,92	15,7
13:00	87,72	56,78	54,5
14:00	34,32	26,40	30,0
15:00	67,20	39,44	70,4
	428,68	333,13	28,7



Şekil 5.8 Otomatik GTS ve sabit FV sistem tarafından üretilen güç değerleri.

Elde edilen ölçüm değerlerinden, öğlen saat 12:00 ve öğleden sonra saat 14:00 ölçümlerinde havada bulutlanma olduğu ve güneşin önünün kapandığı anlaşılmaktadır. Güneşin bulutların arkasında kalmasına rağmen otomatik takip sisteminin biraz daha fazla güç ürettiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda güneş tekrar tam olarak ortaya çıktığında, sabit sistemin sensörsüz otomatik takip sistemi kadar güç üretemediği kaydedilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda, sensörsüz otomatik GTS ile donatılan FV sistemin, sabit şekilde montajı yapılmış FV sisteme göre, toplamda %28,7 oranında daha verimli olduğu görülmüştür. Güneşin batı konumuna geçtiği öğleden sonraki saatlerde yapılan ölçümlerde, güneş takip sisteminin sabit sisteme göre çok daha fazla verimle çalıştığı gözlemlenmektedir.

5.3.2 Bulanık Mantık Tabanlı Sensörsüz GTS ile Sabit FV Sistemin Karşılaştırılması

Bir önceki bölümde yapılan sensörsüz otomatik GTS ile sabit FV panel sistemi arasındaki karşılaştırmaya ek olarak, geliştirilen bulanık mantık tabanlı karar verici (BMKV) sensörsüz GTS ile de ölçümler yapılmıştır. 30 Haziran 2019 günü yapılan ölçümlerde BMKV güneş takip sistemi ile sabit FV sistemin ürettiği gerilim ve akım değerleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 BMKV Güneş Takip Sistemi ve Sabit FV Sistem tarafından üretilen akım ve gerilim değerleri.

Saat	Bulanık Mantık GTS		Sabit FV Sistem	
	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)
9:00	2,51	35	2,32	33
10:00	2,37	36	1,95	34
11:00	1,84	36	1,55	36
12:00	1,56	37	1,23	36
13:00	1,04	26	0,94	25
14:00	2,15	35	1,87	33
15:00	1,56	37	0,85	26

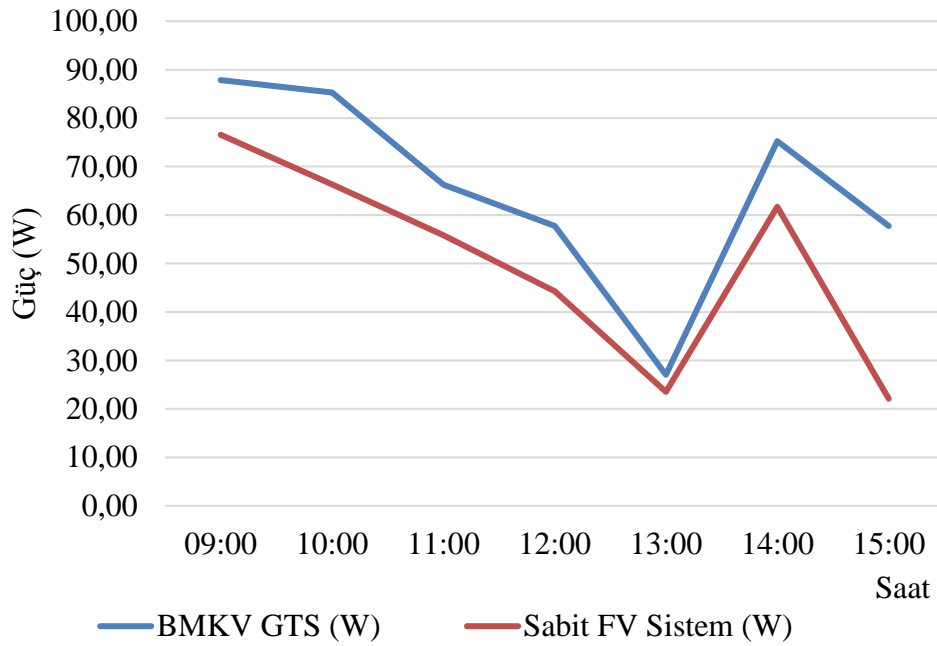
Çizelge 5.7'de sabit FV sistem üzerindeki panel ve bulanık mantık tabanlı GTS üzerindeki panelin ürettiği güç değerleri ve takip sisteminin sabit sisteme göre verimliliği gösterilmiştir.

Şekil 5.9'da iki sistemde üretilen güç değerlerinin grafiksel gösterimi yer almaktadır.

Yapılan ölçüm değerlerinden anlaşıldığı üzere hem BMKV güneş takip sisteminin, hem de sabit FV sisteminin ürettiği güç miktarı, öğlen saat 12:00 ve 13:00'da en yüksek değerine ulaşması gerekirken, havanın bulutlanması sonucunda değerler daha düşük olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7 BMKV güneş takip sisteminden ve sabit FV sistemden elde edilen güç değerleri.

Saat	BMKV GTS Güç (W)	Sabit FV Sistem Güç (W)	Verim (%)
9:00	87,85	76,56	14,7
10:00	85,32	66,30	28,7
11:00	66,24	55,80	18,7
12:00	57,72	44,28	30,4
13:00	27,04	23,50	15,1
14:00	75,25	61,71	21,9
15:00	57,72	22,10	161,2
	457,14	350,25	30,5



Şekil 5.9 BMKV güneş takip sistemi ve sabit FV sistem tarafından üretilen güç değerleri.

Elde edilen sonuçlara göre, geliştirilen bulanık mantık tabanlı karar verici üzerine yerleştirilen panel ile sabit olarak yerleştirilen FV panelin ürettiği güç miktarları arasında %30,5 oranında verim farkı vardır. Geliştirilen sistem, güneşin önü bulutlar ile kapansa bile, saat bazlı takip yaparak elde edebileceği en yüksek değerde güç değerleri üretmeyi başarmıştır.

5.3.3 Sensörsüz Otomatik GTS İle BMKV GTS'nin Karşılaştırılması

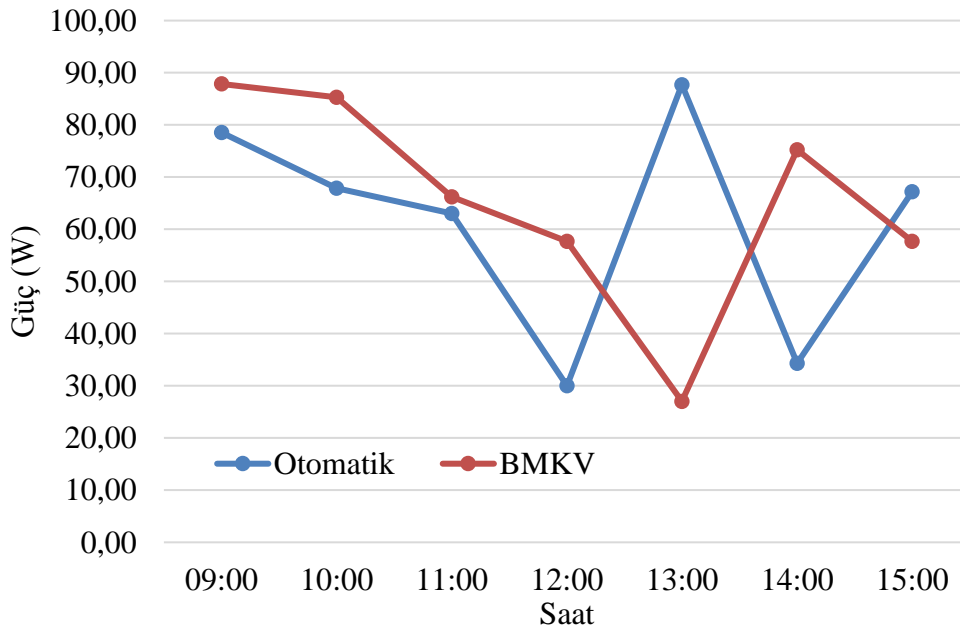
Geliştirilen sensörsüz otomatik GTS ve bulanık mantık tabanlı GTS sabit olarak yerleştirilen sistemler ile karşılaştırılmış ve her iki sistemin de sabit panele göre daha verimli bir şekilde elektrik enerjisi ürettiği gözlemlenmiştir.

Bu bölümde geliştirilen bu iki tip güneş takip sisteminden elde edilen verilerin karşılaştırması yapılmaktadır. Daha önceki bölümlerde akım, gerilim ve güç değerleri verilmiştir. Çizelge 5.8'de geliştirilen iki takip sisteminden elde edilen güç değerleri ve toplamda verimlilik oranı yer almaktadır.

Şekil 5.10'da üretilen güç değerlerinin grafiksel gösterimi yer almaktadır. Aynı saatlerde birbirinden çok farklı değerlerde güç üretildiği görülmektedir. Verimlilik olarak gün boyunca üretilen toplam güç değerlerinin oranı alınmıştır.

Çizelge 5.8 Geliştirilen güneş takip sistemleri tarafından üretilen güç miktarları.

Saat	BMKV GTS Güç (W)	Oto. GTS Güç (W)	Verim (%)
9:00	87,85	78,54	
10:00	85,32	67,90	
11:00	66,24	63,00	
12:00	57,72	30,00	
13:00	27,04	87,72	
14:00	75,25	34,32	
15:00	57,72	67,20	
	457,14	428,68	6,64



Şekil 5.10 BMKV ve otomatik güneş takip sistemlerinin ürettiği güç.

Elde edilen değerler, yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda geliştirilen iki eksenli BMKV ve otomatik GTS'lerin karşılaştırması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, gün sonunda ele alınan toplam veriler ile BMKV sensörsüz GTS'nin, sensörsüz otomatik GTS'ye oranla %6,64 daha fazla güç üreterek daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

5.4 Öneriler

Tezde elde edilen sonuçlar ışığında, güneşten maksimum verimi elde etmek adına güneş takip sistemlerini kullanmanın önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Geliştirilen güneş takip sistemleri, FV paneller CSP sistemler ile elektrik üretiminde tercih edilerek kolaylıkla uygulanabilir.

Geliştirilmesi ve uygulaması yapılan güneş takip sisteminde, hareket 1 saat aralıklarla yapılarak, akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Hareketin gerçekleştiği saat aralığı azaltılarak, sistemin güneşi daha hassas bir biçimde takip etmesi sağlanabilir ve elde edilen verim değeri artırılabilir.

Geliştirilen bulanık mantık tabanlı karar verici sistemin, açı farklarına ve açı farkları arasındaki hataya göre geliştirilen karar verme mekanizması, açı farklarına göre sistemin hareket zamanı aralıklarının belirlenmesi için geliştirilebilir. Bu sayede güneşin daha çok ışınım yaydığı saatlerde, daha kısa aralıklarla güneş takibi yapılarak daha fazla güç elde edilebilir. Örneğin; ölçüm yapılan günde sabah saatlerindeki açı değişimi ile öğle saatlerinde açı değişimi farklıdır. Geliştirilen sistem, güneşin daha fazla yer değiştirdiği ve daha fazla ışınım yaydığı öğle saatlerinde takip işlemini daha sık aralıklarla gerçekleştirerek güneşten en iyi şekilde faydalanabilir.

Tezde önerilen sensörsüz otomatik GTS ve bulanık mantık tabanlı otomatik GTS, sabit olarak yerleştirilen FV panele göre daha fazla güç üreterek başarılı bir şekilde çalıştıklarını göstermiştir. Geliştirilen sistemde hareketi sağlayan motorların az güç tüketmesi ve sistemin tarih-zaman-konum bilgilerine göre takibi gerçekleştirilmesi öne çıkan avantajları olarak gösterilebilir. Geliştirilen bulanık mantık tabanlı karar verici sistemden, sensörsüz otomatik takip sistemine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında, sensörsüz bulanık mantık tabanlı karar verici takip sisteminin motor sürme süresini belirlemesi yerine, takip yapılacak zaman aralıklarını belirlemesi üzerine geliştirilerek, FV panellerden daha yüksek güç elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Türkiye 2019 Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı Grafik I.IV.** *Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2019 Yılı İstatistikleri* Erişim: Haziran 2019, https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-06/kurulu_guc_mayis_2019.pdf
- [2] **Altın, V.** (2004). Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi. *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 33, 28-31.
- [3] **Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA).** *Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü*, Erişim: 15 Mayıs 2019, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [4] **Nadia, A. R., Isa, N. A. M., & Desa, M. K. M.** (2018). Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2548-2569.
- [5] **Nsengiyumva, W., Chen, S. G., Hu, L., & Chen, X.** (2018). Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 250-279.
- [6] **Garg, A.** (2015). Solar Tracking: An efficient method of improving solar plant efficiency. *International Journal of Electrical and Electronics Engineers*, 7(1), 199-203.
- [7] **OTIENO, O. R.** (2015). *Solar Tracker for Solar Panel* (Doktora tezi). Nairobi Üniversitesi, Kenya.
- [8] **Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., Sharifi, A.** (2009). A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(8), 1800-1818.
- [9] **Zogbi, R., & Laplaze, D.** (1984). Design and construction of a sun tracker, *Solar energy*, 33(3), 368-372.
- [10] **Thabet, H. T. H.** (2014). Design and Implementation of a Two Axis Solar Tracking System Using PLC Techniques for Measuring Solar Radiation by an Inexpensive Method, *Buhuth Mustaqbaliya Scientific Periodical Journal*, 1(1), 11-28.
- [11] **Deb, G., & Roy, A. B.** (2012). Use of solar tracking system for extracting solar energy. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 4(1), 42.
- [12] **Kamala, J., & Joseph, A.** (2014). Solar tracking for maximum and economic energy harvesting, *International Journal of Engineering & Technology*, 5, 5030-5037.

- [13] **Chabuk Ajinkya SA, Mahadev Narale, Pritam Gonjari, Magdum Mr PS.** (2017). Dual Axis Solar Tracker Using Microcontroller, *International Research Journal of Engineering & Technology*, 4, 796-800.
- [14] **Robles Algarín, C., Ospino Castro, A., & Casas Naranjo, J.** (2017). Dual-axis solar tracker for using in photovoltaic systems, *International Journal of Renewable Energy Research* 7(1), 137-145.
- [15] **Samantha, A., Varma, R., & Bhatt, S.** (2013). Chronological single axis solar tracker, *Int J Eng Trends and Technol (IJETT)*, 21.
- [16] **Lakeou, S., Ososanya, E., Latigo, B. O., Mahmoud, W., Karanja, G., & Oshumare, W.** (2006). Design of a low-cost solar tracking photo-voltaic (PV) module and wind turbine combination system, *21st European Photovoltaic Solar Energy Conference* (ss. 4-8). Almanya, Eylül 4-8.
- [17] **Akbar, H. S., Siddiq, A. I., & Aziz, M. W.** (2017). Microcontroller based dual axis sun tracking system for maximum solar energy generation, *American Journal of Energy Research*, 5(1), 23-27.
- [18] **Alexandru, C.** (2013). A novel open-loop tracking strategy for photovoltaic systems, *The Scientific World Journal*.
- [19] **Gouvêa Melo, A., Oliveira Filho, D., de Oliveira Júnior, M. M., Zolnier, S., & Ribeiro, A.** (2017). Development of a closed and open loop solar tracker technology, *Acta Scientiarum. Technology*, 39(2).
- [20] **Sabry, M. S., Hall, K. H., & Raichle, B. W.** (2013). *Determining the accuracy of solar trackers* (Doktora tezi). Appalachian State University, ABD.
- [21] **Elmaged, A., & Kamal, H.** (2015). *Passive Solar Tracking System* (Doktora Tezi). UOFK, Khartoum, Sudan.
- [22] **Clifford, M. J., & Eastwood, D.** (2004). Design of a novel passive solar tracker, *Solar Energy*, 77(3), 269-280.
- [23] **Parmar, N. J., Parmar, A. N., & Gautam, V. S.** (2015). Passive solar tracking system, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(1), 138-145.
- [24] **Panait, M. A., & Tudorache, T.** (2008, March). A simple neural network solar tracker for optimizing conversion efficiency in off-grid solar generators, In *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, ss. 256-260.
- [25] **Bou-Rabee, M., Sulaiman, S. A., Saleh, M. S., & Marafi, S.** (2017). Using artificial neural networks to estimate solar radiation in Kuwait, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 434-438.

- [26] **Kayri, I., & Gencoglu, M. T.** (2017). Prediction of power production from a single axis photovoltaic system by Artificial Neural Networks, In *2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (IEEE)*, ss. 212-215, Haziran.
- [27] **Armendariz, J., Ortega-Estrada, C., Mar-Luna, F., & Cesaretti, E.** (2013). Dual-Axis Solar Tracking Controller Based on Fuzzy-Rules Emulated Networks and Astronomical Yearbook Records, *Proceedings of the World Congress on Engineering* (Vol. 1).
- [28] **Carballo, J. A., Bonilla, J., Berenguel, M., Fernández-Reche, J., García, G.** (2019). New approach for solar tracking systems based on computer vision, low cost hardware and deep learning, *Renewable energy*, *133*, 1158-1166.
- [29] **Abdollahpour, M., Golzarian, M. R., Rohani, A., & Zarchi, H. A.** (2018). Development of a machine vision dual-axis solar tracking system, *Solar Energy*, *169*, 136-143.
- [30] **Alata, M., Al-Nimr, M. A., & Qaroush, Y.** (2005). Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control, *Energy Conversion and Management*, *46*(7-8), 1229-1245.
- [31] **Diego F. Sendoya-Losada** (2017). Design and implementation of a photovoltaic solar tracking using fuzzy control for Surcolombiana University, *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *12*(7), 2272-2276.
- [32] **Zaher, A., N'goran, Y., Thiery, F., Grieu, S., & Traoré, A.** (2017). Fuzzy rule-based model for optimum orientation of solar panels using satellite image processing, *Journal of Physics: Conference Series*, *783*(1), 012058
- [33] **Duffie, J. A., Beckman, W.A.** (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison
- [34] **Usta, M. A., Akyazi, Ö., & Altaş, İ. H.** (2011). Design and performance of solar tracking system with fuzzy logic controller used different membership functions. *7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)* (II-381). Aralık.
- [35] **Khosrojerdi, F., Taheri, S., & Cretu, A. M.** (2016). An adaptive neuro-fuzzy inference system-based MPPT controller for photovoltaic arrays, *2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)* (ss. 1-6). Ekim
- [36] **Tudorache, T., & Kreindler, L.** (2010). Design of a solar tracker system for PV power plants, *Acta Polytechnica Hungarica*, *7*(1), 23-39.
- [37] **Iqdour, R., & Zeroual, A.** (2007). Prediction of daily global solar radiation using fuzzy systems, *International Journal of Sustainable Energy*, *26*(1), 19-29.
- [38] **Birol F.** (2006). World energy prospects and challenges, *CESifo Forum*, Vol. 07, Iss. 2, ss. 3-7.

- [39] **Smith, C. L.** (2012). The energy challenge, *Applied Petrochemical Research*, 2(1-2), 3-6.
- [40] **Jazayeri, K., Uysal, S., & Jazayeri, M.** (2013). MATLAB/simulink based simulation of solar incidence angle and the sun's position in the sky with respect to observation points on the Earth, *2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)* (ss. 173-177). Ekim.
- [41] **Nelson, J.** (2003). *The physics of solar cells*, World Scientific Publishing Company.
- [42] **Marlein, J., & Burgelman, M.** (2007). Empirical JV modelling of CIGS solar cells, *Proceedings of NUMOS (Int. Workshop on Numerical Modelling of Thin Film Solar Cells)* (ss. 227-233). Gent, Belçika, Mart 28-30.
- [43] **Almonacid, F., Fernandez, E. F., Mellit, A., & Kalogirou, S.** (2017). Review of techniques based on artificial neural networks for the electrical characterization of concentrator photovoltaic technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 938-953.
- [44] **Güneş Enerjisi ve Teknolojileri**, *Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü*, Erişim: 15 Mayıs 2019, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx
- [45] **Makhloufi, M. T., Khireddine, M. S., Abdessemed, Y., & Boutarfa, A.** (2014). Tracking power photovoltaic system using artificial neural network control strategy, *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 6(12), 17.
- [46] **Goswami, D. Y., Kreith, F., & Kreider, J. F.** (2015). *Principles of solar engineering*, Boca Raton, FL, CRC Press.
- [47] **Kreith, F., & Kreider, J. F.** (1978). *Principles of solar engineering*, Washington, DC, Hemisphere Publishing Corp.
- [48] **Zerubavel, E.** (1982). The standardization of time: a sociohistorical perspective, *American journal of sociology*, 88(1), 1-23.
- [49] **Kalogirou, S., & Sencan, A.** (2010). Artificial intelligence techniques in solar energy applications, *Solar Collectors and Panels, Theory and Applications*, 15, 315-340.
- [50] **Hafez, A. Z., Soliman, A., El-Metwally, K. A., & Ismail, I. M.** (2017). Tilt and azimuth angles in solar energy applications—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 147-168.
- [51] **Markvart, T., & Bogus, K. (Eds.)**. (2000). *Solar electricity* (Vol. 6), John Wiley & Sons.
- [52] **Lee, C. C.** (1990). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller, II. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 20(2), 419-435.

[53] **Sepehri, N., Corbet, T., & Lawrence, P. D.** (1995). Fuzzy position control of hydraulic robots with valve deadbands, *Mechatronics*, 5(6), 623-643.

[54] **Eva Volna** (2013). *Introduction to soft computing*, eva Volna & bookboon.com.

[55] **Siddique, N.** (2013). *Intelligent control: a hybrid approach based on fuzzy logic, neural networks and genetic algorithms* (Vol. 517), Springer.

[56] **Akkizidis, I. S., Roberts, G. N., Ridao, P., & Battle, J.** (2003). Designing a Fuzzy-like PD controller for an underwater robot, *Control Engineering Practice*, 11(4), 471-480.

[57] **Benzekri, A., & Azrar, A.** (2014). FPGA-based design process of a fuzzy logic controller for a dual-axis sun tracking system, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(8), 6109-6123.

[58] **CENGİZ, M. S., & Mamiş, M. S.** (2016). Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1).

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Anıl KARADENİZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.01.1994
E-posta : eemanilkaradeniz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Üretim Sorumlusu – Ekin Pano Elektrik-Elektronik San. Tic. Ltd. Şti (2016-...)