



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK KONTROLLÜ İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ

Adnan Mohammed Anwer SHAKARJI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2020

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BULANIK MANTIK KONTROLLÜ İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ

Adnan Mohammed Anwer SHAKARJI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği

Danışman: Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2020, 59 Sayfa

Jüri
Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Prof.Dr.Hayri ARABACI
Doç.Dr.Bahadr AKBAL

Son günlerde, güneş enerji sistemleri sıkça kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerji sistemlerinin verimliliğini birden fazla faktör etkilemektedir. Bu faktörlerden en önemlisi güneş panellerinin doğru bir açıda güneşi izlemesidir. Bu tez çalışmasında, bulanık mantık kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi Raspery-pi mikrodenetleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistem değişen şartlara göre tam otomatik olarak çalışmakta ve uyum sağlamaktadır. Işık sensöründen ışınım ve güneş panelinden akım bilgileri alınarak bulanık mantık kuralları ile işlenmektedir. Buna göre mikrodenetleyici panele bağlı olan motorları doğru bir şekilde konumlandırmaktadır. Sistem meteorolojik değişimleri ve bir arızadan kaynaklanan dış ortamı dikkate alabilmektedir. Bu yaklaşım, gereksiz enerji kaybını azaltmaktadır. Geleneksel sensör güneş takip sistemlerine kıyasla bu sistemle açıyı kontrol etmek daha kolay olduğu için daha hassas ve dış ortam değişikliklerinden kaynaklanan hata daha az olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Fotovoltaik, Güneş takip sistemleri, İki eksenli İzleyici, Mikrodenetleyici.

ABSTRACT

MS THESIS

DUAL-AXİS SOLAR TRACKİNG SYSTEM WİTH FUZZY LOGİC CONTROL

Adnan Mohammed Anwer SHAKARJI

The Graduate School Of Natural And Applıed Science Of Selçuk University
The Degree Of Master Of Scıence
In Electrical & Electronics Engineerng

Advisor: Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2020, 59 Pages

Jury
Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Prof.Dr.Hayri ARABACI
Asst.Dr.Bahadr AKBAL

Recently, solar energy systems are a frequently used renewable energy source. More than one factor affects the efficiency of solar energy systems. The most important of these factors is that the solar panels follow the sun at the right angle. In this thesis, fuzzy logic controlled biaxial tracking system is realized by using Raspery-pi microcontroller. This system works fully automatically and adapts to changing conditions. Radiation from the light sensor and current information from the solar panel are taken and processed with fuzzy logic rules. Accordingly, the microcontroller correctly positions the motors connected to the panel. The system can take into account meteorological changes and the external environment caused by a fault. This approach reduces unnecessary energy loss. Because it is easier to control the angle with this system compared to traditional sensor solar tracking systems, it is more sensitive and less error caused by outdoor changes.

Keywords: Fuzzy Logic, Photovoltaic, Solar Tracking Systems, Biaxial Tracer, Microcontroller.

ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında akademik bilgi ve tecrübelerinden fazlasıyla istifade ettiğim, benden hiçbir zaman ilgi ve alakasını esirgemeyen, benim için bir danışmandan daha fazlası olan saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın başından sonuna kadar benden maddi manevi desteklerini esirgemen üzerimdeki haklarını asla ödeyemeyeceğim pek kıymettar anne babama teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreçte göstermiş olduğu sabır, fedakârlık ve hoşgörü ile beni her daim motive eden sevgili eşime teşekkür ederim.

Adnan Mohammed Anwer SHAKARJI
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ÇİZELGELER LİSTESİ ..... **ix**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **x**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **8**

3.1. Bulanık Mantık 8

3.1.1. Bulanıklaştırma işlemi 11

3.1.2. Bulanık kurallar 14

3.1.3. Durulaştırma İşlemi 16

3.2. Raspberry Pi Elektronik Kartı 18

3.3. Işık Sensörü 21

3.4. Servo Motor 22

3.4.1. Servo Motor Çeşitleri 23

4. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ **25**

4.1. Yatay eksen güneş takip sistemi 27

4.2. Dikey eksen güneş takip sistemi 28

4.3. İki eksenli güneş takip sistemi 28

4.4. Yerçekimi güneş takip sistemleri 29

4.5. En Uygun Eğim 30

4.6. Açık döngü güneş takip sistemi 31

4.7. Kapalı döngü güneş takip sistemi 33

5. BULANIK MANTIK TABANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI **34**

5. 1 Sistemin Yapısı 34

5.2. Sistemin Giriş ve Çıkış Değerlerinin Dilsel İfade ile Temsili 36

5.3. Sistemin Kural Tabanı 39

5.4. Sistemde Kullanılan Durulaştırma Yöntemi 40

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 41

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 48

7.1. Sonuçlar 48
7.2. Öneriler 49

EK-1 50

8. KAYNAKLAR 54

9. ÖZGEÇMİŞ 59

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Raspberry Pi kartlarının teknik özelikleri 19
Çizelge 5.1. Raspberry Pi 3 B+ özelikleri 35
Çizelge 5.2. Giriş ve çıkış için minimum ve maksimum aralık değerleri 36
Çizelge 5.3. Giriş ve çıkış değişkenlerin dilsel ifadeleri ve aralıkları 36
Çizelge 5.4. Işık şiddetinin bulanık mantık ifadesinin belirlenmesi..... 37
Çizelge 5.5. Panel akımının bulanık mantık ifadesinin belirlenmesi 37
Çizelge 5.6. Motor açısının bulanık mantık ifadesinin belirlenmesi 37
Çizelge 5.7. Sistemin kural tablosu 39
Çizelge 6.1. Bulanık mantık tabanlı ve sabit sistemlerinden elde edilen Volt ve Akım değerleri 44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Bulanık mantık kontrol sisteminin yapısı 9
Şekil 3.2. Üçgen üyelik fonksiyonu 12
Şekil 3.3. Trapez üyelik fonksiyonu 13
Şekil 3.4. Örnek bir arabanın hız tanımının bulanık üye fonksiyonu (Pehlivan, 2001) . 14
Şekil 3.5. En büyük üyelik yöntemi 16
Şekil 3.6. Ağırlık merkezi ile durulaştırma yöntemi 17
Şekil 3.7. Ağırlıklı ortalama yöntemi 17
Şekil 3.8. Ortalama en büyük üyelik yöntemi 18
Şekil 3.9. Raspberry Pi 3 B+ kartı 20
Şekil 3.10. LDR ışık sensörü 21
Şekil 3.11. Servo motor(http://www.motioncontrolguide.com/learn/tech-tips/gearboxes-and-gears/subcategory, 30.12.2019) 22
Şekil 3.12. Servo Motorların Sinyal-Açısal Hareket Durumu (Avcu, 2018) 23
Şekil 4.1. Yatay eksenli güneş takip sistemi 27
Şekil 4.2. Dikey eksenli güneş takip sistemi 28
Şekil 4.3. İki eksenli güneş takip sistemi 29
Şekil 4.4. Yerçekimi güneş takip sistemi 30
Şekil 4.5. Açık döngü güneş takip sisteminin çalışma mantığı 31
Şekil 4.6. Kapalı döngü güneş takip sistemi (Başcoşkun, 2018) 33
Şekil 5.1. Sisteminin blok diyagramı 34
Şekil 5.2. Bulanık tabanlı güneş takip sisteminin genel yapısı 35
Şekil 5.3. Işık şiddetinin üyelik fonksiyonu 38
Şekil 5.4. Panel akımının üyelik fonksiyonu 38
Şekil 5.5. Motor açısının üyelik fonksiyonu 38
Şekil 6.1. Panel Akımının üyelik fonksiyonu 41

SİMGELER VE KISALTMALAR

℃	: Derece
AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternatif Akım
ADC	:Analog dijital çevirici
AR-GE	: Araştırma Geliştirme
CV	: Sabit Voltaj
DAC	:Dijital analog çevirici
DC	: Doğru Akım
HDMI	: Yüksek Çözünürlüklü Çokluortam Arayüzü
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
GaAs	: Gallium Arsenide
GW	: Giga Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
LDR	: Işığa Bağlı Direnç (Light Dependent Resistor)
MATLAB	: Çok Paradigmalı Sayısal Hesaplama Yazılımı
MWh	: Mega Watt Saat
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme (Maximum Power Point Tracking)
ms	: Mili Saniye
MW	: Mega Watt
PID	: Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici (Proportional Integral Derivative)
P&O	: Değiştir Gözlem
PW	: Peta Watt
PWM	: Sinyal Genişlik Modülasyonu
PV	: Fotovoltaik (Photovoltaic)
RPi	: Raspberry Pi Elektronik Geliştirme Kartı
RPIGTS	: Raspberry Pi Tabanlı Güneş Takip Sistemi

SD Card : Bellek Kartı

Si : Silicon

TWh : Tera Watt Saat

USB : Evrensel Seri Veriyolu Portu

W : Watt

YSA : Yapay Sinir Ağı

μ_A : Üyelik fonksiyonu

1. GİRİŞ

Bugün ülkelerinin birçoğu enerji kaynaklarını fosil yakıtlardan elde etmektedir. Fosil yakıtlarından elde edilen enerji fiyatları pahalı olduğundan dolayı ülkelerin ciddi bir şekilde ekonomisini etkilemektedir. Bu dezavantajın yanında fosil kaynakları enerji üretim aşamasında çevreye kirlilik açısından çevreyi etkilemektedir, en büyük sıkıntı ise yarın fosil kaynaklarının bitme ihtimali büyü bir risk yaşatmaktadır. Bu tür dezavantajları yok etme amacıyla rüzgar ve güneş enerjileri ortaya çıkmıştır. Bu enerji kaynaklarının en büyük avantajları, bu enerji kaynaklarının tükenmemesidir. Bir çok kaynakta, güneş ve rüzgar sistemlerinden elde edilen enerji sistemleri yenilebilir enerji sistemleri olarak adlandırılır.

Geçtiğimiz yıllarda, enerji bilimcilerinin "yenilenebilir enerji" ve özellikle güneş enerjisine odaklanmış olmasından dolayı güneş enerjisi faydalı, ekonomik ve güvenli sonsuz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir (Si ve ark., 2016). Güneş enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır, diğer fosil kaynaklı enerji kaynaklarına bağımlılığı daha da azaltmak için büyük bir potansiyele sahiptir (Su ve ark., 2017).

Binalarda güneş enerjisinden faydalanmak ve güneş ışığını faydalı olacak şekilde ısı ve elektrik enerjisine dönüştürmek için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Mimari tasarımlarda güneş enerjisinin faydalı şekilde kullanılması birçok mimarın çalışmalarının merkezinde olmuştur (Vadiee ve Martin, 2014a).

Gelecekte elektrikli araçların sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Elektrikli araçlar hem yenilenebilir enerji sistemleri için talep kaynağı hem de depolama seçeneği olarak görev yapma potansiyeline sahiptir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin ve elektrikli araçların tüketiciler tarafından benimsenmesi ve kullanılması gelecekteki elektrik şebekesinin sınırlarını da belirleyecektir. Fosil yakıtların giderek tükenmesinin yanı sıra küresel ısınmaya etkisi ve 1986'da Çernobil nükleer felaketi ile Fukushima nükleer felaketinin oluşturduğu büyük tehlike, araştırmacıları güvenli ve daha uygun maliyetli alternatif yollar aramaya sürüklemiştir. Bununla beraber güneş enerjisinin temiz ve sonsuz potansiyele sahip oluşu, onu daha da cazip bir enerji kaynağı haline getirmiştir (Mohanraj ve Bharathnarayanan, 2017; Su ve ark., 2017).

Ülkelerin enerji politikalarında, süreklilik, kaynakların çeşitlendirilmesi, çevre etkilerinin azaltılması, milli güvenlik, zamanında ve ucuz şartlarda enerji temini başlıca ilkelerdir. Hızlı bir şekilde gelişen Türkiye perspektifinden bakıldığında ise enerji ve bu

enerjiyi sağlayacak kaynakların organizasyonu çok önemlidir. Türkiye'de elektriğin pahalı olmasının en temel nedeni elektrik üretiminde ithal enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Bu yüzden elektrik arzının yerli sermaye ile yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması sık sık gündemi meşgul etmektedir. Mesela Türkiye kuruluşunun 100. yılı olan 2023 yılına kadar 20.000 MW gücünde lisanslı RES projesinin onaylanıp kurulması planlanmaktadır. Bunun yanıda, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye'nin bu bağlamdaki potansiyelinin 48.000 MW' olduğu tahmin edilmektedir. Bu da kat edilmesi gereken daha çok yolun olduğunu göstermektedir. Ekonomik büyüme açısından bakıldığında, dünyanın en hızlı büyüme kaydeden enerji piyasalarından birisine sahip olan Türkiye, rekabetçi bir yapıya kavuşmak zorunda olduğunu bilerek bu yolda ilerleme kaydetmektedir. Bu sebeple dünyada ve özellikle de Avrupa enerji stratejisi içerisinde Türkiye'nin önemi giderek artmaktadır (Uzunok, 2007).

Güneş enerji sistemleri sürekli geliştirilmekte ve ekonomik açıdan daha uygun hale gelmektedir (Bravo ve Friedrich, 2018). Fosil yakıtlara alternatif olması açısından yenilenebilir enerji kaynakları, sera gazı emisyonlarının çevre kirliliği üzerindeki etkilerini azaltmada kritik bir role sahiptir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından öngörüldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim hacmi 2022'de toplam dünya elektrik üretiminin %30'unu kapsayacak ve 8000 TWh'nin üzerine çıkacaktır. Yenilenebilir enerji kaynağı olan fotovoltaik (Bouchafaa ve ark.) güneş enerjisi, en hızlı gelişen ve yaygınlaşan enerji türüdür. Bu gelişmede büyük oranda maliyet düşümleri ve devlet destekli politikalar önemli fayda sağladı. Yapılan tahminlere göre 2022'de küresel ölçekte toplam solar PV enerji üretim kapasitesi 740–880 GW'a ulaşmış olacak (Tripanagnostopoulos, 2014; Gao ve ark., 2019).

Günümüzde, en önemli küresel sorunlardan biri, doğal kaynakların korunması için her türlü enerji tasarrufunun sağlanmasıdır (Hidalgo ve ark., 2017). Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı, 7 Aralık-18 Aralık 2009 tarihleri arasında Kopenhag'da düzenlenmiştir. 2016'da ise New York'ta Birleşmiş Milletler Genel Merkezi'nde 170'ten fazla devlet lideri bir araya gelerek Paris Anlaşmasını imzalamışlardır. Bu anlaşmaya göre katılımcı ülkeler tarafından, 2°C'den daha az bir küresel ısınmaya neden olabilecek sıcaklık artışı aralığının kontrol edilmesi sözü verilmiştir.

Uzun süre karbondioksit salınımını büyük ölçüde azaltma hedefine ulaşmak için, enerji yapısında yapılacak reformlar büyük önem arz etmektedir. Bu, hidroelektrik,

rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve diğer birçok yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma planını içermektedir (Zhang ve ark., 2018). Bilim adamları, dikkatlerini rüzgar, dalga, ısı ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelttiler. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi daha popüler hale geldi. Bununla birlikte, güneş enerjisi birçok dezavantaja da sahiptir. Bunları özetlersek (Ghassoul, 2018; Mendecka ve Lombardi, 2018);

- Verimliliği oldukça düşüktür (%20 seviyelerinde).
- Maliyeti hala oldukça yüksektir.
- Panellerin çoğu sabit olduğundan, günlük net üretimleri birkaç saat ile sınırlıdır.

Güneş takip sistemleri için yüksek güvenilirlikle, verimli ve düşük karmaşıklığa sahip mikrodenetleyicili tasarımlar konusunda sektördeki artan ihtiyaçlar üzerine sürekli çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında bulanık mantık tabanlı iki eksene sahip güneş takip sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile sabit eksenli güneş sistemleri karşılaştırılmıştır. Güneş panellerinin güneşi doğru açıda izlemesi, panellerin daha fazla bir şekilde enerji elde eder. Tasarlanan güneş enerjisi takip sisteminde, panellerin güneşi takip etmeleri bir mikrodenetleyici tarafından sağlanmıştır. Mikrodenetleyici panellerin hücre akımı ve ışık sensörüne gelen değerlere göre bulanık mantık kuralları yardımıyla motorları konumlandırmaktadır. Dolayısıyla ani olarak o anki duruma göre gerçek zamanlı ve güneşin durumuna göre motorlar panelleri hareket ettirmektedir. Bulanık mantık kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi Raspery-pi işlemci kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistem değişen şartlara göre tam otomatik olarak çalışmakta ve uyum sağlamaktadır. Böylece meteorolojik değişimleri ve bir arızadan kaynaklanan dış ortamı dikkate almaktadır. Kontrolör kötü hava koşullarında veya güneş ışınımın düşük olduğu koşullarda motorun çalışma sayısını azaltabilir ve böylece gereksiz enerji kaybını önler. Bu yaklaşım, gereksiz enerji kaybını azaltmaktadır. Geleneksel sensör güneş takip sistemlerine kıyasla bu sistemde, açıyı kontrol etmek daha kolay olduğu için daha hassas ve dış ortam değişikliklerinden kaynaklanan hata daha az olmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Uzunok (2007), yapmış olduğu tez çalışmasında fotovoltaik paneller ile elektrik enerjisi üretimi hususunu güneş takip sistemi üzerinde incelemiştir. İskenderun bölgesinde güneş takip sistemi ile ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Ölçümlerde sıcaklık, günesin radyasyon şiddeti, nem miktarları, akım ve voltaj değerleri değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda ölçümlerden elde edilen veriler %17.07 oranında verim artışı tespit edilmiştir (Uzunok, 2007).

Mastar (2011), tez çalışmasında güneş takip sistemlerinin teknolojiler, takip sistemlerinin sınıfları, pazardaki yaşam döngüsü ve ekonomik getirileri anlatılmış ve bunlara ek olarak güneş panelleri için güneş takip mekanizması tasarlamıştır. Fotovoltaik güneş takip sisteminin tasarımını yaptıktan sonra tasarlanan sistemin sabit fotovoltaik sistemi ile yatırım maliyetleri ve enerji üretimi açısından karşılaştırılmıştır ve aynı zamanda yatırımın geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Tasarlanan güneş takip mekanizması sabit fotovoltaik sistemine göre daha verimli üretim ve yatırım maliyetleri elde etmiştir (Mastar, 2011).

Orhun (2013), tez çalışmasında etkin bir güneş takip sistemi kullanarak güneş panellerinin yıllık performanslarını ve ürettikleri güçleri karşılaştırmıştır. Mart 2012 – Şubat 2013 arasındaki dönemi kapsayan çalışmasında, sabit ve hareketli iki farklı güneş panellinin güneş takip performansını incelenmiştir. Yapılan çalışma, güneş panellerinin farklı yöntemlerle güneşi takip etme performanslarının izlenmesini içeren kapsamlı bir çalışmadır. İnceleme sabit ve hareketli güneş enerjisinin güneş panellerinden ölçülen gerilim, akım ve sıcaklık gibi parametreler üzerinde yapılmıştır. Verilerinin analizinde hareketli güneş sistemi sabit güneş sisteminden daha verimli değerler elde etmiştir (Orhun, 2013).

Uslu (2012), tez çalışmasında mikrodenetleyici tabanlı iki eksenli otomatik güneş takip sistemi tasarlamıştır. Sistem, maksimum güç noktası takibi algoritmalarını kullanarak gerçekleştirilmiştir. Güneş takip sistemini kapalı çevrim bir geri besleme ile oluşturmuştur ve ortaya daha verimli bir şekilde güneş takibi yapan bir sistem kurmuştur. Tasarlanan güneş takip sistemi literatürde sıkça kullanılan üç farklı maksimum güç noktası takibi algoritmasının çalışma prensipleri ile karşılaştırmalı performans analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda, maksimum güç noktası takibi algoritması ile tasarlanan güneş takip sistemi diğer sistemlerden daha iyi performans sergilediği gözlenmiştir (Uslu, 2012).

Nuhoğlu (2017), yapmış olduğu tez çalışmasında tek eksen güneş takipli fotovoltaik sistem tasarlamıştır. Tasarlanan tek eksen güneş takip sistemi 255 W gücünde fotovoltaik (PV) panel sistemi kullanarak aynı şartlar altında sabit bir sistem ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçları tasarlanan akılı güneş takip sistemi sabit güneş sisteminden daha verimli olarak enerji üretmiştir (Nuhoğlu, 2017).

Menak (2018), tez çalışmasında, iki eksenli bir güneş takip sistemi ile sabit bir güneş sistemi tasarlamıştır. Tasarladığı güneş takip sistemi hem iki eksende hem de tek eksende güneş takibi yapabilmektedir. Sisteminin simülasyonu MATLAB ortamında modellenmiştir. Deneysel olarak tasarlanan iki eksenli hareketli ve sabit güneş sisteminden iki farklı günde alınan değerler karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda iki eksenli hareketli güneş sistemi birinci ve ikinci günde sırasıyla % 37,234 ve % 35,756 değerleri ile sabit güneş sisteminden daha verimli olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak iki eksenli hareketli güneş sistemi sabit sisteme göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir (Menak, 2018).

Avcu (2018), yapmış olduğu tez çalışmasında Raspberry Pi 3 ile bir güneş takip sistemi (RPIGTS) tasarlamıştır. Tasarlanan güneş takip sisteminde LDR, Servo motor ve bunları denetleyen Raspberry Pi 3 kullanmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre RPIGTS ile en yüksek verim elde edilmiştir. Ayrıca RPIGTS sistemi uzaktan kontrol ile bakım müdahaleleri kolaylığı sağlamaktadır (Avcu, 2018).

Başcoşkun (2018), yapmış olduğu tez çalışmasında internet tabanlı ve uzaktan kontrollü açık ve kapalı güneş takip sistemi geliştirmiştir. İlk olarak internet tabanlı güneş sistemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir daha sonra tasarlanan internet tabanlı güneş sistemi performans açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada literatür taraması ile mevcut takip sistemleri sonuçları analiz edilmiştir. İnternet tabanlı güneş takip sisteminde akım ve gerilim parametreleri uzaktan kontrol edilen merkezi birime aktarılmıştır. Bunun yanı sıra, internet üzerinden bu parametrelere ulaşmak da mümkün olmaktadır (Başcoşkun, 2018).

Yılmaz (2013), yapmış olduğu tez çalışmasında, güneş enerjisi, güneşten elektrik enerjisi elde etme yöntemleri, güneş açıları, fotovoltaik paneller ve güneş takip sistemleri detaylı olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamıştır, tasarlanan iki eksenli güneş takip sistemi sabit güneş sistemi ile verimlilik açısından karşılaştırılmıştır. Bir yıllık verileri analiz edildiğinde iki eksenli güneş takip sistemi sabit güneş sistemine göre %31.67 daha verimli olduğu tespit edilmiştir (Yılmaz, 2013).

Zainal ve ark., (https://teknolojiprojeleri.com/elektronik/servo-motor-nedir-nasil-calisir-ozellikleri-nelerdir), PV panellerin verimini en üst düzeye çıkarmak için deneysel çalışmaya dayanan bir yöntem sunmuştur. Yazarlar PV soğutma sistemi ve bulanık mantık, tabanlı sabit voltaj (CV) ve maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritmasının bir kombinasyonunu kullanmıştır. PV soğutma sistemi, PV panel sıcaklığını optimum sıcaklığa düşürürken, MPPT algoritması, PV panelinin maksimum gücünü takip eder. Deneysel sonuçlar, iki yöntemin bir PV sistemindeki kombinasyonunun fotovoltaik performansların iyileşmesine yol açtığını göstermiştir. (Zainal ve ark., 2019).

Ali (2016), daha fazla DC çıkış voltajı aralığı, yüksek güvenilirlik sağlamak ve çıkış ve dalgalanma akımlarını azaltmak amacıyla DC-DC dönüştürücüler için Z kaynaklı dönüştürücüler önermiştir. PV uygulamalarında, bu dönüştürücüler geleneksel DC-DC dönüştürücülere kıyasla daha iyi sonuçlar sağlar. MPPT, dönüştürücünün görev döngüsünü kontrol etmek için kullanılır. Değişken değerli güneş ışınımı ve sıcaklık koşulları altında PV dizisinin maksimum güç noktasını izlemek için bu çalışmada bulanık mantık kontrolü tabanlı bir MPPT geliştirilmiştir (Ali, 2016).

Bouchafaa ve ark. (2011), farklı kontrol stratejileri kullanarak bulanık mantık sayısal denetimli bir çalışma sunmuştur. Bulanık denetleyicinin bir çözüm olarak tanıtılması çok iyi bir performans vermiştir. Sıcaklık ve ışınım değişikliğindeki en etkili ve en doğru değişimleri belirlemek için farklı MPPT kontrol yöntemleri arasındaki karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır (Bouchafaa ve ark., 2011).

Sivaneasan ve ark. (2017), güneş enerjisi tahmin doğruluğunu daha da artırmak için Yapay Sinir Ağı (YSA) ile bulanık mantık ön işlemden oluşan karma bir yöntem geliştirmiştir. Geri yayılım modeliyle ileri doğru üç katmanlı besleme önerilmiştir. Güneş tahminlerinin doğruluğunu artırmak için çeşitli hava verilerinin ilişki fonksiyonlarını ayarlamak için bulanık mantık ön işleme aşaması dahil edilmiştir. Tahmin doğruluğunu daha da iyileştirmek için önceki 5 dakikalık tahmin çıkışını bir hata düzeltme faktörü olarak giriş katmanına dahil etmiştir (Sivaneasan ve ark., 2017).

El Khateb ve ark (2013), bağımsız PV sistemi için bulanık tabanlı bir MPPT tekniği sunmuşlardır. Önerilen MPPT, P&O yönteminin avantajlarından yararlanmakta ve dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Önerilen yöntem her zaman PV dizilerinden maksimum güç aktarır ve PV modül sayısını optimize eder. Önerilen şema, DSP TMS320F28335 kartı kullanılarak gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir (El Khateb ve ark., 2013).

Huang ve diğ. (2016), bulanık mantık kullanarak iki eksenli güneş enerji sistemi geliştirmişlerdir. Maksimum verimlilik elde etmek için güneşin gökyüzündeki yolunu izlemenin gerekli olduğunu öne sürüyorlar. Yazarlar güneşi izlemek için zamanlamaya karar vermek için sistemin yazılım mimarisi olarak bulanık bir mantık denetleyicisi tasarladılar. Bu çalışma LabVIEW ve MATLAB R2012a, kullanarak sistem yazılımı tasarımını önermiştir (Huang ve ark., 2016).

Zakariah ve diğ. (2015), bulanık mantık akıllı yöntemiyle ışık yoğunluğunun karşılaştırılmasına dayanan çift eksenli bir güneş izleme sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde denetleyici olarak Arduino UNO kullanılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi, güneş panelinin dönmesi gereken konumla ilgili en iyi çıkarımı yapmasına yardımcı olmuştur (Zakariah ve ark., 2015).

Kiyak ve Gol (2016), Atmel mikrokontrolcüsü kullanarak tek eksenli bir güneş takip sistemi için PID ve bulanık mantık kontrol sistemi tasarlamışlardır. Bu çalışmanın amacı güneş panellerinden elde edilen enerjiyi arttırmaktır (Kiyak ve Gol, 2016).

Vadiee ve Martin (2014) ise binalarda güneş enerjisinden faydalanmak ve güneş ışığını faydalı olacak şekilde ısı ve elektrik enerjisine dönüştürmek için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir (Vadiee ve Martin, 2014b).

Güneş enerjisi sistemleri günümüzde giderek daha popüler hale geliyor. Bununla birlikte, güneş enerjisi sistemlerinin maliyeti, geleneksel enerji sistemlerinin maliyetine kıyasla çok daha yüksektir ve bu tür sistemlerin verimliliği diğer enerji sistemlerinden daha düşüktür. Güneş enerjisi sistemlerinin güneşi takip edebilmesi sayesinde sahadaki verimi artırmak mümkündür. Hareketli güneş sistemlerinin yaygın olarak kullanılması, güneş takip sistemlerinin izlenmesini ve otomasyonunu daha rahat ve takip etmesi hale getirmektedir. Yukarıda görüleceği üzere literatürde birçok güneş takip sistemi bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında öncelikle bulanık mantık kullanarak iki eksenli güneş takip sistemi tasarlanacak ve performansı değerlendirilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

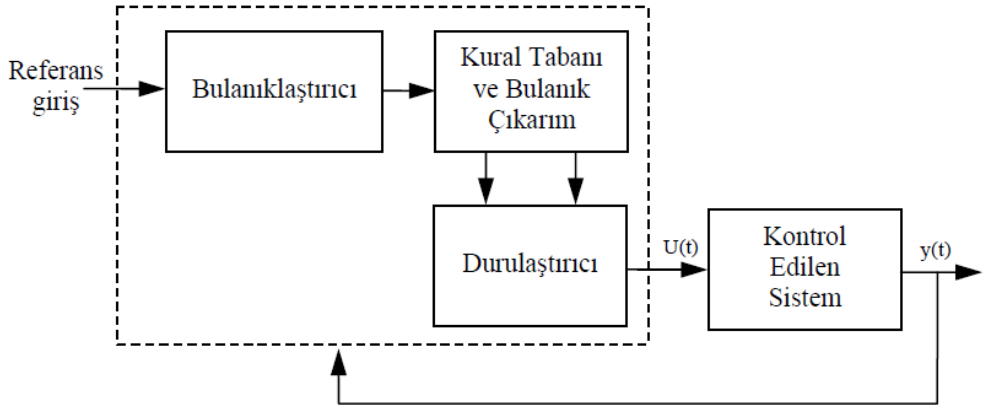
3.1. Bulanık Mantık

Mühendislik sistemlerinde işlenen bilginin genel olarak iki temel bilgi kaynağı vardır. Bunlar; değişkenleri nümerik veriler olarak üreten "sensörler" ve sistem hakkında dilsel bilgiler veren "uzmanlar" dır. Sensörlerden gelen veriler "nümerik bilgiler", uzman kişilerden gelen veriler ise "dilsel" veriler şeklindedir. Bu bağlamda nümerik veriler sayılarla temsil edilmekte ve dilsel bilgiler örneğin sıcaklığı ifade etmek için; sıcak, soğuk, ılık vb. şeklinde sözcüklerle ifade edilmektedir. Geleneksel mühendislik uygulamalarında nümerik bilgiler kullanılmaktadır. Bu noktada "bulanık mantık" olarak tanımlanan yeni mühendislik yaklaşımı kendini göstermektedir. Bulanık mantık yukarıda örneği verilen dilsel verilerin işlenmesi için kullanılan etkili bir sistemdir. Bulanık mantık gerçek dünyadan sağlanan verilerin, elektronik vb. sistemlerde işlenmesini sağlayan etkili bir sistemdir. Bulanık mantık kontrol sistemleri dilsel bilgileri nümerik bilgilere çevirmek için "dilsel kontrol setleri" ni kullanmaktadır (Pehlivan, 2001).

Klasik kontrol sistemlerinde yapılacak ilk iş kontrol edilecek sisteme ait matematiksel modelin çıkarılmasıdır. Bu tür sistemlerde matematiksel modeli oluşturan parametrelerin değişmemesi ya da yine matematiksel bir modele dayalı olarak değişmesi istenir. Ancak gerçek hayatta çoğu durumda kontrol edilecek sistemler, bilinmeyen, çok karmaşık ya da lineer olmayan parametrelere dayanmaktadır. Bulanık kontrolör, bu tür durumlarda insan yeteneği ve bilgisini kontrol sistemine aktarmak için kullanılmaktadır. Klasik kontrol sistemlerine göre insan düşünce sistemine daha yakın olan bulanık mantık, bu yeteneğini matematiksel hesaplamalara dönüştürerek otomatik bir kontrol sistemi oluşturabilmektedir. Bulanık mantık robotik, otomasyon, akıllı denetim, izleme sistemleri, ticari elektronik ürünler, vb. gibi otomatik kontrol sistemlerinde ve bilgi depolama ve yeniden çağırma, uzman sistemler, bilgi tabanlı sistemler gibi bilgi sistemlerinde kontrol tasarımcıları tarafından sıkça kullanılmıştır.

Bulanık mantık sistemleri, sistem belirsizliklerini ve bulanık bilgileri değerlendirebilen bir uzman sistemdir. Bulanık mantık denetleyicilerindekine benzer şeklide, bulanıklaştırma ara yüzünde bilgi tabanı ve çıkarım mekanizması bulunur. Durulaştırma modülünün yerine sözel yaklaştırma modülleri kullanılabilir. Bulanık mantık sistemlerinde çıkarım mekanizması, üç ya da dört adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar; bulanıklaştırma, çıkarım, bileşke ve durulaştırma olarak tanımlanmaktadır.

Bulanık mantık kontrol sisteminin çalışma şekli Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Allahverdi, 2002).



Şekil 3.1. Bulanık mantık kontrol sisteminin yapısı

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi genel olarak bulanık mantık kontrol sisteminin çalışma mantığı dört kısımdan meydana gelmektedir. Bulanıklaştırma, kural tabanı ve bulanık çıkarı ve durulaştırma olarak ifade edilmektedir. Pek çok alanda kullanılan bulanık mantık, esnek yapısı sayesinde kontrol uygulamalarında da kullanılmaktadır. Elektronik ve elektromekanik sistemler laboratuvar ortamından çıkarıldıkları andan itibaren önceden öngörülemeyen pek çok engel ile karşılaşırlar. Bu sebepten çalışma sistemleri sabit bir formüle dayanmaları bazen imkansız bazen çok zordur. İşte bu noktada bulanık mantık dilsel terimleri işleyebilen yapısı sayesinde bilgisayar sistemlerinin dış dünyaya adapte olmalarını kolaylaştırır.

Temel Aristo mantığında yer alan "doğru" ve "yanlış" kavramları zamanla geçerliliğini kaybetmeye başlamış ve mantıksal paradokslar ve 1920 ile 1930'lardaki Heisenberg belirsizlik ilkesi öncülüğünde çok sayıda mantık sistemi ortaya çıkmıştır. Bu sayede "doğru" ve "yanlış" dışındaki belirsizliklerin de bir anlam taşıdığı gerçeği kabul edilmiş ve mantık biliminin sınırları zorlanmaya başlanmıştır. İlk gelişmiş mantık sistemleri Jan Lukasiewicz tarafından 1930 yılında ortaya atılmış ve tüm sayılar genelleştirilmiştir. Daha sonra kuantum filozofu Max Black tarafından da "doğru" ve "yanlış" arasındaki belirsizliğin derecelendirilmesini ve bulanık küme üyelik fonksiyonlarını içeren sistem geliştirilmiştir (http://www.mekatronikkulubu.org/yazı/bulanık_mantık_nedir, 18.06.2008).

Bu gelişmeler sonucu Kaliforniya Berkeley Üniversitesinden Lotfi Zadeh 1965 yılında, bulanık mantık sistemlerinin temellini oluşturan doğrusal olmayan denklemler

geliştirilmiştir. Bu buluş zaman içerisinde giderek önem kazanmış, ancak, o yıllarda bulanık mantık olmaksızın, ihtimaller ve istatistik gibi bilim dallarıyla bu gibi sorunların üstesinden gelineceği savunulmuştur. Bulanık mantık sistemlerinde sayıların istatistikteki gibi kullanılmasına karşın burada, sözel değişkenlerin fazla olduğu durumlarda istatistik yöntemlerden daha etkili sonuçlar alınabilmektedir (Şen, 2004)

Mühendislik uygulamalarında sistemin işleyişi matematiksel modeller kullanılarak açıklanma ve işletilmektedir. Bu sayede istenilen amaç doğrultusunda kesin çözümler üretilebilmektedir. Ancak, sistemin matematiksel modelinin tam olarak bilinemediği durumlarda istenilen performans sonuçlarına ulaşılamamaktadır. Klasik mantık uygulamalarının yetersiz kaldığı bu gibi durumlara çözüm bulunması amacıyla başlatılan çalışmalar neticesinde bulanık mantık sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır (Wang, 1993).

Bulanık mantık temel olarak günümüzün gelişmiş teknolojileri durumunda olan, yapay zeka, yapay sinir ağları, makine öğrenmesi ve derin öğrenme alanları ile ilişkili bir sistemdir. Her ne kadar araştırmacılar bulanık mantığı olasılık sistemlerinin bir devamı niteliğinde görseler de bulanık mantık, olayların oluşum olasılığından ziyade oluşum derecesi ile ilgilenmektedir. Bulanık mantık sistemleri mühendislik sistemlerinde ilk olarak 1970 yılında uygulanmaya başlanmış ve gerçek bir sistem üzerinde ise 1975 yılında Mandani ve arkadaşları tarafından bir buhar makinesinin kontrolü için kural tabanlı bir sistem olarak hayata geçirilmiştir. İlk önemli uygula alanı ise çimento makinesi üzerinde olmuştur. Burada çimento sanayiinde önemli bir husus olan, değirmen içerisindeki sıcaklık/oksijen oranı ile ısı/karbonmonoksit oranı gibi kritik bilgilerin kontörlü bulanık mantık sistemleri ile gerçekleştirilmiştir. Zaman içerisinde mühendislik uygulamalarında giderek yaygın bir uygulama alanı bulan bulanık mantık sistemlerinin avantajları aşağıda listelenmiştir (Pehlivan, 2001).

- Bulanık mantık sistemleri insanın kontrol yeteneğini taklit ettiği için anlaşılması kolaydır.
- Uygulanması basittir.
- Bulanık mantık sistemleri çok sayıda paralel işleme izin vermektedir.
- Diğer sistemlere göre yazılımları daha basittir.
- Yapılan uygulamalar daha ucuza mal olmaktadır.
- Bulanık mantık sistemleri yüksek performans/maliyet oranına sahiptir.
- Bulanık mantık sistemleri nonlineer sistemlere de uygulanabilir.

3.1.1. Bulanıklaştırma işlemi

Bulanık mantık, geleneksel ikili mantığın “tamamen doğru” ve “tamamen yanlış” şeklindeki değerleri arasında bulunan “kısmen doğru” yu da içerecek biçimde genişletilmesiyle ulaşılan bir üstsel kümeyi temsil etmektedir. Bu yöntemde tam olarak netliği bulunmayan mantıksal önermeler, mantık süzgeci içerisinden geçirilmek suretiyle yeniden incelenir (Zimmermann, 2012).

Bulanık mantığın bir diğer tanımına göre, her olay değişik bir doğruluk derecesine sahip olmaktadır. Bu şekilde oluşturulan alt kümeler ile birbiriyle ilişkili olaylardan oluşan kümeler kast edilmektedir. Örneğin, uzunluk kavramını temsil eden bir küme {çok uzun, uzun, orta, kısa, çok kısa} şeklinde olabilmektedir (Kosko ve Toms, 1993). Bulanık mantıkta ise, klasik mantıkta kullanılan kesin hatlarla birbirinden ayrılmış bölgeler yerine sistem uzmanı tarafından tanımlanan fonksiyonlarla birbirine geçmiş çok sayıda bölge kullanmaktadır. İşte bu noktada bulanık kümeler önemli bir fonksiyona sahip olmaktadır. Bulanık küme teorisiyle, insan gibi düşünebilen, çıkarım yapabilen, inisiyatif alabilen ve duruma göre seçim yaparak karar verebilen sistemlerin oluşması amaçlanmıştır (Patyra ve Mlynek, 2012).

Matematik uygulamalarında klasik küme teorisinde elemanlar iyi-kötü, siyah-beyaz gibi iki zıt ve tam değerler şeklinde olabilmektedir. Buna göre üyelik dereceleri 0 ve 1 şeklinde olmaktadır. Ancak gerçek hayatta bu iki değerin arsında da değerler olabilmektedir. Bu durumda kümenin üyelik dereceleri de [0,1] arasında değişen değerler olmaktadır. Bu kümeye ise “bulanık küme” denilmektedir (Kandel, 1986; Munakator ve Jani, 1994).

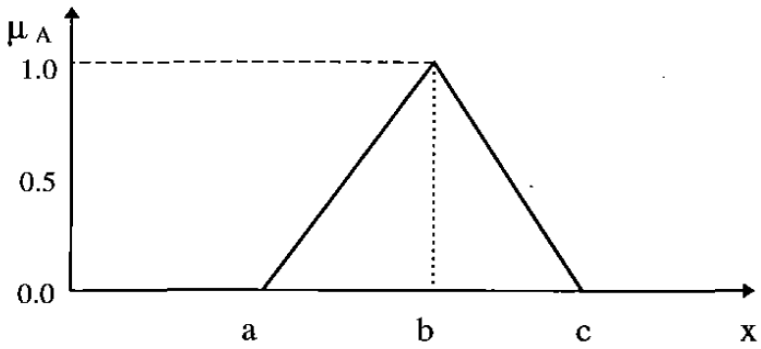
Dış dünyadan farklı ölçüm teknikleriyle elde edilen ve bir sayısal değere sahip olan giriş verileri, bilgi tabanında bulunan üyelik fonksiyonları ile sözel ifadelere ve giriş verisinin bu ifadeyi ne derecede desteklediğini belirten üyelik değerlerine dönüştürülür. Bu işleme bulanıklaştırma işlemi adı verilmiştir. Bulanıklaştırma sürecinin ilk adımı bulanıklaştırılacak veri için üyelik fonksiyonunun seçimidir. Bulanıklaştırma süreci için kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk ve cauchy biçimli üyelik fonksiyonlarıdır. Seçilen üyelik fonksiyonu ya da fonksiyonlarına göre bulanıklaştırılacak olan veri ya da verilere ait üyelik fonksiyonları düzenlenir. Bu işlem sonucunda sayısal verilere ait bulanık çıktılar elde edilir. Bu çıktıların elde edilşmesi için en çok kullanılan fonksiyonlardan biri üçgen üyelik fonksiyonudur. Üçgen üyelik fonksiyonu, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi a, b, c değerleri ile belirlenen üçgen bir şekle sahiptir. ‘a’ ve ‘c’ bulanık

kümelerin alt ve üst sınırlarını ifade ederken ‘a’ ve ‘c’ değerlerinin ortalaması soncu b’yi temsil eder. X elemanı için üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır (Pehlivan, 2001):

$$\mu_A(x) = 0, \quad x < a \; veya \; x > c$$

$$\mu_A(x) = \frac{x-a}{b-a}, \qquad a \le x \le b$$

$$\mu_A(x) = \frac{c-x}{c-b}, \qquad b \le x \le c$$



Şekil 3.2. Üçgen üyelik fonksiyonu

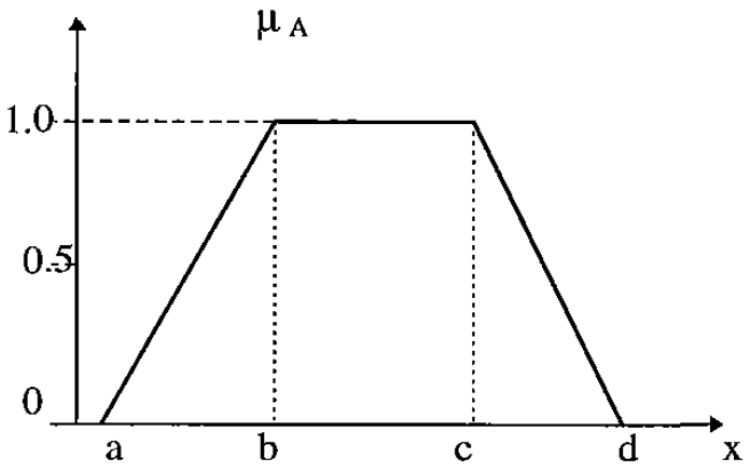
Trapez üyelik fonksiyonu, bir trapez bulanık üyelik fonksiyonu Şekil 3.3’te gösterilmiştir. ‘a’ ve ‘d’ bulanık kümelerin alt ve üst sınırları olup, ‘b’ ve ‘c’ arasındaki bölge her zaman bire eşit bir üyelik değerine sahiptir. Bir trapez bulanık mantık üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Erdal, 2008):

$$\mu_A(x) = 0, \qquad x < a \; or \; x > d$$

$$\mu_A(x) = \frac{x-a}{b-a}, \qquad a \le x \le b$$

$$\mu_A(x) = 1, \qquad b \le x \le c$$

$$\mu_A(x) = \frac{d-x}{d-c}, \qquad c \le x \le d$$



Şekil 3.3. Trapez üyelik fonksiyonu

Günlük hayatta sözcükler çoğunlukla değişkenleri ifade etmektedirler. Örneğin; "Deniz suyu sıcak ve yüzmek için uygun" ya da "Deniz suyu soğuk ve yüzmek için uygun değil" ifadeleri değişkenleri ifade etmekte ve insan beyni tarafından anlamlı verilere dönüştürülmektedir. Burada 25 ^{o}C ya da 10 ^{o}C gibi rakamsal ifadelerin de kullanılması mümkün olmaktadır. Bu şekildeki rakamsal değerlerin yerini sözcükler aldığın zaman matematiksel ifadeler yetersiz kalabilmektedir. Dilsel bir değişkeni matematiksel yöntemlerle ifade etmek için aşağıdaki notasyon kullanılmaktadır (Pehlivan, 2001).

x = Değişkenin ismi

T(x) = x değişkeninin terimler kümesi. Diğer bir ifadeyle x değişkeninin alabileceği dilsel ifadeler kümesi. Bu küme bulanık bir sayı kümesidir.

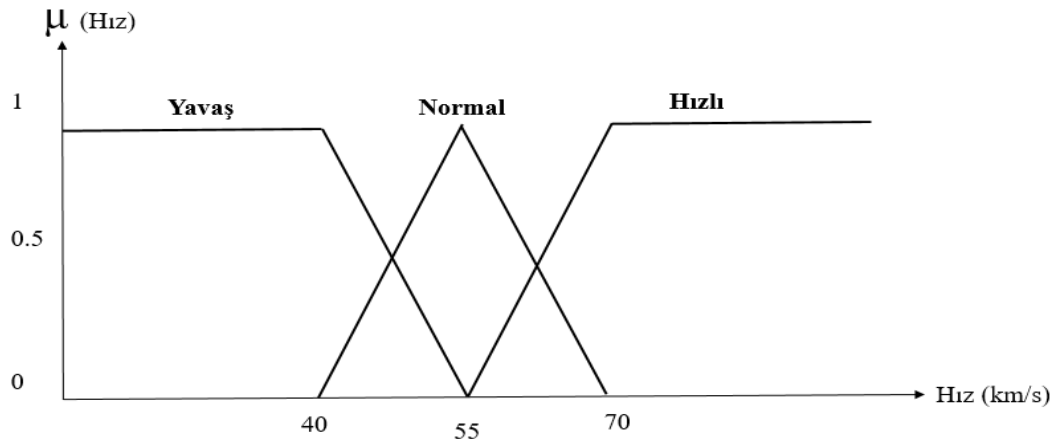
U = Bulanık sayıların tanımlandığı evren

G = x değişkenini üretmek için kullanılan sözcük kuralları

M = U bulanık kümesiyle T dilsel değişkenleri birbirine bağlayan anlamlı kurallar.

Örneğin, bir arabanın hızı dilsel bir değişken olarak belirlendiğinde, dilsel değişkenin notasyonları; T(Hız) = { Yavaş, Normal, Hızlı} olarak tanımlanır ve T(hız) 'daki her bir terim U = [0, 100] evreninde tanımlanmış bir bulanık küme olabilir. Burada "Yavaş" terimi en fazla 20 km/s, "Normal" terimi ortalama 55 km/s ve "Hızlı" terimi de

70 km/s ve üzerini temsil ettiği tasarlandığında, sistemin işleyişi aşağıdaki bulanık küme grafiği gösterilebilir.



Şekil 3.4. Örnek bir arabanın hız tanımının bulanık üye fonksiyonu (Pehlivan, 2001)

Bulanıklaştırma işleminin üç ayrı fonksiyonu bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar aşağıda açıklanmıştır (Pehlivan, 2001):

Bulanıklaştırıcı fonksiyonu;

- Giriş değişkenleri ölçülür,
- Giriş bilgisi, belirlenen bulanık küme fonksiyonları ile eşleştirilir,
- Giriş değişkenleri derecelendirilmiş değer aralığına dönüştürülür.

Bilgi fonksiyonu;

- Dilsel kontrol kurallarını içeren veri tabanı yer almaktadır,
- Kontrol amaçlarını ve kontrol stratejisi içeren kural tabanı bulunmaktadır.

Çıkarım fonksiyonu;

- Bulanık mantık kontrolünün çekirdeğini oluşturur,
- İnsanın karar verme yeteneğini simüle ederek bulanık kavramları işler ve çıkarımlar yaparak gereken kontrole karar verir.

3.1.2. Bulanık kurallar

Bir bulanık mantık denetleyicisinin bilgi tabanı, bir veri tabanı ve bir bulanık kontrol kuralı tabanı olmak üzere iki bileşenden oluşur. Veri tabanı, sistem değişkenleri için belirsiz kümeleri, her değişken için söylem evreni üzerinde tanımlanan üyelik işlevleriyle tanımlar. Kural tabanı, kontrol hedeflerine ulaşmayı amaçlayan bulanık kontrol kurallarını içerir.

Kural tabanı, bir süreci kontrol etmek için bulanık karar kurallarını içerir. Kural setinin oluşturulması, bulanık kuralların, bir insanın sistemi nasıl işlettiğine benzer dilsel değişkenleri içermesi haricinde, uzman bir sisteminkiyle karşılaştırılabilir. Bulanık kurallar, uzmanın bilgi ve sezgisinden elde edilir. Kurallar şu şekildedir: [$X_1 = A_1$ ve $X_2 = A_2$ ve .... $X_i = A_i$] ise [$Y_1 = B_1$ ve $Y_2 = B_2$ ve .... $Y_i = B_i$] burada A_i ve B_i sırasıyla giriş ve çıkış bulanık kümeleridir.

Bir giriş değişkeninin bulanık küme sayısı, gereken kural sayısını tanımlar. Genellikle, bir giriş veya çıkış değişkeni için beş ila yedi bulanık küme seçilir. Kontrol edilecek sistemde bulunabilecek her olası kombinasyon için bulanık bir kural yazılır. Girdi değişkenlerinin sayısındaki artış, bulanık kuralların sayısında üssel bir artışa neden olur. Bulanık kuralların yapısı için kesin bir standart yoktur. Bulanık kümelerin üç önemli özelliği bulunmaktadır. Bu özellikler aşağıda açıklanmıştır (Pehlivan, 2001);

1) Kümede yer alacak değerler tespit edilirken kesin bir tanımlama bulunmamaktadır. Dolayısıyla problem çözülürken farklı üyelik fonksiyonları tanımlanabilmektedir. Üyelik fonksiyonları tek başlarına kesin matematiksel fonksiyonlardır. Bir bulanık problem için belirli bir üyelik fonksiyonu tespit edilince bulanıklık durumu ortadan kalkmaktadır.

2) Üyelik fonksiyonları belirlenirken insan tecrübelerinden yararlanılabileceği gibi çeşitli sensörler vasıtasıyla sistemden verilerin toplanarak işlenmesi de uygulanabilir.

3) Bulanık kümedeki değerler ile üyelik fonksiyonu bire bir ilişki içesindedir. Diğer bir ifadeyle bir bulanık kümeyle ilgili bir üyelik fonksiyonu olmalıdır.

Bulanık sistemlerdeki önemli bir özellik olan "Kural Tabanı", EĞER – O HALDE (IF – THEN) döngüsü şeklindeki kalıp formunda çalışmaktadır. Bu kurallar bulanık sistemin temelini oluşturmaktadır. Bulanık kurallar kümesi, koşuların değerlendirilmesiyle oluşan bir kurallar kümesidir. Neden ve sonuç ilişkisinden oluşmaktadır. Bulanık kontrol kurallarındaki nedenler ve sonuçlar birden fazla olabilmektedir. Buradaki dilsel değişkenlerin seçimi sistemin performansını etkilemektedir. Bu değişkenlerin belirlenmesinde daha önceki uygulamalardan elde edilen tecrübe ve mühendislik bilgisi etkin rol oynamaktadır. Bulanık kuralların değişkenlerinin belirlenmesinde ayrıca, durum değişkenleri hatalarının bunlarının türev ve integrallerinin de hesaplanması sistem performansını artırıcı etki yapmaktadır. Aşağıda çok girişli ve tek çıkışlı bir örnek bulanık mantık kontrol kurallar listesi gösterilmiştir (Pehlivan, 2001);

Ri = Bulanık mantık kontrol kuralı (i = 1,2,3….n),

x, y = işlemdeki durum değişkenleri,

z = kontrol komut değişkeni,

Ai, Bi, Ci = x, y, z değişkenlerinin dilsel değeridir.

Yukarıdaki girdi değişkenleri doğrultusunda belirlenen kurallar bütünü şu şekildedir;

R_1 = EĞER x= A_1 ve y= B_1 ise O HALDE z=C_1,

R_2 = EĞER x= A_2 ve y= B_2 ise O HALDE z=C_2,

… …

R_n = EĞER x= A_n ve y= B_n ise O HALDE z=C_n

3.1.3. Durulaştırma İşlemi

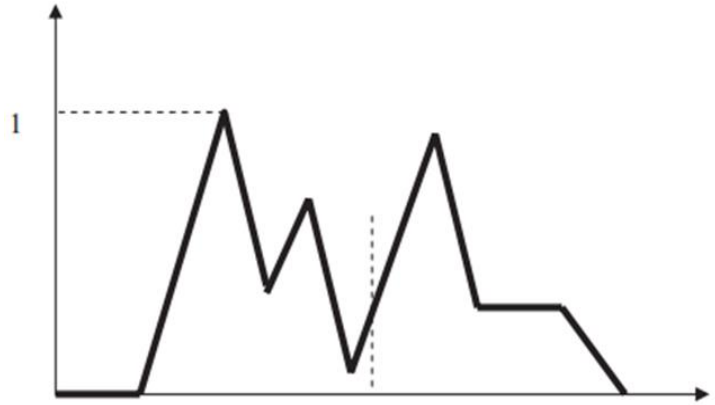
Bulanık mantık ile elde edilen bulanık verilerin gerçek sayılarla yapılan matematiksel hesaplarda kullanılabilmesi ya da bir makina tarafından doğrudan anlaşılabilmesi için gerçek sayılara dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüştürme işlemine durulaştırma denir.

En büyük üyelik yöntemi: En yüksekte olan tepenin üyelik derecesi sistemin üyelik derecesi olarak kabul edilir. En büyük üyelik yöntemi Şekil 3.5'te verilmiştir.



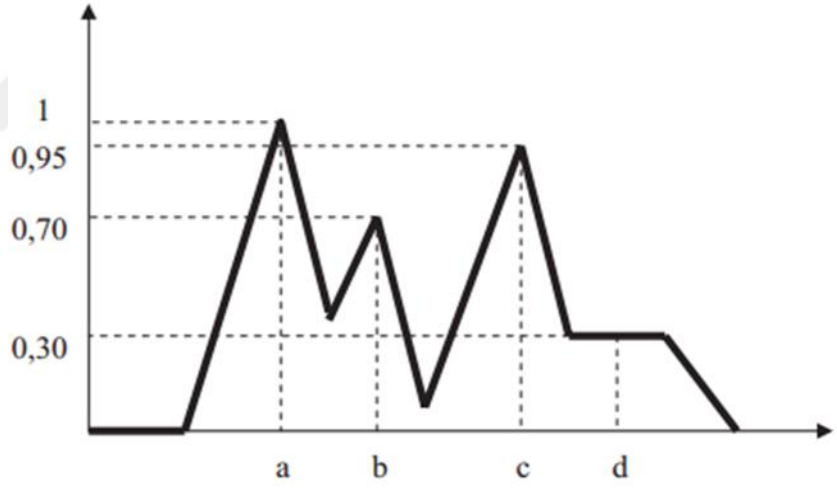
Şekil 3.5. En büyük üyelik yöntemi

Ağırlık merkezi yöntemi: Bu yöntemde çıkarım kümesi şeklinin ağırlık merkezi bulunur ve bu merkeze karşılık gelen değer kabul edilir. Ağırlık merkezi ile durulaştırma yöntemi Şekil 3.6'da verilmiştir.



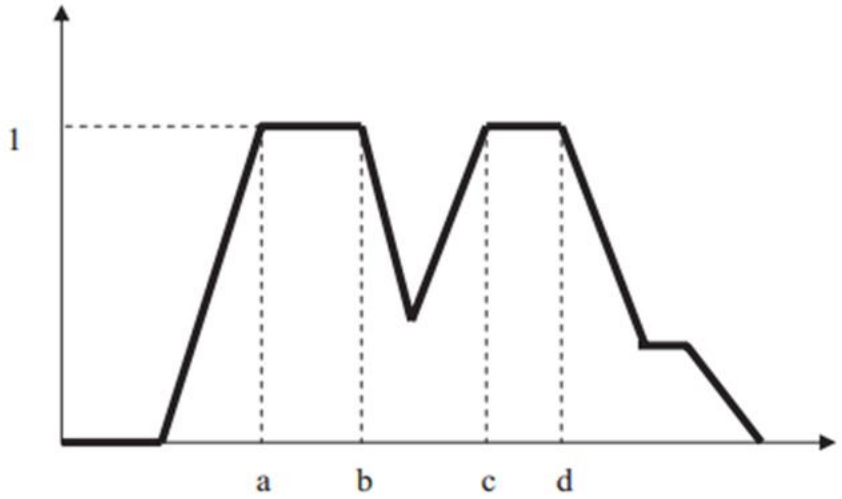
Şekil 3.6. Ağırlık merkezi ile durulaştırma yöntemi

Ağırlıklı ortalama yöntemi: Bu yöntemde ön koşul olarak simetrik üyelik fonksiyonlarının kullanılmış olması zorunludur. Çıkarım kümesini oluşturan her bir üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik derecesinin bu değere ulaştığı nokta ile çarpılarak bulunur. Ağırlıklı ortalama yöntemi Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Ağırlıklı ortalama yöntemi

Ortalama en büyük üyelik yöntemi: En büyük yöntemine benzemektedir. Farkı birden fazla en büyük olması durumunda en büyüklerin ortalaması alınarak kullanılmasıdır. Ortalama en büyük üyelik yöntemi Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Ortalama en büyük üyelik yöntemi

Durulaştırma işlemi ile özet bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlere dönüşüm yapılmaktadır. Bu işlem ölçeklendirme ve netleştirme aşamaları ile gerçekleştirilir. Ölçeklendirme, ifade evrenine ilişkin çıkış değerlerinin uygulama için gerekli olan değer aralığına dönüştürülmesidir. Netleştirme ise, bulanık kontrol hareketinin bulanık olmayan kontrol hareketine dönüştürülmesidir.

3.2. Raspberry Pi Elektronik Kartı

Raspberry Pi, tek kartlı bir bilgisayar olarak bilinir; tıpkı bir masaüstü bilgisayar veya dizüstü bilgisayar, ancak tek bir basılı devre kartı üzerine kurulu bir bilgisayar olarak tanımlanır. Çoğu tek kartlı bilgisayarlar gibi, Raspberry Pi de küçük bir kart üzerinde monte edilmiştir, fakat bu güçlü olmadığı anlamına gelmemektedir Raspberry Pi daha büyük bir bilgisayarın yapabileceği birçok şeyi yapabilir. Raspberry Pi ailesi, dünya çapında uygulamalı bilgisayar eğitimini teşvik edildiğinden dolayı birçok uygulamada kullanılmaktadır. Raspberry firmasından üretilen bu kartlar işlemci açısından birbiriyle farklılık göstermektedir.

Günümüze kadar Raspberry firmasından Raspberry Pi 4, Raspberry Pi 3 Model A+, Raspberry Pi 3 B+, Raspberry Pi Zero WH ve Raspberry Pi 3 gibi birçok bilgisayar kartları üretilmiştir. Bu kartların teknik özelikleri Çizelge 3.1'de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Raspberry Pi kartlarının teknik özelikleri

	Raspberry Pi 3 Model A+	**Raspberry Pi 3 B+**	**Raspberry Pi Zero WH**	**Raspberry Pi 3**	**Raspberry Pi 2**
Üretim yılı	2018 Hayırv 15	2018 Mar 14	2018 Jan 12	2016 Feb 29	2015 Feb 1
CPU türü	Cortex-A53 64-bit	Cortex-A53 64-bit	ARM1176JZF-S	Cortex-A53 64-bit	Cortex-A7
Çekirdek sayısı	4	4	1	4	4
CPU hızı	1.4 GHz	1.4 GHz	1 GHz	1.2 GHz	900 MHz
RAM	512 MB DDR2	1 GB DDR2	512 MB	1 GB DDR2	1 GB
USB	1xUSB 2.0	4x USB2.0	Evet micro & micro OTG	Evet 4x USB2.0 + micro OTG	Evet 4 + OTG
HDMI port	Evet	Evet	Evet mini	Evet	Evet
GPIO	Evet	Evet	Evet	Evet 40-pin	Evet
LCD Panel	Evet	Evet	Hayır	Evet	Evet
Camera	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
SD/MMC	Evet microSD	Evet microSD	Evet microSD	Evet microSD	Evet microSD
Wi-Fi	Evet 2.4GHz ve 5GHz 802.11 b/g/n/ac	Evet 2.4GHz ve 5GHz 802.11 b/g/n/ac	Evet 802.11n	Evet 802.11n	Hayır
Bluetooth®	Evet 4.2, BLE	Evet 4.2, BLE	Evet 4.1	Evet 4.1 LE	Hayır

Raspberry Pi (RPi) elektronik kartları İngiltere de geliştirilmiştir. Mevcut üretimi yine bu ülkede yapılmaktadır. Normal bir bilgisayar ile yapabileceğimiz işlemlerin hemen hemen tümünün yapılabildiği mini bilgisayar büyüklüğündedir. Bu sistemlerin geliştirilmesinin temelinde erken yaşlarda yazılım ve kodlama bilgisinin aşılanması yatmaktadır. Ancak günümüzde bu sistemlerin kullanım alanı oldukça genişlemiş ve profesyonel projelerde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu kartlar HDMI bağlantılı bir harici ekran veya televizyona bağlanarak görüntü elde edilmektedir. Yine klavye ve fare bağlayarak minik bir bilgisayara dönüştürülen RPi ile normal bilgisayarlarda yapılan, doküman hazırlamak, müzik dinlemek ve sosyal medya ağlarında gezinmek gibi işlemler rahatlıkla yapabilmektedir. Ayrıca bu sistelerde bazı bilgisayar oyunları da oynanabilmektedir (https://maker.robotistan.com/raspberry-pi-dersleri-0-raspberry-piyi-taniyalim).

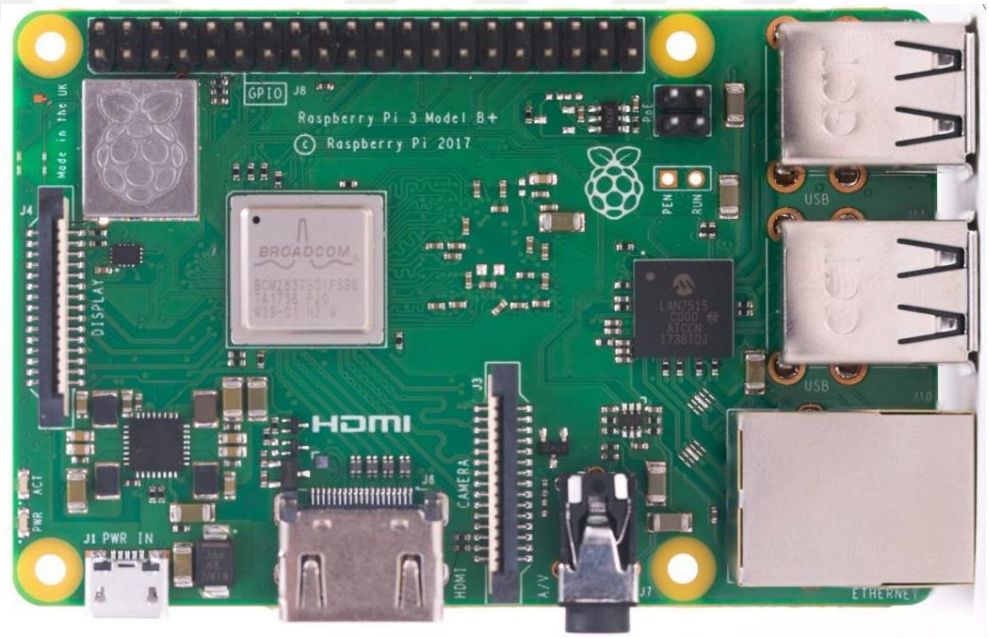
Tüm RPi modelleri, mikro USB formunda bir güç beslemesine sahiptir. Güç ünitesi olarak 2A iletimi sağlayan şarj cihazları da kullanılabilmektedir. RPi, GNU/Linux işletim sistemleri üzerinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanım için, en az 4 GB boyutlu bir SD karta ihtiyaç duyulmaktadır. İşletim sistemi bu kart üzerinden

çalışmaktadır. Raspberry Pi için özel olarak hazırlanmış işletim sistemi olan “Raspbian”, en gözde ve tercih edilen işletim sistemidir. RPi için farklı işletim sistemleri de geliştirilmiş durumdadır (Avcu, 2018).

Raspberr Pi türü bilgisayar kartlarının çoğu ARM işlemcisi kullanmaktadır, ARM işlemcilerinin Cortex-A53 64-bit modeli sıkça tercih edilmektedir.

Bugün dünyada üretimi yapılan mikroişlemcilerin yaklaşık %2’si bu tür bilgisayar sistemlerinde geri kalan %98’lik bölümü ise günlük yaşamımızdaki elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. ARM mimarili işlemciler, cep telefonları ve tablet bilgisayarlar başta olmak üzere günümüzün çoğu elektronik cihazlarında tercih edilmektedir (Avcu, 2018).

Bu tez çalışmasında bulanık mantık tabanlı iki eksenli güneş takip sistemi için Raspberry Pi 3 B+ kartı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Raspberry Pi 3 B+ kartı Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Raspberry Pi 3 B+ kartı

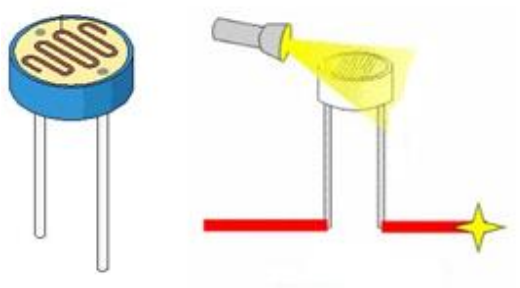
Raspberry Pi 3 B+ elektronik kartının teknik özellikleri ise şu şekildedir (https://www.robitshop.com/urun/raspberry-pi-3-model-b);

- 1.4 GHz Broadcom BCM2837 64bit ARMv8 dört çekirdek işlemci
- 1GB RAM
- Dahili WiFi – BCM43143 (Çift bant 2.4 + 5 GHz 802.11.b/g/n/ac)
- Dahili Ethernet (300Mbps Gigabit, PoE HAT uyumlu)
- Bluetooth 4.1 (Bluetooth Low Energy – BLE)

- 40 Ad. GPIO
- 4 Ad. USB 2.0 + Mikro USB 5V/2,5A güç girişi
- 4 Pinli Stereo ses + kompozit video çıkışı
- Full HDMI video çıkışı
- RPi Kamera bağlantısı için CSI kamera portu çıkışı
- RPi 7″ dokunmatik ekran için DSI ekran portu çıkışı
- Micro SD soketi
- Güncellenmiş güç katı (2,5A'e kadar desteklemektedir.)
- Güç ve aksiyon LED'i
- H.264, MPEG-4 1080p@30, OpenGL 2.0 desteği

3.3. Işık Sensörü

Işık algılayıcı sensörleri genel olarak foto dirençler ile ölçülmektedir, bu devreler Light Dependent Resistor (LDR) yani ışığa bağlı direnç olarak bilinir. Bir LDR veya ışığa bağlı direnç ayrıca foto direnç, fotosel, foto iletken olarak da tanımlanabilir. LDR devresindeki bulunan direnç, yüzeyine düşen ışık miktarına bağlı olarak değişen tip bir dirençtir. Işık direnç üzerine düştüğünde direnç değişir. Bu dirençler genellikle ışığın varlığını algılamanın gerekli olduğu birçok devrede kullanılır. Bu dirençler çeşitli işlevlere ve dirençlere sahiptir. Örneğin, LDR karanlık ortamlarda, ışığı açmak için veya ışığı kapatmak için kullanılabilir, Şekil 3.10'da LDR sensörü gösterilmiştir.

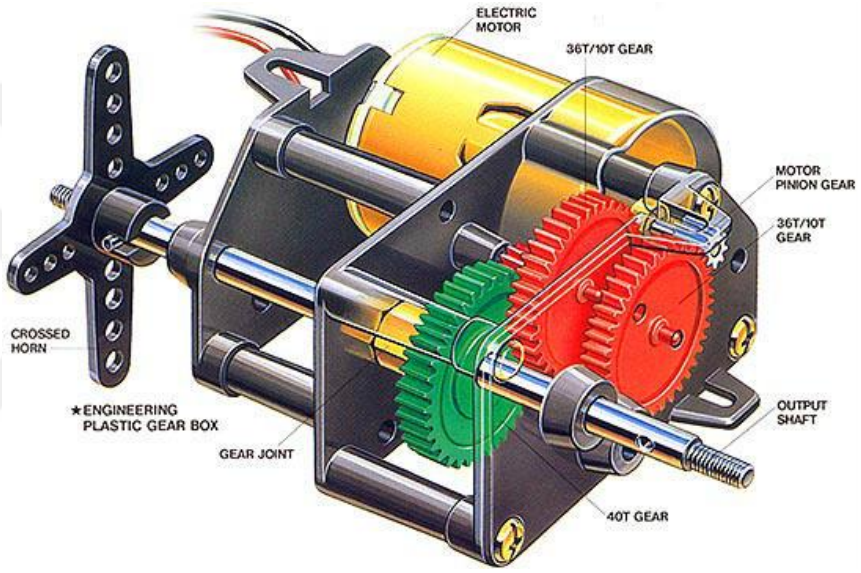


Şekil 3.10. LDR ışık sensörü

LDR devresindeki direnç, foto iletkenlik prensibi üzerinde çalışmaktadır, ışık yüzeyine düştüğünde hiçbir şey olmadı anlamına gelir ve malzeme iletkenliği azalır ve ayrıca cihazın değer bandındaki elektronlar iletken bandına uyarılır. Olay ışığındaki bu fotonlar, yarı iletken malzemenin bant boşluğundan daha büyük enerjiye sahip olmalıdır. Bu, elektronların değerlik bandından iletime geçmesini sağlar.

3.4. Servo Motor

Servo motorlar, hız ve konumun hassas kontrolü sitemlerde kullanılan bir DC motor çeşididir. Frekans dönüştürücü motorlara dayalı çalıştırmalara kıyasla daha iyi performans ve hassasiyet sağalmaktadırlar. Birçok uygulama alanlarında motorun yüksek hızla sürekli çalışması istenmektedir, sadece belirli zamanlarda belirli açılarda olmaları gerekmektedir. Dolayısıyla, servo motor dönüş yönünün belirli açılarda dönmesini gerektiren projelerde çok tercih edilmektedir. Bir servo motorun yapısı Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



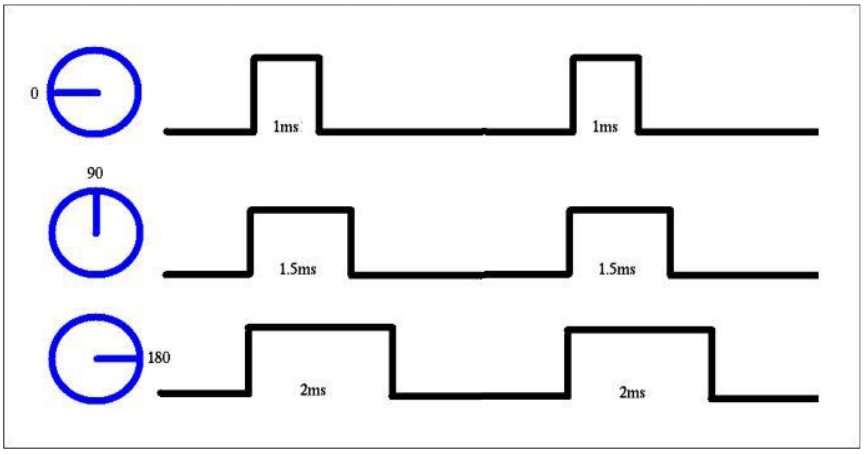
Şekil 3.11. Servo motor(http://www.motioncontrolguide.com/learn/tech-tips/gearboxes-and-gears/subcategory, 30.12.2019)

Servo motor sistemlerinde açısal-doğrusal pozisyonun ayarlanması, hız ve ivme kontrolünün hatasız olarak yapılması için bir tahrik sistemi bulunmaktadır. Burada servonun görevi hareket kontrolünü yapan bir düzenek şeklindedir. Servo motorlar, robot teknolojilerinde en fazla tercih edilen motor türleridir. Servo sistemler, üzerindeki motorun istenilen pozisyonunu alması ve yeni bir istek gelene kadar aldığı pozisyonu değiştirmemesi tekniğine göre yapılmıştır (https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir).

Servo motorların içinde sistemin hareket etmesini sağlayan bir DC motor vardır. Bu motorun haricinde ayrıca, dişli sistemi, potansiyometre ve motor sürücü devresi de bulunmaktadır. Potansiyometre, motorun dönüş miktarını ölçmektedir. Servo içerisindeki DC motor dönüş hareketini yaptıkça, potansiyometre aynı miktarda dönmektedir. Kontrol

devresi motorun yer aldığı durum ile istenilen pozisyon arasında karşılaştırma yaparak motorun dönüş hareketini kontrol etmektedir. Buradan servo motorların diğer motorlar gibi bir sürücüye ihtiyaç duymadan çalışamadığı anlaşılmaktadır. Servo motor sistemlerinin genel çalışma açıları 180 derecedir. Ancak 360 derecede çalışabilen özel üretilmiş servo motorlar da mevcuttur (Avcu, 2018).

Servo motorlar Sinyal Genişlik Modülasyonu (PWM) sinyali ile çalışmaktadır. PWM sinyalleri bir mikro kontrol devresi yardımıyla –yapılan çalışmada bu görevi Raspberry Pi kartı üstelenmiştir- ya da uzaktan kumanda sistemleri ile yapılmaktadır. Servolar, her 20 ms de bir sinyal değeri okumaktadır. Sinyal uzunluğu ise motorun dönüş miktarını belirlemektedir. Örneğin 1.5 ms'lik bir sinyal, motorun 90 derecede pozisyon almasını sağlamaktadır (Şekil 3.12.). Servo motorlar bulundukları pozisyonda sabit kalırken dışarıdan bir güç geldiğinde ise bu güce karşı koymaktadırlar. Ancak, bulundukları konumda uzun süre bekleyemezler. Konumlarını korumaları için sinyalin tekrar edilmesi gerekmektedir. Hareket etmeleri için gereken sinyal genişliklerinin en az ve en çok şeklinde limit değerleri bulunmaktadır. Genelde minimum sinyal genişliği 1 ms iken maksimum sinyal genişliği 2 ms olmaktadır (https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir, 03.12.2019).



Şekil 3.12. Servo Motorların Sinyal-Açısal Hareket Durumu (Avcu, 2018)

3.4.1. Servo Motor Çeşitleri

Servo motor sistemleri kullanım amaçlarına göre farklı kategorilere ayrılmaktadırlar. Bunlar AC-DC servo motor sistemleri, dijital-analog servo motor sistemleri ve çekirdeksiz-fırçasız servo motor sistemleridir. Aşağıda bu sistemlerin

özellikleri kısaca açıklanmıştır (https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir, 03.12.2019).

AC-DC Servo Motor Sistemleri: Servo motorlar genellikle AC Servo ve DC Servo olarak iki grupta incelenmektedirler. AC servo motorlar daha çok endüstriyel alanlarda kullanılırlar. AR-GE projelerinde ise daha çok DC servo motor sistemleri tercih edilmektedir.

Dijital-Analog Servo Motor Sistemleri: Dijital servo motor sistemleri, analog servolara göre çok yüksek frekanslarda çalışırlar. Bu sebeple dijital servo motorlar kendilerine gelen komutlara daha hızlı ve kesin tepki verirler. Ayrıca sabit durma torkları da daha iyidir. Hızlanmaları hareketleri de daha yumuşak olmaktadır. Analog servo motorlara göre olumsuz yönleri ise daha fazla enerji tüketmeleridir.

Çekirdeksiz-Fırçasız Servo Motor Sistemleri: Servo motor sistemleri içlerindeki motor yapısına göre de farklılık göstermektedir. Çekirdek olmayan servolarda bulunan motorların mıknatısları kabloların etkisiyle manyetik alan oluştururlar. Bu nedenle hafiftirler ve sinyale daha hızlı tepki verirler. Ayrıca daha yumuşak konum alırlar. Bu motorlardaki avantajlar yüksek verimlilik ve daha çok güç üretme kabiliyetleridir.

4. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

Sınırsız güneş enerjisine rağmen, güneş panellerinin verimsizliğinden dolayı güneşten enerjiyi elde etmek zor bir işlemdir. Son çalışmalar, güneş panellerinin verimliliğini artırmak için farklı metodolojilerin önerildiğini göstermektedir. Türkiye'de yapılan panel kurulumlarının çoğu sabit olarak kurulmaktadır. Sabit sistemlerde gün geçtikçe güneş, panelin yüzeyinden uzaklaşarak panelin güç çıkışını azaltmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmenin en kolay yolu, hareketli bir güneş panelini güneş takip mekanizması kullanarak uyarlamaktır. Fotovoltaik hücre uygulamalarının verimliliğini artırmak için bu sistem benimsenmiştir. Bu tür sistemlere güneş takip sistemleri denmektedir, güneş takip sistemleri güneş fotovoltaik panelini güneşe doğru yönlendiren bir sistemdir. Güneşin gökyüzündeki konumu, güneş gökyüzünde hareket ederken mevsim ve günün saatlerine göre değişir. Güneş enerjisiyle çalışan ekipman en iyi şekilde güneşe veya güneş ışığına yaklaştığında çalışır, bu nedenle güneş takip sistemi bu tür ekipmanların ek sistem karmaşıklığı pahasına herhangi bir sabit pozisyonda etkinliğini artırabilir. Pek çok gelişmiş ülkelerde, güneş takip sistemleri zaten ticari olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de yerli ve ithal olarak güneş takip sistemleri kullanılmaktadır. Son yıllarda araştırmacılar tarafında mikroişlemci tabanlı birçok güneş takip sistemi geliştirilmiştir.

Bir güneş takipçisi, bir yükü Güneş'e doğru yönlendiren bir cihazdır. Yükler genellikle güneş panelleri, parabolik oluklar, fresnel reflektörler, lensler ve heliostat aynalarıdır. Yüksek konsantrasyonlu güneş enerjisi termal ve PV sistemler tarafından üretilen çıkış gücü, sistem tarafından elde edilen güneş enerjisi miktarı ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle güneşin pozisyonunu yüksek doğrulukla izlemek gerekir (Lee ve ark., 2009).

Kolektör yüzeyinin azimut açısı ve eğim açısı olarak da bilinen oryantasyonu, güneşe dayalı dönüşüm sisteminin performansını büyük ölçüde etkiler çünkü kolektörün eğimli yüzeyine ulaşan güneş ışınımı miktarını doğrudan etkiler. Yatay bir yüzeyde küresel radyasyon, zemin yansıması ve yıllık güneşlenme günü gibi birçok faktör, herhangi bir zamanda eğimli bir yüzeyde meydana gelen güneş ışınımının miktarını belirleyen karmaşık bir fonksiyonun parametrelerini oluşturur. Güneş radyasyonu verileri genellikle ilgilenilen enlemde yatay bir yüzeyde küresel ve dağınık radyasyon şeklinde ölçülür. Eğik bir yüzeyde meydana gelen güneş ışınımının hesaplanmasındaki olmazsa

olmaz koşul, ölçülen yatay küresel ışınımda bulunan kirişin nispi miktarının ve dağınık radyasyonun belirlenmesidir (Darhmaoui ve Lahjouji, 2013).

Güneş kolektörleri, toplanan güneş enerjisini en üst düzeye çıkarmak için eğilir; buna göre, maksimum güneş enerjisinin toplandığı optimum eğim açısının belirlenmesi önemlidir. Dinamik PV çatılar, gelen ışığı sabit olanlardan daha iyi kontrol edebilir (ALmukhtar, 2013; Gao ve ark., 2019).

Bir güneş kolektörünün performansını etkileyen önemli parametrelerden biri yatay olan eğim açısıdır. Bunun nedeni eğim açısının değişmesinin, kolektör yüzeyine ulaşan güneş radyasyonu miktarını değiştirmesidir. Eğik bir yüzeydeki toplam güneş ışınımını tahmin etmek ve optimum eğim açısını ve yönünü (yüzey azimut açısı) belirlemek için bir matematiksel model kullanılabilir. Kolektör yüzeyindeki toplam radyasyonun belirli bir gün veya belirli bir süre için maksimum olduğu değerleri arayarak optimum açı hesaplanabilir. Eğim açısının yılda 12 kez değiştirilmesi (yani, aylık ortalama optimum eğim açısı kullanılarak), eğim açısının günlük olarak optimum değerine getirilmesiyle bulunan maksimum değere yakın yaklaşık toplam güneş ışınımı miktarını koruyabilir (Yakup ve Malik, 2001).

Güneşli günlerde en iyi strateji, alıcı yüzeyini Güneş'in ışınlarına dik tutmaktır. Bu strateji maksimum doğrudan güneş ışınımının toplanmasına izin verir ve güneş enerjisi yoğunlaştırıcıları için önerilmektedir. Başka bir prosedür, maksimum küresel ışınımın toplanması için eğim açısı sürekli ayarlanan Güney yönelimli bir yüzey kullanmaktır.

Toz fırtınaları sırasında ışınımın yüzeyin eğimine ve yönlendirilmesine olan bağımlılığı daha az önemli hale gelir ve daha basit stratejiler daha uygundur (Badescu, 1998).

Güneşin gökyüzü üzerindeki günlük hareketini takip eden takip sistemleri, kolektörün yüzeyindeki güneş ışınımı veriminin en üst düzeye çıkarılmasını sağlar. Sabit bir kolektör yerine iki eksenli bir takip sistemi benimsenirse kolektördeki güneş ışınımı olayında %40'lık bir kazanç elde edilir.

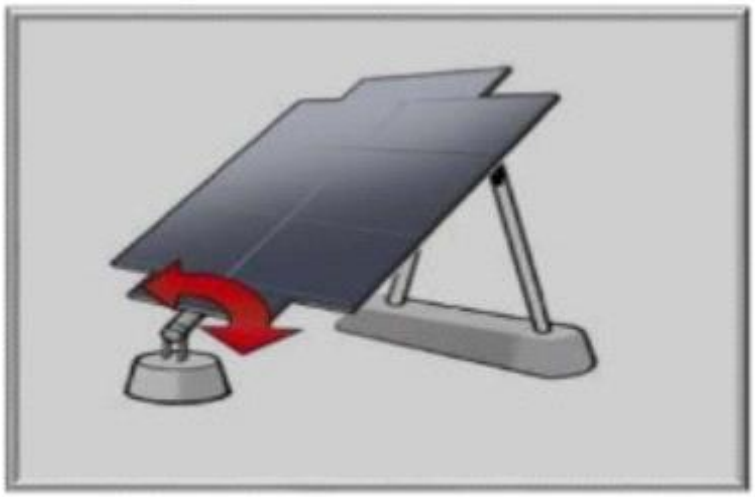
Bununla birlikte, izleme sistemleri pahalıdır, işletmeleri için ayrı bir enerjiye ihtiyaç duyarlar ve özellikle küçük ölçekli sistemler için geçerli değildir. Kuzey yarımkürede, en uygun eğim açısının yılın gününe ve en uygun kolektör oryantasyonunun güneye bağlı olduğu genel olarak bilinmektedir.

Güneş takip sistemlerinin çalışma prensiplerini ayçiçeklerin gün boyunca güneş ışığını takip etmesine benzetebiliriz. Ayçiçeklerinin güneşin hareketine göre sürekli

güneşe bakması gibi güneş takip sistemleri güneşin hareketini sürekli izlemektedir. Bu izleme işlemi takip eksenine göre veya kontrol mekanizmasına göre iki farklı şekilde yapılmaktadır. Takip eksenine göre yapılan güneş takip sistemleri tek eksen kontrollü ve çift eksen kontrollü şeklinde iki farklı yöntem ile gerçekleşir. Kontrol mekanizmasına göre yapılan güneş takip sistemleri yerçekimi sistemleri, açık döngü sistemleri ve kapalı döngü sistemleri şeklinde üç farklı yöntem ile gerçekleşmektedir. Bu güneş takip sistemleri türleri aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

4.1. Yatay eksen güneş takip sistemi

Bu tip güneş takip sisteminde, tüp üzerine monte edilen güneş paneli gün boyunca güneşin görünür hareketini izlemek için yatay eksen üzerinde dönecektir. Bu bağlamda yatay eksende güneş takip sistemi, maksimum oranda güneş ışığının emesini sağlamaktadır. Bu sistemde sahip olduğu akıllı motor gün boyunca değişen güneş konumuna göre güneşi yatay eksende takip edilmesini sağlar. Yatay eksenli güneş takip sistemi aşağıda Şekil 4.1'da verilmiştir (Fareed, 2018).

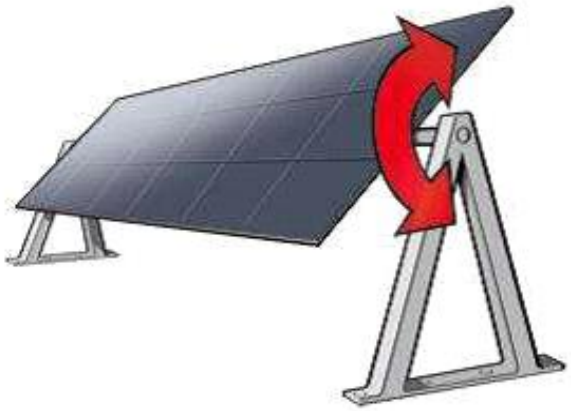


Şekil 4.1. Yatay eksenli güneş takip sistemi

Yatay güneş takip sistemleri kış aylarında çok verimli olmayabilir, ancak bu takip sistemleri güneş şiddetinin yüksek olduğu ilkbahar ve yaz mevsimlerinde çok verimlidir. Yatay güneş takibi sistemlerinin en büyük avantajı diğer karmaşık takip sistemlerine göre tasarımının basit olması, düşük maliyet ve bunların yanında arıza verme ihtimali düşüktür.

4.2. Dikey eksen güneş takip sistemi

Bu tip güneş takip sisteminde, tüp üzerine monte edilen güneş paneli gün boyunca güneşin görünür hareketini izlemek için dikey eksen üzerinde dönecektir. Sabit veya (mevsimsel olarak) ayarlanabilir açılı bu tür takip sistemleri yüksek yerler için uygundur. Bunun nedeni, yüksek enlemlerde görünen güneş yolunun özellikle yüksek olmaması değil, yaz aylarında uzun günlere yol açması ve güneşin uzun bir yaydan geçmesidir. Bu bağlamda dikey eksende güneş takip sistemi, maksimum oranda güneş ışığının emesini sağlamaktadır. Bu sistemde sahip olduğu akıllı motor gün boyunca değişen güneş konumuna göre güneşi dikey eksende takip edilmesini sağlar. Dikey eksenli güneş takip sistemi aşağıda Şekil 4.2'de verilmiştir (Fareed, 2018).



Şekil 4.2. Dikey eksenli güneş takip sistemi

Yatay güneş takip sistemleri kış aylarında çok verimli olmayabilir, ancak bu takip sistemleri güneş şiddetinin yüksek olduğu ilkbahar ve yaz mevsimlerinde çok verimlidir. Yatay güneş takibi sistemlerinin en büyük avantajı diğer karmaşık takip sistemlerine göre tasarımının basit olması, düşük maliyet ve bunların yanında arıza verme ihtimali düşüktür.

4.3. İki eksenli güneş takip sistemi

İki eksenli güneş takip sistemlerinde, güneşin konumu hem yatay hem de dikey bir şekilde takip edilmektedir. İki eksenli montajda, bir eksen, cihazın bir pusula noktasına dönmesine izin veren dikey bir mil veya yatay halka montajıdır. İkinci eksen, azimut platformuna monte edilmiş yatay bir yükselme eksenidir. İki eksenin bu kombinasyonunu kullanarak, yukarı yarımkürede herhangi bir yer işaret edilebilir. Böyle

bir sistem, panelleri güneşe doğru yönlendiren motor sürücülerini kontrol etmek için bilgisayar kontrolüne veya izleme sensörüne ihtiyaç duyar. İki eksenli güneş takip sistemi Şekil 4.3'de verilmektedir (Fareed, 2018).

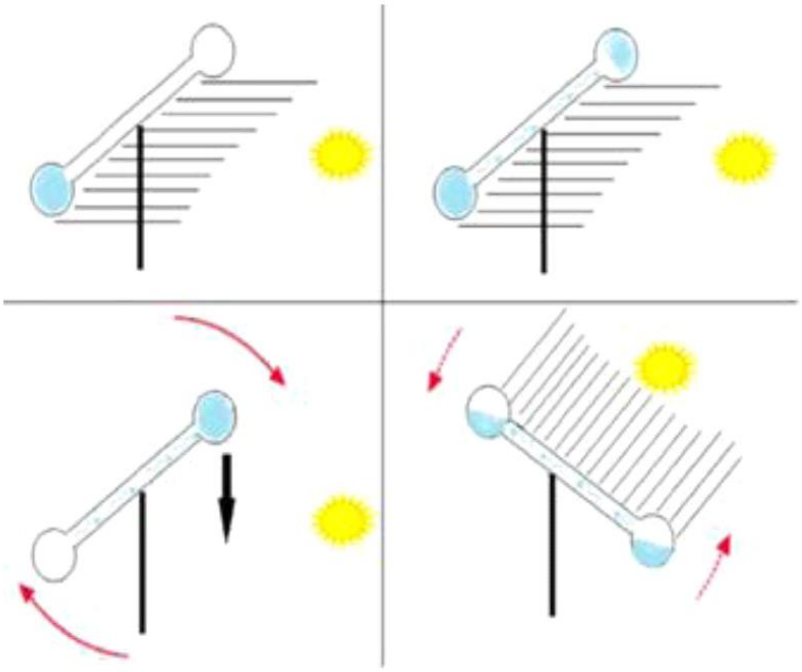


Şekil 4.3. İki eksenli güneş takip sistemi

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi güneş paneli motorlar yardımı ile iki eksende güneşi takip ederek güneş panelini güneşe doğru yönlendirmektedir. Bu tür güneş takip sistemleri verimlilik açısından büyük bir önem taşımaktadır, fakat iki eksenli güneş takip sistemleri tek eksenli güneş takip sistemlerine nispetten daha maliyetli olabilir.

4.4. Yerçekimi güneş takip sistemleri

Yerçekimi güneş takip sistemleri sıvı dolu tüpler ile kontrol mekanizmasını sağlamaktadır. Bu sıvılı tüpler güneş panellerinin her iki tarafına montaj edilmektedir. Tüpler içindeki sıvı ısıya çok duyarlıdır bunun yanında genleşme katsayıları da çok yüksektir. Güneş panellerin hareketi tüpler içindeki sıvıların genleşmesi ile birlikte hareket etmektedir ve böylece güneş panelinin Güneşe doğru hareket edilmesi sağlanmaktadır. Yerçekimi güneş takip sistemlerinin en büyük avantajı her hangi bir motor veya sensör gibi cihazlar ihtiyaç duymadan güneş takip işlemini gerçekleştirmektedir. Yerçekimi güneş takip sistemleri tüplü sıvı dışında motor ve sensör gibi başka bir cihaza ihtiyaç duymadığından dolayı pasif kontrollü sistemler olarak da adlandırılmaktadırlar. Yerçekimi güneş takip sistemi aşağıda Şekil 4.4'de verilmektedir (Fareed, 2018).



Şekil 4.4. Yerçekimi güneş takip sistemi

4.5. En Uygun Eğim

1975 yılında, ilk otomatik güneş takip sistemlerinden biri, merkezi bir alıcı güneş enerjisi sisteminde toplam alınan güç ve akı yoğunluğu dağılımını hesaplamak için bir algoritma geliştiren McFee tarafından sunulmuştur. Her aynayı 484 elemente bölerek ve tüm elementlerin katkılarını toplayarak, güneş pozisyonu 0,5°-1° izleme hatası toleransıyla belirlenebilir. Birkaç yıl sonra, Semma ve Imamru, güneş kolektörlerinin pozisyonlarını PV yoğunlaştırıcıdaki konumlarına ayarlamak için her zaman güneşe dönük olacak şekilde basit bir mikroişlemci kullanmışlardır. Güneş pozisyonunu belirleme algoritmalarını geliştirmek için izleme hata dağılımlarının matematiksel teorileri de geliştirilmiştir (Lee ve ark., 2009).

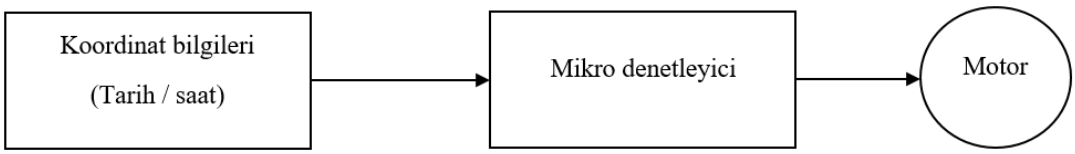
Enlem, güneş yansıması ve açıklık indeksinin etkileri Elsayed tarafından değerlendirilmiştir. Analitik olarak optimal eğim açısının belirlenmesinde Tang R ve Wu T, aylık yatay radyasyonu kullanarak optimal eğim açısının belirlenmesini sağlayan basit bir matematiksel prosedür geliştirmişlerdir. Birçok bilimsel çalışma, en uygun eğim açısı için yalnızca enlemin kullanılmasını önerir. Bazı çalışmalar optimum eğim açısının ±15° olduğunu göstermektedir. ±15° eğim açısı Masters GM tarafından önerilen en uygun eğim açısıdır. Yaz aylarında, optimum eğim açısı genellikle kış aylarında iken enlemden 15°

daha düşüktür. Optimum eğim açısının bölgeye özgü olduğu da bilinmektedir (Darhmaoui ve Lahjouji, 2013).

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler ve geçmiş yıllarda kontrol alanlarındaki ilerlemeler ışığında literatürde yapılan çalışmalar, güneş termal ve fotovoltaik sistemlerin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmış birçok karmaşık güneş takip sistemi içermektedir. Güneş izleme sistemi, güneş enerjisinin en üst düzeye çıkarılması demektir. Güneş izleme sistemi kapalı döngü, açık döngü ve hibrid güneş takip sistemi olarak sınıflandırılabilir. Yüksek izleme doğruluğunu sağlamak için, bu güneş izleme sistemleri kontrol sistemine geri besleme olarak çalışmak için sensörler kullanır (Lee ve ark., 2009; Ho ve ark., 2017).

4.6. Açık döngü güneş takip sistemi

Yılın her hangi bir günün saatinde güneşin hangi koordinatlarda olacağı dünyanın herhangi bir noktası için bellidir. Bu bilgiye göre güneşin hangi saatte hangi koordinatta olacağı bir sensöre gerek duymadan bir algoritma ile güneşin konumu takip edilebilir. Algoritmaların uygulanması için mikro denetleyiciye ihtiyaç duyulmaktadır, mikro denetleyici tasarlanan algoritmaya göre güneş panelini güneşin konumuna göre yönlendirmektedir. Şekil 4.5'de açık döngü güneş takip sisteminin çalışma mantığı verilmektedir.



Şekil 4.5. Açık döngü güneş takip sisteminin çalışma mantığı

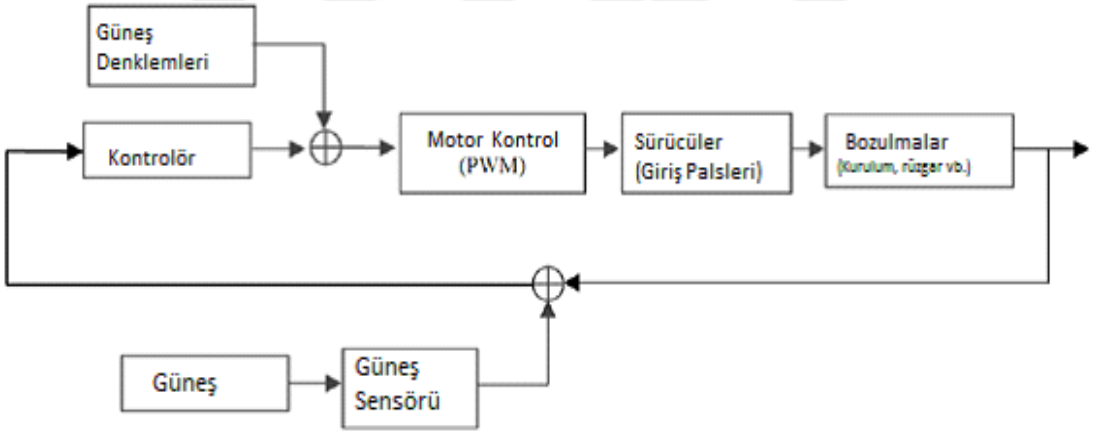
Açık döngülü bir denetleyici türü, yalnızca mevcut durumu ve sistemin algoritmasını kullanarak ve girişinin istenen hedefe ulaşıp ulaşmadığını (yani algoritmaya dayalı) belirlemek için geri bildirim kullanmadan hesaplama yapar. Sistem, kapalı döngülü güneş takip sistemlerinden daha basit ve ucuzdur. Kontrol ettiği süreçlerin çıktısını gözlemlemeden çalışmaktadır. Sonuç olarak, açık döngülü bir sistem herhangi bir hatayı düzeltemez, böylece sistemdeki aksaklıkları gideremez. Güneş takip sistemlerinin açık döngü kontrol algoritmaları, bir çeşit güneş ışınımı geometri modelini kullanır (Lee ve ark., 2009).

Araştırmacılar tarafından günümüze kadar güneş panellerin verimliliği arttırmak için birçok açık döngülü güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Abdallah ve Nijmeh (2004) güneş izleme yüzeyinin hareketinin bir programlanabilir mantık devresi (PLC) ünitesi kullanılarak uygulanan bir açık döngü kontrol algoritması tarafından kontrol edildiği elektro-mekanik, iki eksenli bir izleme sistemi geliştirmiştir. Önerilen sistem, güneş izleme yüzeyini yatayda kuzey-güney ekseni etrafında döndürmek için iki ayrı izleme motoru içermektedir. Dikey eksen etrafındaki yüzey, yüzeyin azimut açısını ayarlamak için tasarlanmıştır. Deneysel sonuçlar, iki eksenli takip sisteminin toplam günlük enerji üretiminin, 32°'de güneye doğru eğimli sabit bir yüzeyden elde edilene kıyasla yaklaşık %41,34 artırdığını göstermiştir (Lee ve ark., 2009).

Reda ve Andreas (2004) bir güneş pozisyonu algoritması uygulamak için adım adım basit bir prosedür sunmuşlardır. Önerilen algoritmada, ufuk açısı, azimut ve insidans açıları ana parametreler kullanılarak elde edilmiştir. Bunlar; ortalama tarih ekinoksu için ekliptik boylam ve enlem, belirgin sağ yükselme ve görünür redüksiyon, aşağıdaki düzeltme parametreleriyle birlikte: eğiklikte, ekliptik eğrisi ve gerçek geometrik mesafe. Sonuçlar, güneş ufuk ve azimut açılarının, ± 0.0003° belirsizliklerle hesaplanabileceğini göstermiştir.

4.7. Kapalı döngü güneş takip sistemi

Kapalı döngü güneş sistemi, güneş ışığını algılayan sensörler yardımı ile güneşin konumunu tespit ederek güneş panellerin güneşe doğru yönlendiren takip sistemleridir. Bu sistemde sensörlerden gelen değerler geriye dönük olduğundan dolayı kapalı döngü sistemleri olarak adlandırılmıştır. Kapalı döngü güneş takip sistemlerinde güneşin ışığını algılayan ışık sensörlerini türü, kalitesi ve hassasiyeti takip sistemi için çok büyük bir önem taşımaktadır. Kapalı döngü güneş takip sistemlerinde kullanılan ışık sensörlerin kalitesi ne kadar iyi olursa o kadar takip sistemin verimliliği artmaktadır. Işık sensörlerden gelen güneşin ışık şiddetine göre mikro denetleyici ilgili motorlara hareket sinyalleri göndererek güneş panelini hareket ettirmektedir. Kapalı döngü güneş sistemi, sensörler ve mikrodenetleyici yardımları ile küçük mekanik hatalar ve kusurlu kurulum gibi bazı izleme hatalarını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Şekil 4.6'de açık döngü güneş takip sisteminin çalışma mantığı verilmiştir (Başcoşkun, 2018).



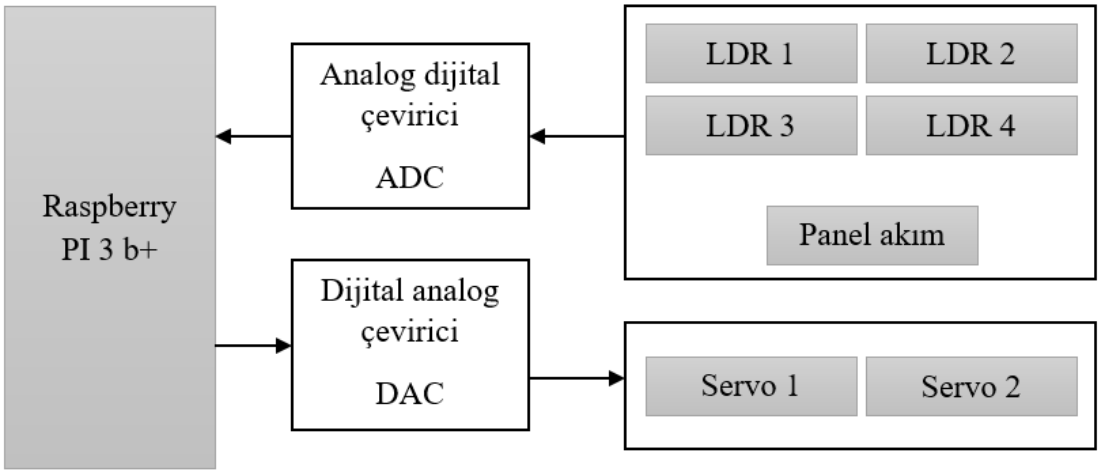
Şekil 4.6. Kapalı döngü güneş takip sistemi (Başcoşkun, 2018)

Şekil 4.6'de görüldüğü gibi güneş panelinin hareketi mikrodenetleyici tarafından ışık sensörünün değerlerine göre hareket etmektedir. Kapalı devre güneş takip sistemleri geri besleme kontrol prensiplerine dayanmaktadır. Bu sistemlerde, güneş tarafından indüklenen, kontrol ünitesinde manipüle edilen ve ardından çıkışları veren ilgili parametreleri tespit eden sensörlerden bir kontrolöre çok sayıda giriş aktarılır.

5. BULANIK MANTIK TABANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI

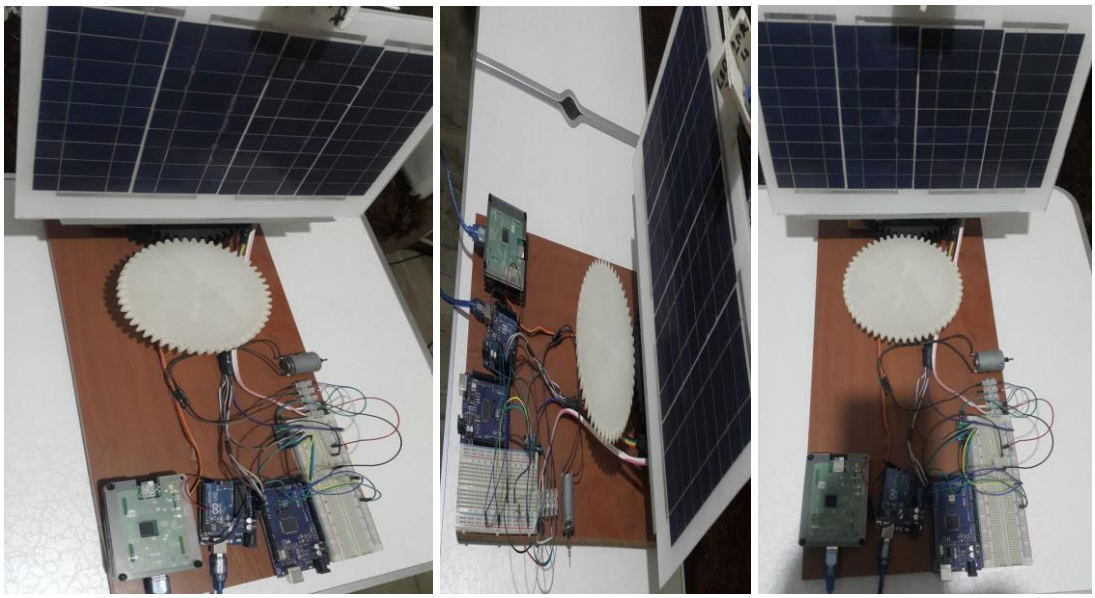
5. 1 Sistemin Yapısı

Bu çalışmada bulanık mantık sistemi iki eksenli güneş takip sisteminde kullanılmıştır. Güneş ışığı şiddetini algılayan LDR sensörlerinden ve güneş panelinden gelen gerilim değerlerine göre bulanık mantık sistemi iki eksene bağlı olan motorları yönlendirmektedir. Raspberry Pi3 B+ elektronik kartı kullanılarak tasarlanan bulanık tabanlı güneş takip sisteminin genel yapısı ve blok diyagramı Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Sisteminin blok diyagramı

Şekil 5.1'de görüldüğü üzere, bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminin blok diyagramında kullanılan donanım parçaları ve ilişkileri gösterilmiştir. Sistemde, önce sensörlerden alınan veriler analog/dijital dönüştürücüye gelmekte, gerekli hesaplar yapıldıktan sonra dönüştürücü ışık sensörlerinin ve panelin akım değerlerini Raspberry kartına göndermektedir. Raspberry kendisine gelen bu değerleri kullanarak, bulanık mantıkla x-ekseni ve y-ekseni motorları için uygun değeri hesaplamakta ve dijital/analog çevirici (PWM) ile x-ekseni ve y-ekseni motorlarını hareket ettirmektedir. Tasarlanan bulanık tabanlı güneş takip sisteminin genel yapısı Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Bulanık tabanlı güneş takip sisteminin genel yapısı

Şekil 5.2'de gösterilen bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminin yapısı incelendiğinde, ışık algılayıcıdan ve panellin hücrelerinden gelen değerlere göre bulanık mantık sistemi tarafından işlenerek Raspberry Pi 3 B+ iki çıkış değeri üretmektedir. Üretilen bu çıkış değerleri iki adet servo motorları yönlendirmektedir. Kullanılan güneş paneli 9 volt ve 1 amper enerji üretebilmektedir. Raspberry Pi 3 B+ özelikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Raspberry Pi 3 B+ özelikleri

Özelikler	Raspberry Pi 3 B+
Üretim yılı	2018 Mar 14
CPU türü	Cortex-A53 64-bit
Çekirdek sayısı	4
CPU hızı	1.4 GHz
RAM	1 GB DDR2
USB	4x USB2.0
HDMI port	Evet
GPIO	Evet
LCD Panel	Evet
Camera	Evet
SD/MMC	Evet microSD
Wi-Fi	Evet 2.4GHz ve 5GHz 802.11 b/g/n/ac
Bluetooth®	Evet 4.2, BLE

5.2. Sistemin Giriş ve Çıkış Değerlerinin Dilsel İfade ile Temsili

Bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminde kullanılan girişlerin ve çıkışların aralık değerleri, dilsel ifadeleri ve üyelik fonksiyonları bu bölümde açıklanmıştır. Tasarlanan bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminde Işık şiddeti (volt) ve Panel akımı (A) giriş olarak bulunmaktadır. Bu giriş değerleri bulanık mantık tarafından işlendikten sonra sonucu sistemin çıkış olan Motora vermektedir. Bulanık mantık tabanlı sistemlerde girişleri ve çıkışları temsil etmek için minimum ve maksimum değerleri olmalıdır. Tasarlanan sisteminin giriş ve çıkış değişkenleri için minimum ve maksimum aralık değerleri aşağıda Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Giriş ve çıkış için minimum ve maksimum aralık değerleri

Değişken ismi	**Giriş veya Çıkış**	**Minimum değer**	**Maksimum değer**
Işık şiddeti	Giriş	0	1023
Panel akımı(A)	Giriş	0	1
Motor açısı(derec)	Çıkış	0	100

Çizelge 5.2'de sistemin giriş ve çıkış değişkenlerinin minimum ve maksimum aralık değerlerine göre belirlenen dilsel ifadeler yer almaktadır. Bu dilsel ifadelerin aralıkları ise Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Giriş ve çıkış değişkenlerin dilsel ifadeleri ve aralıkları

Dilsel ifadeler	**Işık şiddeti**	**Panel akımı (A)**	**Motor (º)**
Düşük (D)	0-400	0-0.5	0-40
Orta (O)	300-800	0.3-1	30-70
Yüksek (Y)	700-1023	0.8-1	60-100

Işık Şiddeti, Panel akımı ve motor açısı için üyelik dercesi ve dilsel ifadeler arasındaki ilişkiler Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 da verilmiştir.

Çizelge 5.4. Işık şiddetinin bulanık mantık ifadesinin belirlenmesi

DÜŞÜK	ORTA	YÜKSEK
Işık şiddeti < 400 ve 0 <= μ (x) <= 0,4	Işık şiddeti > 300 ve Işık şiddeti < 800 ve 0 <= μ (x) <= 1	Işık şiddeti > 700 ve 0 <= μ (x) <= 0,4

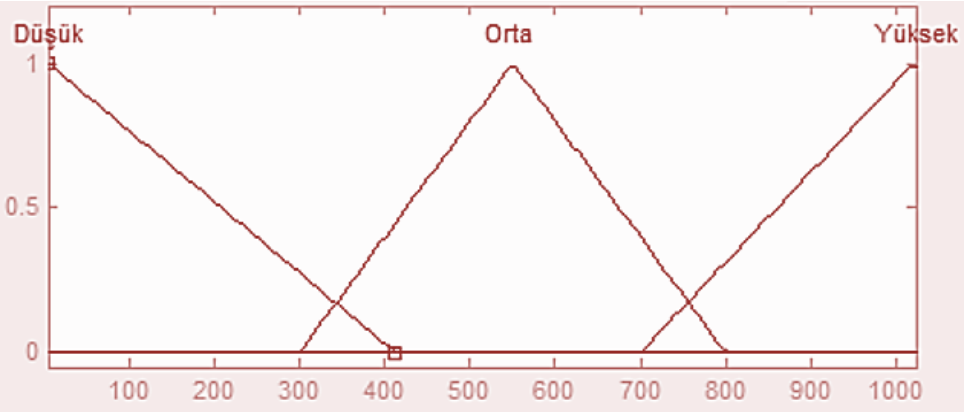
Çizelge 5.5. Panel akımının bulanık mantık ifadesinin belirlenmesi

DÜŞÜK	ORTA	YÜKSEK
Panel akımı < 0,5 ve 0 <= μ (x) <= 0,57	Panel akımı > 0,3 ve Panel akımı < 1 ve 0 <= μ (x) <= 1	Panel akımı > 0,8 ve 0 <= μ (x) <= 0,57

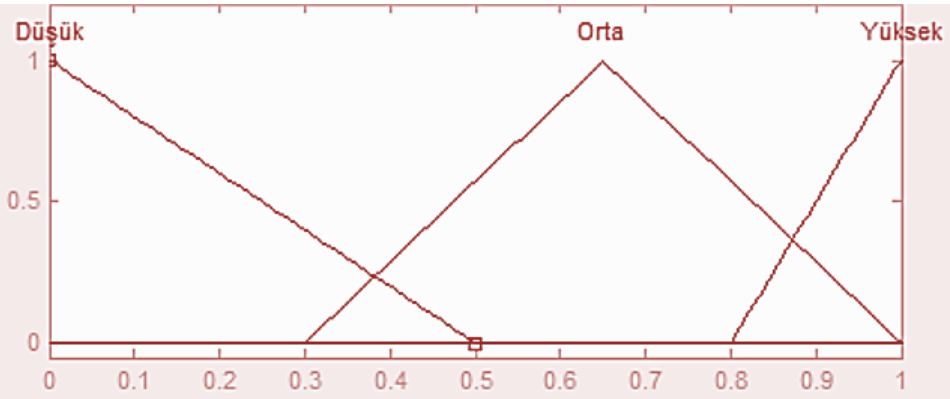
Çizelge 5.6. Motor açısının bulanık mantık ifadesinin belirlenmesi

DÜŞÜK	ORTA	YÜKSEK
Motor açısı < 40 ve 0 <= μ (x) < 0,5	Motor açısı > 30 ve Motor açısı < 70 ve 0 <= μ (x) <= 1	Motor açısı > 60 ve 0 <= μ (x) <= 0,5

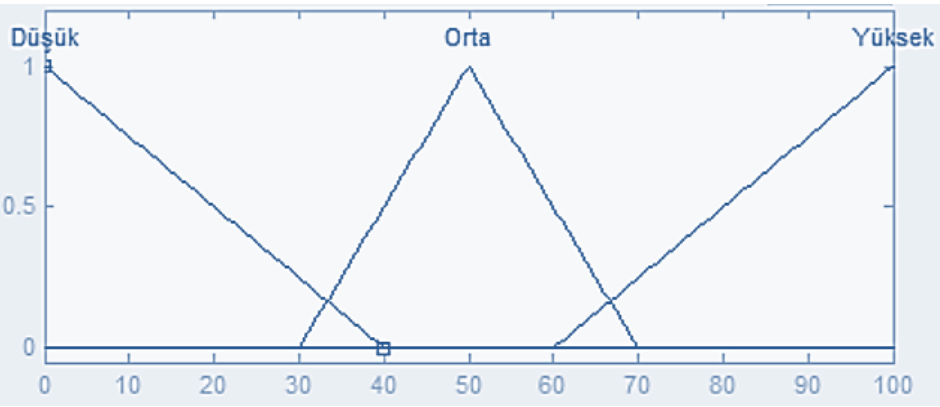
Sistemin giriş ve çıkış değerlerinin dilsel ifadelerine ve aralık değerlerine göre belirlenmiş olan; sistemde giriş verisi durumundaki ışık şiddetti, güneş enerjisinden elden edilen panel akımı ve sistemde çıkış olarak kullanılan motor açısı bilgileri için hesaplanan üyelik fonksiyonu sırasıyla Şekil 5.3, Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'te verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminde bulunan girişlerin ve çıkışın üyelik fonksiyonları üçgen üyelik fonksiyonu kullanarak belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Işık şiddetinin üyelik fonksiyonu



Şekil 5.2. Panel akımının üyelik fonksiyonu



Şekil 5.3. Motor açısının üyelik fonksiyonu

5.3. Sistemin Kural Tabanı

Bulanık mantık sisteminde sistemin başarısı kural tablosu ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla kural tablosunun çok iyi şekilde hazırlanması gerekmektedir. Bu işlem sistemin etkinliği için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Kural tablosu özetle şu şeklide belirlenmektedir. Önce tasarlanan bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminin giriş değerleri analiz edilir ve sonra bu giriş değerlerine göre çıkış değerleri üretilir. Üretilen çıkış değerlerine göre de bir kural tablosu oluşturulmaktadır. Tasarlanan güneş takip sisteminin iki girişli ve bir çıkışlı kural tablosu bulunmaktadır. Sistemin kural tablosu Çizelge 5.7'te verilmiştir.

Çizelge 5.7. Sistemin kural tablosu

Işık / **Akım**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**
Düşük	*Düşük*	*Orta*	*Düşük*
Orta	*Yüksek*	*Orta*	*Yüksek*
Yüksek	*Yüksek*	*Orta*	*Düşük*

Belirlenen kural tablosuna göre;

- **(Durum 1)** Işık düşük gelirse akımda düşük gelirse motor açısı düşük,
- **(Durum 2)** Işık düşük gelirse akımda orta gelirse motor açısı orta,
- **(Durum 3)** Işık düşük gelirse akımda yüksek gelirse motor açısı düşük,
- **(Durum 4)** Işık orta gelirse akımda düşük gelirse motor açısı yüksek,
- **(Durum 5)** Işık orta gelirse akımda orta gelirse motor açısı orta,
- **(Durum 6)** Işık orta gelirse akımda yüksek gelirse motor açısı yüksek,
- **(Durum 7)** Işık yüksek gelirse akımda düşük gelirse motor açısı yüksek,
- **(Durum 8)** Işık yüksek gelirse akımda orta gelirse motor açısı orta,
- **(Durum 9)** Işık yüksek gelirse akımda yüksek gelirse motor açısı düşük

olmaktadır.

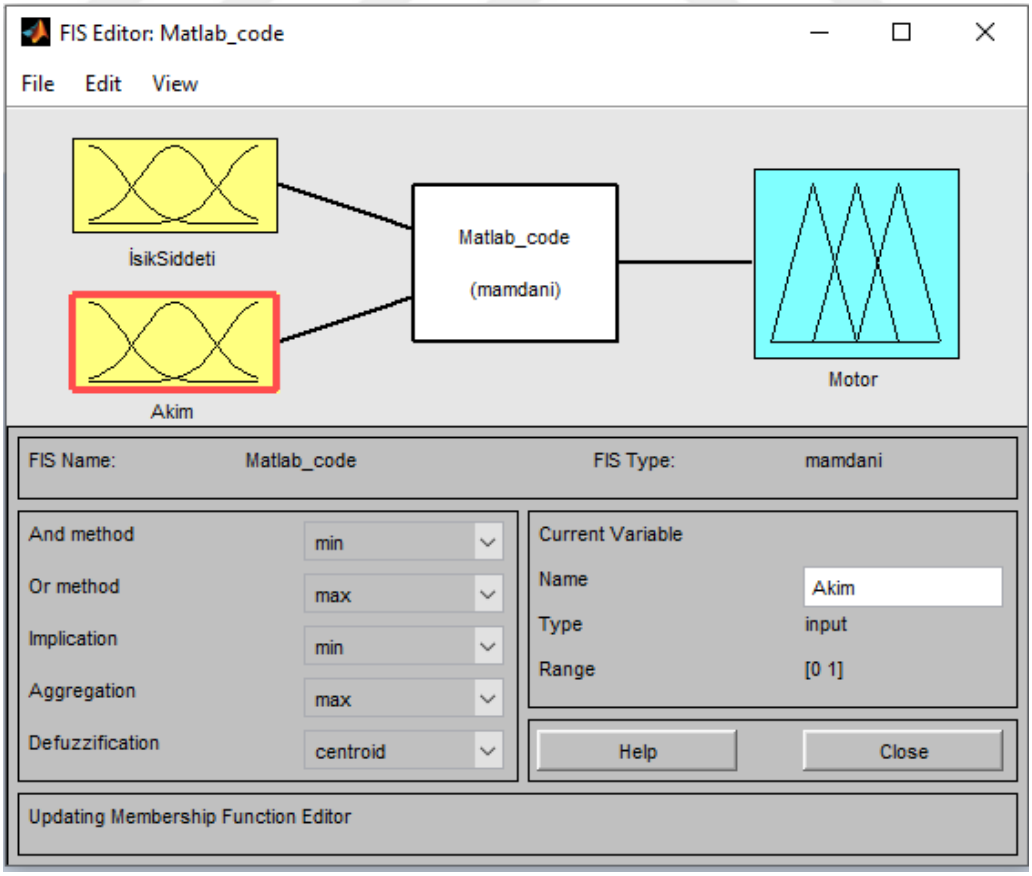
5.4. Sistemde Kullanılan Durulaştırma Yöntemi

Durulaştırma işlemi, dilsel ifadeli değerlerin gerçek sayısal değerlere dönüştürülme işlemidir. Bu dönüşüm işleminde günümüze kadar birçok yöntem geliştirilmiştir, tasarlanan bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminde “ortalama en büyük üyelik” yöntemi kullanılmıştır.

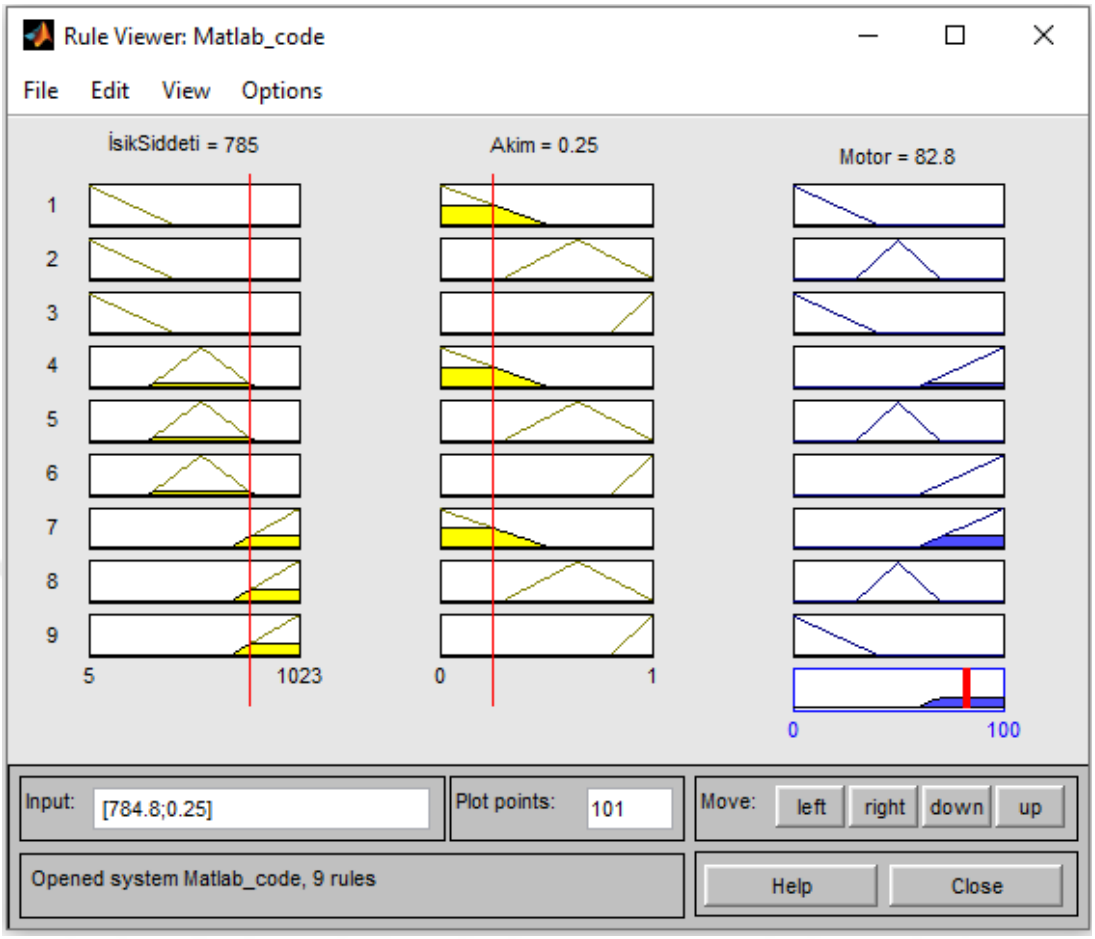
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, elektrik enerjisi üretmek üzere geliştirilen güneş panellerinin verimliliğinin artırılması için, güneşin hareketinin yatay ve dikey olmak üzere iki eksende takip edilmesini sağlayacak bir sistem tasarlanmıştır. Sistemin iki eksenli hareket ve güneşi takip yeteneği bulanık mantık kontrolo kullanılarak geliştirilmiştir. Bu sistemde, iki eksende kullanılan motorların açılarının güneşin konumunu izlemesi için, LDR ışık sensörlerinden ve panelin mevcut akım değerlerinden gelen veriler bulanık mantık kurallarına tabi tutularak ayarlanmıştır. Sistemde mikrodenetleyici olarak bilimsel araştırmalarda yoğun olarak tercih edilen Raspberry Pi kullanılmıştır.

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi tasarlanan bulanık mantık tabanlı iki eksenli güneş takip sisteminde iki giriş (güneş ışığı şiddeti ve panel akımı) ve bir çıkış (hareket motoru) bulunmaktadır. İki eksenli güneş takip sisteminde kullanılan bulanık kuralları için min-max ve durulaştırma işleminde ise ağırlık merkezi işlemi kullanılmıştır. Sistemin etkin olarak çalışması amacıyla belirlenen kurallar doğrultusunda yapılan hesaplamalara ait bir simülasyon örneği Şekil 6.2'de gösterilmiştir.Raspbery pi icin peliştirilr program kodları EK-1 'de verilmştir



Şekil 6.1. Panel Akımının üyelik fonksiyonu



Şekil 6.2. Örnek simülasyon görüntüsü

Şekil 6.2'de görüldüğü üzere ışık şiddeti değeri 785 birim ve panel akım değeri 0.25 birim iken çıkış olan motor 82.8 birim değerinde sağa, sola, yukarıya veya aşağıya dönecektir. Motorun sağa, sola, yukarıya veya aşağıya dönme kararı, ışığın şiddetine yani sistemde güneş paneli üzerinde bulunan dört adet ışık sensorlerinden gelen bilgiye bağlıdır. Burada İşik şiddetı değeri ADC 'nin çıkışından alınan sayısal değerledir

Örnek simülasyonda üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak yapılan bulanıklaştırma hesaplamaları şu şeklidedir:

- Gelen ışık şiddetinin değeri 785'dir. Üçgen üyelik fonksiyonuna göre;
  ışık şiddeti >700 ve buna göre;
  $\mu_A(x) = \frac{c-x}{c-b}, \quad b \leq x \leq c$
  olduğu için (800-785) / (800-550) = 0,06 değeri bulunmuştur (Bkz. Şekil 3.2. ve Şekil 5.3.).

Bulunan bu değer, ışık şiddetinin bulanık mantık tablosu olan Çizelge 5.4. incelendiğinde ORTA ve YÜKSEK ifadelerine karşılık gelmekte ve bu da kural tablosunda 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 numaralı mantık kurallarının ateşlenmesi anlamına gelmektedir (Bkz. Çizelge 5.7.).

- Panelin ürettiği akım değeri 0,25'dir. Üçgen üyelik fonksiyonunda;

  Panel akımı < 0,3 ve buna göre;

  $\mu_A(x) = 0, \quad x < a \; veya \; x > c$

  olduğu için "0" değeri bulunmuştur (Bkz. Şekil 3.2. ve Şekil 5.4.).

Bulunan bu değer, panel akımının bulanık mantık tablosu olan Çizelge 5.5. incelendiğinde DÜŞÜK ifadesine karşılık gelmekte ve bu da kural tablosunda 1, 4 ve 7 numaralı mantık kurallarının ateşlenmesine neden olmaktadır (Bkz. Çizelge 5.7.).

- Motor açı değeri 82,8'dir. Üçgen üyelik fonksiyonuna göre;

  motor açısı > 70 ve buna göre;

  $\mu_A(x) = 0, \quad x < a \; veya \; x > c$

  olduğu için "0" değeri bulunmuştur (Bkz. Şekil 3.2. ve Şekil 5.5.).

Bulunan bu değer, motor açısının bulanık mantık tablosu olan Çizelge 5.6. incelendiğinde YÜKSEK ifadesine karşılık gelmekte ve bu da kural tablosunda, 4, 6 ve 7 numaralı kuralların ateşlenmesi anlamına gelmektedir (Bkz. Çizelge 5.7.).

Sonuçta ise, sistemin kural tablosu olan Çizelge 5.7.'deki koşul durumları incelendiğinde, ışık şiddetinin ORTA veya YÜKSEK, panel akımının da DÜŞÜK olduğu motor açısının YÜKSEK olduğu ***7 numaralı durumun***, bulanık mantık koşulunu sağladığı belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca, tasarlanan bulanık mantık tabanlı iki eksenli güneş takip sisteminin performansını değerlendirmek için sabit panel ile karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma işlemi, Konya'da açık bir arazide aynı şartlar altında yapılmıştır. Tasarlanan güneş takip sisteminde kullanılan panel 9 volt ve 1 amper enerji üretme kapasitesine sahiptir. Sabit panel Konya ili konumuna göre güney 26 derecede bir gün

boyunca çalıştırılmıştır. Bir gün boyunca tasarlanan bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminden ve sabit sistem panelden Gerilm ve akım değerleri gece saat 12:00'den itibaren 10 dakika aralıklarla alınmıştır. İki farklı sistemden alınan panelin Gerilm ve akım değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Bulanık mantık tabanlı ve sabit sistemlerinden elde edilen Gerilm ve Akım değerleri

Saat	Bulanık mantık tabanlı sistem			Sabit sistem		
	Gerilm(v)	Akım(A)	Enerji (W)	Volt(v)	Akım(A)	Enerji(W)
00:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
00:10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
00:20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
00:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
00:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
00:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01:10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01:20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
01:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
02:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
02:10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
02:20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
02:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
02:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
02:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
03:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
03:10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
03:20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
03:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
03:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
03:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
04:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
04:10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
04:20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
04:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
04:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
04:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05:10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05:20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

05:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
06:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
06:10	2,7884	0,0780	0,2175	0,0000	0,0000	0,0000
06:20	2,7884	0,0780	0,2175	0,0000	0,0000	0,0000
06:30	3,4972	0,1930	0,6750	2,3145	0,0573	0,1326
06:40	3,4972	0,2960	1,0352	3,4972	0,1462	0,5113
06:50	3,7016	0,2960	1,0957	3,7016	0,1952	0,7226
07:00	4,0489	0,5072	2,0536	4,0489	0,4802	1,9443
07:10	4,0489	0,5072	2,0536	4,0489	0,4802	1,9443
07:20	5,9350	0,5196	3,0838	4,0489	0,4802	1,9443
07:30	5,9350	0,5196	3,0838	4,0489	0,4802	1,9443
07:40	5,9350	0,5196	3,0838	4,5148	0,4802	2,1680
07:50	6,8038	0,5361	3,6475	5,0197	0,5083	2,5515
08:00	7,2004	0,6790	4,8891	5,0197	0,5083	2,5515
08:10	7,5096	0,6790	5,0990	5,0197	0,5083	2,5515
08:20	7,5096	0,6790	5,0990	5,9350	0,5083	3,0168
08:30	8,3583	0,6790	5,6753	5,9350	0,5083	3,0168
08:40	8,3583	0,7970	6,6616	6,4514	0,5375	3,4676
08:50	8,3583	0,7970	6,6616	6,8038	0,5396	3,6713
09:00	8,8166	0,7970	7,0268	6,8038	0,5396	3,6713
09:10	8,8166	0,7970	7,0268	6,8038	0,5396	3,6713
09:20	8,8166	0,8980	7,9173	6,8038	0,5396	3,6713
09:30	8,8166	0,8980	7,9173	7,5652	0,6790	5,1368
09:40	8,8166	0,9572	8,4392	7,5652	0,6790	5,1368
09:50	8,8166	0,9572	8,4392	7,5652	0,6790	5,1368
10:00	8,8166	0,9572	8,4392	7,5652	0,6790	5,1368
10:10	8,8166	0,9572	8,4392	7,5652	0,6790	5,1368
10:20	8,8166	0,9572	8,4392	7,5652	0,6790	5,1368
10:30	8,8166	0,9572	8,4392	7,5652	0,6790	5,1368
10:40	8,8166	0,9572	8,4392	7,5652	0,6790	5,1368
10:50	8,8166	0,9572	8,4392	8,3583	0,7970	6,6616
11:00	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
11:10	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
11:20	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
11:30	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
11:40	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
11:50	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
12:00	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
12:10	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
12:20	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
12:30	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
12:40	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
12:50	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
13:00	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
13:10	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
13:20	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392

13:30	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
13:40	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
13:50	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
14:00	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
14:10	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
14:20	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
14:30	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
14:40	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
14:50	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
15:00	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
15:10	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
15:20	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
15:30	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
15:40	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
15:50	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
16:00	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
16:10	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
16:20	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
16:30	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
16:40	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
16:50	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
17:00	8,8166	0,9572	8,4392	8,8166	0,9572	8,4392
17:10	8,8166	0,9572	8,4392	6,4907	0,5790	3,7581
17:20	8,8166	0,9572	8,4392	6,4907	0,5790	3,7581
17:30	8,8166	0,9572	8,4392	6,4907	0,5790	3,7581
17:40	8,8166	0,9572	8,4392	6,4907	0,3969	2,5762
17:50	8,8166	0,9572	8,4392	6,4907	0,3969	2,5762
18:00	8,8166	0,9572	8,4392	5,5831	0,3061	1,7090
18:10	8,8166	0,9572	8,4392	5,5831	0,3061	1,7090
18:20	8,8166	0,9572	8,4392	5,3888	0,3061	1,6495
18:30	8,8166	0,9572	8,4392	4,3942	0,2380	1,0458
18:40	8,8166	0,9572	8,4392	4,3942	0,2380	1,0458
18:50	7,6240	0,9572	7,2977	4,0950	0,2380	0,9746
19:00	7,6240	0,9572	7,2977	3,2900	0,1952	0,6422
19:10	7,6240	0,7630	5,8171	2,8181	0,1952	0,5501
19:20	7,6240	0,7630	5,8171	2,8181	0,0573	0,1615
19:30	6,8038	0,5630	3,8305	2,8181	0,0573	0,1615
19:40	5,0494	0,5382	2,7176	2,8181	0,0573	0,1615
19:50	5,0494	0,5382	2,7176	1,1483	0,0381	0,0438
20:00	5,0494	0,5204	2,6277	1,1483	0,0381	0,0438
20:10	5,0494	0,5204	2,6277	1,0534	0,0381	0,0401
20:20	5,0494	0,5204	2,6277	1,0534	0,0381	0,0401
20:30	3,5870	0,5204	1,8667	0,3145	0,0292	0,0092
20:40	3,5870	0,1050	0,3766	0,3145	0,0292	0,0092
20:50	1,5922	0,1050	0,1672	0,3145	0,0292	0,0092
21:00	0,4202	0,0590	0,0248	0,0000	0,0000	0,0000

21:10	0,4202	0,0590	0,0248	0,0000	0,0000	0,0000
21:20	0,4202	0,0590	0,0248	0,0000	0,0000	0,0000
21:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
21:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
21:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22:10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22:20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23:00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23:10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23:20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23:40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23:50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Çizelge 6.1’de bulunan enerji değerleri panelden elde edilen volt ve akım değerlerinin çarpımı ile elde edilmiştir. Elde edilen enerji değerleri sabah 07:10 ile akşam 20:30 arasında değişiklik göstermektedir. İki farklı güneş panel sisteminden elde edilen bu değişiklikler analiz edilerek aralıklarının ortalaması hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında tasarlanan bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminin, sabah saat 8:00’den itibaren akşam saat 19:20’ye kadar çok iyi bir şeklide güneşi takip ettiği ve elde edilen enerji değeri çok daha verimli olduğu görülmektedir. Sabit güneş panel sistemi ise sabah 10:00 ile akşam 17:00 arası güneşten iyi ışınım aldığı tespit edilmiştir. İki sistemin saat farkları hesaplandığında tasarlanan bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminde panelin yaklaşık 9 saat ve sabit sistemde ise panelin yaklaşık 7 saat güneşten enerji aldığı görülmüştür.

Bunlara ek olarak bulanık tabanlı güneş takip sisteminden ve sabit sistemden elde edilen enerji ortalaması ise sırasıyla 0,8612 W ve 0,6609 W olmuştur. Ortalama açısından iki sistem incelendiğinde tasarlanan güneş takip sistemi 0,2003 W fark ile sabit güneş panel sistemini geçmiştir. Tüm sonuçlara bakıldığında tasarlanan bulanık mantık tabanlı güneş takip sisteminin enerji üretimi açısından sabit sisteme göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, Raspberry PI 3 b+ kullanarak bulanık mantık tabanlı iki eksenli bir güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan iki eksenli güneş takip sisteminde dört adet ışık sensörü (LDR LM393), iki adet servo motor ve Raspberry PI 3 b+ kullanılmıştır. Güneşin yönünü tespit etmek için LDR ışık sensörleri panelin dört tarafına yerleştirilmiştir. Servo motorlar vasıtasıyla x-ekseni ve y-ekseni yönlerinde paneli hareket ettirmektedir. Işık sensörlerinden ve güneş panelinden gelen ışık şiddetti ve akım değerlerine göre bulanık mantık kontrol sistemi çıkış üretmektedir. Bu çıkış, x-ekseni ve y-ekseni servo motorlarının ne kadar ve hangi tarafa döneceğine karar vermektedir. Tasarlanan sistem ucuz, yapılması kolay ve statik güneş paneline göre oldukça iyi sonuçlar gösteren, kolay uygulanabilir avantajlara sahiptir. Bulutlu günler ve gece vakitleri haricinde mümkün olduğu kadar maksimum güneş enerjisini toplamaktadır. Güneş ışınımı olmadığı durumlarda kontrölör durumu olarak kontrol mekanizesinde bulunan motorların çalışmalarını durdurabilir, böylelikle enerji tasarrufu sağlanabilir.

Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Güneşten gelen ışınların elektrik enerjisine dönüştürülmesi amacıyla depolanan enerji miktarı panelin kalitesine, güneş ışığının yoğunluğuna ve kullanılan teknolojiye bağlı olmaktadır.

Güneş enerjisi sistemini teknolojik açıdan iyileştirmek zor olduğu için, elektrik enerjisini üreten panellerin güneşle temasını iyileştirmek ve optimize etmek gerekmektedir.

Panel, güneş ışınımı panelin üzerine dikey olarak düştüğünde en yüksek güneş yoğunluğunu sağlamaktadır. Güneş paneli statik (sabit) durumdayken, güneşten günün kısa bir süresi içinde güneşten tam enerji aldığı ve dinamik güneş paneli sistemlerinden elde edilen enerji miktarı statik sistemlere göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Çalışmada elde edilen deneysel sonuçlara göre panelin gün doğumundan gün batımına kadar (bulutlu günler ve geceler hariç) verimli şekilde çalıştığı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, bulanık mantık sisteminin güneş enerjisi yokken motor çalışmasını durdurduğu ve bu sayede enerji tasarrufu sağlandığı, Rapsberry Pi tabanlı sistemin meteorolojik değişikliklerle ilgili bir arıza vb. değişen koşullarda dış ortamı dikkate alabileceği ve böylece gereksiz enerji kaybının azaltacağı görülmüştür.

Sistemin geleneksel sensör güneş takip sistemlerine kıyasla, güneş açısını daha kolay takip edebildiği, hassasiyet ve hata oranlarını azalttığı tespit edilmiştir.

7.2. Öneriler

Günümüz koşullarında geleceğin enerji üretim teknolojilerinden biri olması beklenen fotovoltaik teknolojilere yönelik de araştırmaların yapılması ile güneş enerjisinden elektrik üretimi teknolojilerinde atılım sağlanabilecektir. Özellikle büyük çaplı tesislere yönelik araştırmalar için endüstriyel kuruluşlarla koordineli çalışılması ve gereken desteğin bu anlamda sağlanması önemli olmaktadır. Ancak hali hazırda bir teşvik mekanizması olmadan güneş enerjisi elde edilmesine yönelik çalışmaların küçük çaplı kaldığı görülmektedir. İlerde yapılacak araştırmalarda bu tez çalışma konusunun daha büyük sistemlere uygulanması etkin ve verimli sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır.

EK-1

Programn kodları

```
import math
import numpy
import collections
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.animation as animation
from matplotlib import style

style.use('seaborn-darkgrid')
#ser = serial.Serial("/dev/ttyACM0", 9600)
#print plt.style.available


class Membership(object):
    levels = []

    def triangle(self, a, b, c, interval):
        Y = {}
        y = 0.0
        intervals = numpy.arange(a, c+interval, interval)
        for x in intervals:
            x = round(x, 3)
            if(x<=b):
                if(a!=b):
                    y = float((x-a)/(b-a))
                else:
                    y = 1
            else:
                y = float((c-x)/(c-b))
            y = round(y, 3)
            Y[x] = y
        return Y
```

```
    #print (Y)

def trapesoid(self, a, b, c, d, interval):
    Y = {}
    intervals = numpy.arange(a, d+interval, interval)
    y = 0.0
    #print intervals
    for x in intervals:
        x = round(x, 3)
        if(x<=b):
            if(a!=b):
                y = float((x-a)/(b-a))
            else:
                y = 1
        elif(x>b and x<=c):
            y = 1
        else:
            y = float((d-x)/(d-c))
        #print y
        y = round(y, 3)
        #print y
        Y[x] = y
    return Y
    #print (Y)

def Gaussian(self, a, b, c, o):
    Y = {}
    y = 0.0
    for x in numpy.arange(a, b+1.0):
        power = float((x-c)/o)
        y = math.exp(-0.5*math.pow(power, 2))
        y = round(y, 3)
        Y[x] = y
    return Y
```

```
        def __init__(self):
            self.levels = []

    sunlight = Membership()
    solar_cell = Membership()
    motor = Membership()

    def fuzzify(sunlight_value, solar_cell_value, sunlight, solar_cell):
        temp = {}
        temp_list = []
        if sunlight_value in sunlight.levels[0]: # if degree of temperature is in the first set of temperature then add it
            temp["low"] = sunlight.levels[0][sunlight_value] # with its value to the fuzzy membership  list
        if sunlight_value in sunlight.levels[1]: # optimum
            temp["middle"] = sunlight.levels[1][sunlight_value]
        if sunlight_value in sunlight.levels[2]:
            temp["large"] = sunlight.levels[2][sunlight_value]
        temp_list.append(temp)

        temp = {}
        if solar_cell_value in solar_cell.levels[0]:
            temp["low"] = solar_cell.levels[0][solar_cell_value]
        if solar_cell_value in solar_cell.levels[1]:
            temp["middle"] = solar_cell.levels[1][solar_cell_value]
        if solar_cell_value in solar_cell.levels[2]:
            temp["large"] = solar_cell.levels[2][solar_cell_value]
        temp_list.append(temp)

        #print (temp_list)
        return temp_list

    def ruleEvaluate(fuzzy_set):#motor_output
        motor_output = {'stop': [], 'start': []}
```

```
        if "low" in fuzzy_set[0].keys():
            motor_output['stop'].append(fuzzy_set[0]["low"])


        if "middle" in fuzzy_set[0].keys():
            if "low" in fuzzy_set[1].keys():
                motor_output['start'].append(min(fuzzy_set[1]["low"],
fuzzy_set[0]["middle"]))
            if "middle" in fuzzy_set[1].keys():
                motor_output['start'].append(min(fuzzy_set[1]["middle"],
fuzzy_set[0]["middle"]))
            if "large" in fuzzy_set[1].keys():
                motor_output['stop'].append(min(fuzzy_set[1]["large"],
fuzzy_set[0]["middle"]))

        if "large" in fuzzy_set[0].keys():
            print('yes')
            if "low" in fuzzy_set[1].keys():
                motor_output['start'].append(min(fuzzy_set[1]["low"],
fuzzy_set[0]["large"]))
            if "middle" in fuzzy_set[1].keys():
                motor_output['start'].append(min(fuzzy_set[1]["middle"],
fuzzy_set[0]["large"]))
            if "large" in fuzzy_set[1].keys():
                motor_output['stop'].append(min(fuzzy_set[1]["large"],
fuzzy_set[0]["large"]))

        print(" first " + str(motor_output))
        for key in motor_output.keys():
            if motor_output[key]:
                temp = max(motor_output[key])
                motor_output[key] = temp
        return motor_output
```

8. KAYNAKLAR

Abdallah, S. ve Nijmeh, S., 2004, Two axes sun tracking system with PLC control, *Energy conversion and management*, 45 (11-12), 1931-1939.

Ali, U. S., 2016, Z-source DC-DC converter with fuzzy logic MPPT control for photovoltaic applications, *Energy Procedia*, 90, 163-170.

Allahverdi, N., 2002, Uzman sistemler: bir yapay zeka uygulaması, Atlas Yayın Dağıtım, p.

ALmukhtar, A. H., 2013, Design of phase compensation for solar panel systems for tracking sun, *Energy Procedia*, 36, 9-23.

Avcu, M., 2018, Raspberry Pi 3 İle Güneş Takip Sistemi (RPIGTS), *İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.

Badescu, V., 1998, Different strategies for maximum solar radiation collection on Mars surface, *Acta Astronautica*, 43 (7-8), 409-421.

Başçoşkun, B., 2018, Açık ve Kapalı Döngü Güneş Takip Algoritmalarının Uzaktan Kontrollü (İnternet Tabanlı) Gerçek Zamanlı Güneş Takip Sistemleri Üzerinde Karşılaştırılması.

Bouchafaa, F., Hamzaoui, I. ve Hadjammar, A., 2011, Fuzzy Logic Control for the tracking of maximum power point of a PV system, *Energy Procedia*, 6, 633-642.

Bravo, R. ve Friedrich, D., 2018, Integration of energy storage with hybrid solar power plants, *Energy Procedia*, 151, 182-186.

Darhmaoui, H. ve Lahjouji, D., 2013, Latitude based model for tilt angle optimization for solar collectors in the Mediterranean region, *Energy Procedia*, 42, 426-435.

El Khateb, A. H., Rahim, N. A. ve Selvaraj, J., 2013, Fuzzy logic control approach of a maximum power point employing SEPIC converter for standalone photovoltaic system, *Procedia Environmental Sciences*, 17, 529-536.

Erdal, C., 2008, Bulanık Mantık Ve Firmaların Başarı Kriterlerinin Tanımlanarak Bulanık Mantık İle Ölçülmesinin Bir Uygulaması, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.

Fareed, A. A., 2018, A Study On The Improvement Of Solar Pv Panel Effıcıency And Power Output, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep*.

Gao, Y., Dong, J., Isabella, O., Santbergen, R., Tan, H., Zeman, M. ve Zhang, G., 2019, Modeling and analyses of energy performances of photovoltaic greenhouses with sun-tracking functionality, *Applied energy*, 233, 424-442.

Ghassoul, M., 2018, Single axis automatic tracking system based on PILOT scheme to control the solar panel to optimize solar energy extraction, *Energy Reports*, 4, 520-527.

Hidalgo, A., Villacrés, L., Hechavarría, R. ve Moya, D., 2017, Proposed integration of a photovoltaic solar energy system and energy efficient technologies in the lighting system of the UTA-Ecuador, *Energy Procedia*, 134, 296-305.

Ho, M.-C., Lai, A.-C., Chong, K.-K., Tan, M.-H., Lim, B.-H., King, Y.-J. ve Lee, J.-V., 2017, Design and Construction of Prototype Mobile Sun-Tracking System for Concentrator Photovoltaic System, *Energy Procedia*, 142, 736-742.

http://www.mekatronikkulubu.org/yazı/bulanık_mantık_nedir, 18.06.2008.

http://www.motioncontrolguide.com/learn/tech-tips/gearboxes-and-gears/subcategory, 30.12.2019.

https://maker.robotistan.com/raspberry-pi-dersleri-0-raspberry-piyi-taniyalim, 03.12.2019.

https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir, 03.12.2019,

https://teknolojiprojeleri.com/elektronik/servo-motor-nedir-nasil-calisir-ozellikleri-nelerdir, 30.12.2019.

https://www.robitshop.com/urun/raspberry-pi-3-model-b, 16.12.2019.

Huang, C.-H., Pan, H.-Y. ve Lin, K.-C., 2016, Development of intelligent fuzzy controller for a two-axis solar tracking system, *Applied Sciences*, 6 (5), 130.

Kandel, A., 1986, Fuzzy mathematical techniques with applications. Addison-Wesley Publishing Company, Boston, 325pp.

Kiyak, E. ve Gol, G., 2016, A comparison of fuzzy logic and PID controller for a single-axis solar tracking system, *Renewables: Wind, Water, and Solar*, 3 (1), 7.

Kosko, B. ve Toms, M., 1993, Fuzzy thinking: The new science of fuzzy logic, Hyperion New York, p.

Lee, C.-Y., Chou, P.-C., Chiang, C.-M. ve Lin, C.-F., 2009, Sun tracking systems: a review, *Sensors*, 9 (5), 3875-3890.

Mastar, E., 2011, Güneş Panelleri İçin Güneş Takip Mekanizmasının Tasarımı, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.

Menak, R., 2018, Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi Tasarımı Ve Modellemesi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Siirt.*

Mendecka, B. ve Lombardi, L., 2018, Environmental evaluation of Waste to Energy plant coupled with concentrated solar energy, *Energy Procedia*, 148, 162-169.

Mohanraj, K. ve Bharathnarayanan, S., 2017, Three Level SEPIC For Hybrid Wind-Solar Energy Systems, *Energy Procedia*, 117, 120-127.

Munakator, T. ve Jani, Y., 1994, Fuzzy Systems, On Overwiev, *Communications of the ACN*, Vol 37.

Nuhoğlu, S., 2017, Tek Eksen Güneş Takipli Fotovoltaik Sistem Tasarımı Ve Konya İçin Örnek Bir Uygulama, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya*.

Orhun, M., 2013, Farklı güneş panellerinin adaptif bir güneş takip sistemi üzerinde yıllık performanslarının karşılaştırılması ve güç tahmini.

Patyra, M. J. ve Mlynek, D. J., 2012, Fuzzy logic: implementation and applications, Springer Science & Business Media, p. 23-68.

Pehlivan, I., 2001, Bulanık Mantık Kontrolorler İle Klasik PID Kontrolorlerin Karşılaştırılması Ve Bir Bulanık Mantık Kontrolor Tasarımı, *Sakarya Üniversitesi*.

Reda, I. ve Andreas, A., 2004, Solar position algorithm for solar radiation applications, *Solar energy*, 76 (5), 577-589.

Si, P., Lv, Y., Liu, X., Rong, X. ve Feng, Y., 2016, An optimization model applied to active solar energy system for buildings in cold plateau area, *Energy Procedia*, 88, 443-449.

Sivaneasan, B., Yu, C. ve Goh, K., 2017, Solar forecasting using ANN with fuzzy logic pre-processing, *Energy Procedia*, 143, 727-732.

Su, B., Wang, Z., Han, W. ve Jin, H., 2017, Using solar energy to improve the energy performance of tri-generation systems for sewage treatment plants, *Energy Procedia*, 142, 873-879.

Şen, Z., 2004, Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri, Su Vakfı, p. 56-100.

Tripanagnostopoulos, Y., 2014, New designs of building integrated solar energy systems, *Energy Procedia*, 57, 2186-2194.

Uslu, Ü. A., 2012, Maksimum Güç Noktası Takibi Algoritmalarını Kullanarak Mikrodenetleyici Tabanlı İki Eksenli Otomatik Güneş Takip Sistemi Tasarımı, *Mersin Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin*.

Uzunok, S., 2007, Fotovoltaik Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya*.

Vadiee, A. ve Martin, V., 2014a, Solar Blind System-An Innovative Method for Solar Energy Utilization in the Closed Greenhouse Concept, *Energy Procedia*, 57, 2023-2032.

Vadiee, A. ve Martin, V., 2014b, Solar Blind System- Solar Energy Utilization and Climate Mitigation in Glassed Buildings, *Energy Procedia*, 57, 2023-2032.

Wang, L.-X., 1993, Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems, *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 1 (2), 146-155.

Yakup, M. A. b. H. M. ve Malik, A., 2001, Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam, *Renewable Energy*, 24 (2), 223-234.

Yılmaz, M., 2013, Güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ve optimum verimin belirlenmesi.

Zainal, N. A., Yusoff, A. R. ve Apen, A., 2019, Integrated cooling systems and maximum power point tracking of fuzzy logic controller for improving photovoltaic performances, *Measurement*, 131, 100-108.

Zakariah, A., Jamian, J. J. ve Yunus, M. A. M., 2015, Dual-axis solar tracking system based on fuzzy logic control and Light Dependent Resistors as feedback path elements, *2015 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD)*, 139-144.

Zhang, D., Mu, S., Chan, C. ve Zhou, G. Y., 2018, Optimization of renewable energy penetration in regional energy system, *Energy Procedia*, 152, 922-927.

Zimmermann, H.-J., 2012, Fuzzy sets, decision making, and expert systems, Springer Science & Business Media, p. 45-90.

9. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Adnan Mohammed Anwer SHAKARJI
Uyruğu	**:**	Iraq Türkmenı
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Kerkük 25.10.1982
Telefon	**:**	05530720999
e-mail	**:**	Kirkuk_adnan@yahoo.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	**:**	Kerkük Erkekler Lisesi	2001
Üniversite	**:**	Kirkuk-College Of Teohnology	2006
Yüksek Lisans	**:**	Selçuk Üniversitesi	
Doktora	**:**		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
12	Su Kaynakları Bakanlığı	mühendis

UZMANLIK ALANI : Elektrik Elektronik Müh- Kontrol

YABANCI DİLLER : Türkçe **,** Arapça **,** İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

1- A.M.A. Shakarji Cunkas M. “Bıaxıal Fuzzy Logıc Based Solar Trackıng System”, International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'19), 236-239, Konya, Turkey, October 25-27, 2019.