



T.C.  
NECMETTİN ERBAKANÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**FOTOVOLTAİK PANEL YÜZEY TEMİZLİĞİ İÇİN  
AKILLI SİSTEM TASARIMI**

**Abdurrahim ERAT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2018  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Abdurrahim Erat tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Panel Yüzey Temizliği İçin Akıllı Sistem Tasarımı” adlı tez çalışması 01/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANSTEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa YAĞCI

.....

#### Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Mümtaz MUTLUER

.....

#### Üye

Dr. Öğretim Üyesi Bayram AKDEMİR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Abdurrahim ERAT

01.08.2018

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## FOTOVOLTAİK PANEL YÜZEY TEMİZLİĞİ İÇİN AKILLI SİSTEM TASARIMI

**Abdurrahim ERAT**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mümtaz MUTLUER**

**2018, 152 Sayfa**

**Jüri**

**Dr. Öğretim Üyesi Mustafa YAĞCI  
Dr. Öğretim Üyesi Mümtaz MUTLUER  
Dr. Öğretim Üyesi Bayram AKDEMİR**

Isı ve ışık kaynağı olarak güneş enerjisi tükenemeyen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik güneş panelleri aracılığıyla güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve bu alanda oluşturulan tasarım projeleri verim yönü üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Henüz verimlilik yönündeki çalışmalar sürekli ve kesintisiz kullanımına izin vermese de oldukça büyük bir potansiyele sahip olan güneş enerjisi, şu an birçok ülkede aktif olarak diğer yenilenebilir enerji sistemleri ile kullanılmaktadır. Güneş enerjisi üretiminde kullanılan fotovoltaik panellerin verimliliği de son derece önem arz etmektedir. Verimliliği arttırmanın yollarından bir tanesi de fotovoltaik panel yüzeylerinin, daha etkili güneş ışığı emilimi için temiz bırakılmasıdır. Bu nedenle fotovoltaik panellerin yüzey temizliği manuel olarak yapılabildiği gibi otomatik sistemler yardımıyla da yapmak mümkündür. Bu tez çalışmasında, panel yüzeylerini otomatik olarak temizleyebilecek, arduino mikrodenetleyici ve bulanık mantık tabanlı otomatik temizleme sistemi tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımın amacı, tozlanma ve panel yüzeyi kirlenmesi yüzünden meydana gelen kayıpları minimize edip maksimum düzeyde elektrik enerjisi üretimine yardımcı olmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Arduino, Bulanık Mantık, Elektrik, Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, PV Panel Verimi, Step Motor.

## **ABSTRACT**

**MS**

### **INTELLIGENT SYSTEM DESIGN FOR CLEANING PHOTOVOLTAIC PANEL SURFACE**

**Abdurrahim ERAT**

**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF NECMETTİN ERBAKAN  
UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

**Advisor: Assist.Prof.Dr. Mümtaz MUTLUER**

**2018, 152Pages**

**Jury**

**Assist.Prof. Dr. Mustafa YAĞCI  
Assist.Prof. Dr. Mümtaz MUTLUER  
Assist.Prof. Dr. Bayram AKDEMİR**

As a source of heat and light, solar energy is an inexhaustible source of renewable energy. Solar energy is transformed into electricity by means of photovoltaic solar panels, and the design projects created in this area are investigated in terms of efficiency. Although works on efficiency about continuous and uninterrupted use of solar energy is not successful enough, it has large potential which is already actively used with other renewable energy systems in many countries. The efficiency of the photovoltaic panels which are used in solar energy production is very important. One of the ways to improve efficiency is to keep the photovoltaic panel surfaces clean for more effective sunlight absorption. The surface cleaning of the photovoltaic panel can be done manually or with the help of automatic systems. In this thesis, an arduino microcontroller and fuzzy logic based automatic cleaning system which can clean surfaces of the photovoltaic panel automatically has been designed. The purpose of this design is to minimize the losses due to dusting and contamination of the panel surface and to assist in the production of maximum electrical energy.

**Keywords:** Arduino, Electricity, Fuzzy Logic, Photovoltaic, PV Panel Efficiency, Solar Energy, , Stepper Motor.

## ÖNSÖZ

Geleneksel enerji kaynaklarının kullanımı sonucu artan çevre kirliliği ve çevre kirliliğine bağlı olarak pek çok problemin artması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemini artırmıştır. Fotovoltaik güneş panelleri aracılığıyla güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve bu alanda oluşturulan tasarım projelerinin verim yönü üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Kullanılan fotovoltaik panellerin verimliliği son derece önem arz eden bir konudur. Güneş panellerinin verimlerini arttırmak için panellerin doğru bir biçimde konumlandırılması, uygun ekipmanların (inverter, ac ve dc iletkenler, şalt ekipmanları gibi.) seçilmesi, uygun iklimsel koşulların doğru bir şekilde tespiti gibi pek çok yol bulunmaktadır. Daha sağlıklı ve yüksek verim ile elektrik enerjisi elde etmek için verimliliği arttırmanın en önemli yollarından bir tanesi defotovoltaik panel yüzeylerinin, daha etkili güneş ışığı emilimi için temiz bırakılmasıdır. Güneş enerjisi santrallerinde (GES) kirlilik faktörü, fotovoltaik panellerin üzerinde toz ve toz benzeri maddelerin birikmesi olayıdır. Panel üzerinde biriken toz, güneş panelinin etkin elektrik enerjisi üretimine ciddi oranlarda etki etmektedir. Yapılan çalışmalarda fotovolatik (photovoltaic) sistemlerde tozun panel verimine en fazla etkisi olan bölgelerin az yağış alan bölgeler olduğunu göstermektedir. Az yağış alan bölgelerde toza bağlı verim kayıplarının %15 civarlarında olduğu tespit edilmiştir[1]. Bu oranda bir verim kaybının önüne geçmek için panellerin temiz bırakılması gerekmektedir. Fakat sahaların büyüklüğü ve coğrafi konumu, panel yüzeylerinin temiz bırakılmasını zorlaştırmaktadır. Fotovoltaik panellerin yüzey temizliği manuel olarak yapılabildiği gibi otomatik sistemler yardımıyla da yapmak mümkündür. Ancak manuel yüzey temizliğinde ciddi anlamda iş gücü kayıpları ve büyük ölçekli maliyetler meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında, bu tür kayıpların önüne geçmek için arduino mikrodenetleyicive bulanık mantık tabanlı,yapay zeka sistemine dayanan otomatik bir temizleme sistemi tasarlanmıştır.

Bu çalışmanın belirlenmesinde ve çalışmalarım esnasında bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz Mutluer'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yine çalışmalarım esnasında maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşime çok teşekkür ederim.

Abdurrahim ERAT



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK PİLLER.....</b>	<b>4</b>
2.1. Güneş Enerjisi.....	4
2.2. Isı Amaçlı Güneş Sistemleri .....	4
2.3. Güneş Pilleri ( Fotovoltaik Piller).....	4
2.4. Fotovoltaik Güneş Hücrelerinde Kullanılan Maddeler.....	6
2.4.1. Kristal silisyum .....	6
2.4.2. Galyum arsenit (GaAs) .....	6
2.4.3. Amorf silisyum .....	7
2.4.4. Kadmiyum tellürid (CdTe) .....	7
2.4.5. Bakır indiyum diselenid (CuInSe <sub>2</sub> ).....	7
2.4.6. Optik yoğunlaştırıcı hücreler .....	7
2.5. Fotovoltaik Teknoloji .....	8
2.5.1 Yarı iletkenlerde "N" ve "P" tipi elektron ve oyuk davranışları .....	9
2.5.1.1 "N" tipi yarı iletkenlerde eksi (-) yüklü elektronların davranışı .....	9
2.5.1.2. "P" tipi yarı iletkenlerde artı (+) yüklü oyukların hareketi .....	9
2.6. Güneş Pili Çeşitleri .....	10
2.6.1 Monokristal silisyum güneş pilleri .....	10
2.6.2 Polikristal güneş panelleri.....	12
2.6.3 Galyum arsenik güneş pilleri .....	13
2.6.4 Thin film güneş pilleri .....	13
2.6.4.1 Amorf silisyum güneş pilleri .....	14
2.6.4.2 Kadmiyum tellür (CdTe) güneş pilleri.....	15
2.6.4.3 Bakır indiyum diselenoid (CuInSe <sub>2</sub> ) güneş pilleri.....	15
2.6.4.4 Selenyum güneş pili.....	16
2.7 Güneş Pillerinin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri.....	16
2.7.1 Olumlu özellikleri .....	16
2.7.2 Olumsuz özellikleri.....	17
<b>3.GÜNEŞ PİLLERİNİN VERİMLİLİĞİ.....</b>	<b>18</b>
3.1 Verimlilik.....	18
3.2. Güneş Pillerinin Verimine Etki Eden Etkenler .....	20
3.2.1. Yüzey parametresinin etkisi.....	21
3.2.2. Spektral etki .....	21
3.2.3. Foton açısı etkisi .....	21

3.2.4. Sıcaklık etkisi.....	22
3.2.5. Güneş pili iç seri direnç etkisi.....	23
3.2.6. Fotovoltaik pilin kalınlığı .....	24
3.2.7. Fotovoltaik panel üzerindeki kirlenme .....	24
3.2.7.1. Toz etkisinin ölçülmesi .....	26
3.2.7.2. Kirlilik ölçüm sistemi için örnekler .....	28
<b>4. TASARIMDA KULLANILAN MATERYALLER .....</b>	<b>31</b>
4.1. Arduino Uno Mikrodenetleyici.....	31
4.2 Step (Adım) Motoru.....	33
4.2.1 Step motorun çalışma prensibi.....	35
4.2.2 Step motor çeşitleri .....	37
4.2.3. Adım motorlarını sürme yöntemleri .....	40
4.3 ULN2003 Step Motor Sürücü Kartı.....	41
4.4 ACS712 Akım Sensörü.....	42
4.5 TCRT 5000 Kızılötesi Sensörü.....	43
4.6 LM35 Sıcaklık Sensörü .....	44
4.7 LDR (Light Dependet Resistance) Foto Direnç .....	44
<b>5. FOTOVOLTAİK PANEL YÜZEY TEMİZLİĞİ İÇİN ARDUİNO MİKRO DENETLEYİCİ VE BULANIK MANTIK TABANLI SİSTEMİN TASARIMI... 46</b>	
5.1 Yapay Zeka .....	46
5.2. Bulanık Mantık .....	47
5.2.1 Bulanık mantığın tanımı .....	48
5.2.2 Bulanık mantığın tarihçesi .....	48
5.2.3 Bulanık mantık sistemi yapısı.....	50
5.2.4 Bulanık mantık sisteminin avantajları ve dezavantajları .....	51
5.2.5 Bulanık mantık üyelik fonksiyonları .....	52
5.3 Otomatik Temizleme Sisteminin Projesi ve Tasarımı .....	54
5.3.1. Projenin bulanık mantık tasarımı .....	54
5.3.1.1. Sıcaklık girdisinin üyelik fonksiyonları.....	55
5.3.1.2. Gölgeleme girdisinin üyelik fonksiyonları .....	56
5.3.1.3. Kirlilik girdisinin üyelik fonksiyonları .....	56
5.3.1.4. Akım girdisinin üyelik fonksiyonları.....	57
5.3.1.5 Bulanık mantık sisteminin çalışma kuralları .....	57
5.3.1.6 Panelin boştaki (yüksüz) durumuna göre sistem çıkışı.....	59
5.3.1.7 Panelin yüke bağlı durumu için sistem çıkışı .....	60
5.4. Projenin Mimari Yapısı .....	61
5.5. Sistemin Çalışma Yöntemi .....	63
<b>6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÖNERİLER..... 65</b>	
6.1. Araştırma Sonuçları .....	65
6.2. Öneriler .....	66
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>67</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>73</b>

EK-1: Projenin Yazılım Kodu .....	73
EK-2 28BYJ-48-Redüktörlü Step Motor Datasheet .....	90
EK-3 ACS712 Akım Sensörü Datasheet .....	91
EK-4 TCRT5000 Kızılötesi Sensörü Datasheet .....	106
EK-5 ULN2003 Step Motor Sürücüsü Datasheet.....	118
EK-6 LM 35 Sıcaklık Sensörü.....	126
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>138</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

H	:	Hidrojen
He	:	Helyum
°C	:	Santigrad
KWh	:	Kilowatt saat
m <sup>2</sup>	:	Metrekare
W	:	Watt
cm <sup>2</sup>	:	Santimetrekare
MW	:	Megawatt
GaAs	:	Galyum Arsenit
CdTe	:	Kadmiyum Tellürid
CuInSe <sub>2</sub>	:	Bakır İndiyum Diselenid
Si	:	Silisyum
µm	:	Mikrometre
Gr	:	Gram
A-Si	:	Amorf Silisyum
CdS	:	Kadmiyum Sülfür
Ga	:	Galyum
Ag	:	Gümüş
Se	:	Selenyum
Kw	:	Kilowatt
P <sub>m</sub>	:	Maksimum Güç
P <sub>in</sub>	:	Giriş Gücü
η	:	Verim
V <sub>ad</sub>	:	Açık Devre Gerilimi
I <sub>kd</sub>	:	Kısa Devre Akımı
R <sub>L</sub>	:	Yük Direnci
V <sub>oc</sub>	:	Açık Devre Gerilimi
I <sub>sc</sub>	:	Kısa Devre Akımı
kT/q	:	Termal Gerilim
R <sub>s</sub>	:	Seri Direnç

$A_o$	:	İdeal Diyot Faktörü
$J_o$	:	Ters Doyum Akımı Yoğunluğu
$T$	:	Sıcaklık (Kelvin)
$E_g$	:	Yasak Enerji Aralığı
$R_{sh}$	:	Şönt Direnci
$N$	:	Işığın Foton Akısı
$Ge$	:	Germanyum
$PbS$	:	Kurşun Sülfür
$PbTe$	:	Kurşun Tellür
$InSb$	:	İndiyum Antimon
$GaSb$	:	Galyum Antimon
$UV$	:	Ultraviyole
$N$	:	North (Kuzey) Kutbu
$S$	:	South (Güney) Kutbu
$M\Omega$	:	Mega Ohm
$PBSO_4$	:	Kurşun Sülfat
$Cu$	:	Bakır

## Kısaltmalar

PV	:	Photovoltaik
eV	:	Elektron Volt
$E_{yap}$	:	Yapısal Elektrik Alan
CIS	:	Bakır İndiyum Selenyum
FF	:	Fill Faktörü
DC	:	Doğru Akım
AC	:	Alternatif Akım
GES	:	Güneş Enerjisi Santrali
PWM	:	Sinyal Genişlik Modülasyonu
USB	:	Evrensel Seri Veriyolu
SPI	:	Serial Peripheral Interface (Seri Çevresel Arayüz)
VR	:	Değişken Relüktans
PM	:	Sabit Mıknatıs
IO	:	İnput Output
LDR	:	Light Dependet Resistance (Foto Direnç)

## 1. GİRİŞ

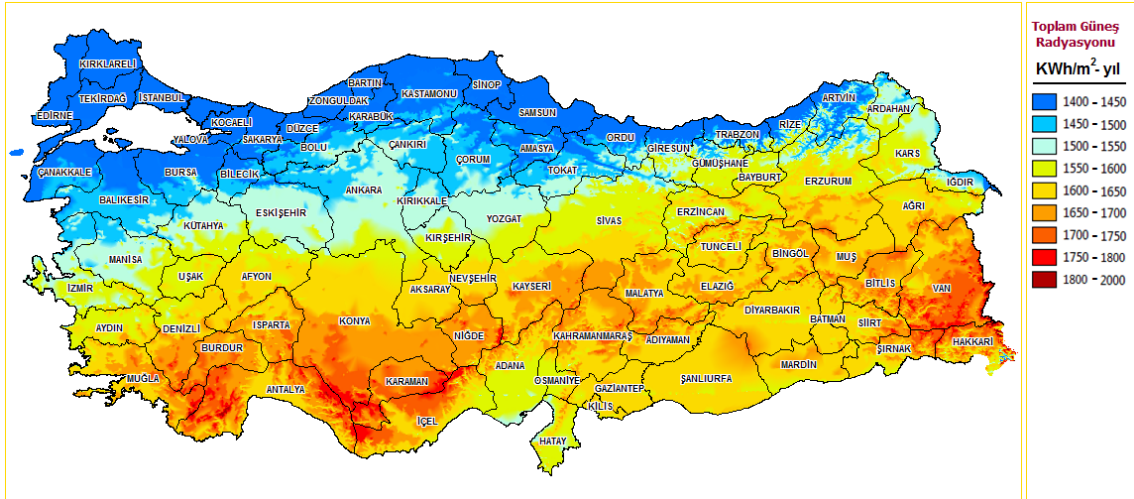
Günümüzde en çok ihtiyaç duyulan enerji türü ısı ve elektrik enerjisidir. Geleneksel enerji kaynaklarının kullanımından dolayı ortaya çıkan pek çok ekolojik problemlerin bir çoğunun güneş enerjisinden enerji üretiminde bulunamaması, bu enerji kaynağını geleneksel enerji kaynaklarına karşı alternatif yapmaktadır. Ayrıca güneşten elde edilen enerji, yeryüzündeki geleneksel enerji kaynaklarından bir yılda üretilebilecek enerjinin binlerce katından daha fazla olmasının yanı sıra sürekli ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Günden güne enerjiye olan bağımlılığın artması ile fosil kökenli enerji kaynaklarının kullanımı ve tüketimi de artmaktadır. Gerçekleştirilen araştırmalar, doğada yer alan fosil kökenli enerji kaynaklarının ömürlerinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Kullanılmakta olan enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması, çevreye verdikleri zarar ve artan enerji ihtiyaçlarının karşılanamaması gibi sebeplerden dolayı yenilenebilir alternatif enerji kaynakları arayışlarına başlanmıştır.

Dünyanın en önemli enerji kaynağı güneştir. H ve He gazlarından oluşan, güneş enerjisi bol, devamlı ve yenilenebilir bir ısı ve ışık kaynağıdır. Güneşin yüzeyindeki sıcaklık 6000°C civarındadır. Merkezde ise 20 milyon °C'yi bulmaktadır. Güneşteki yüksek sıcaklık ile elektronlar çekirdeklerine ayrılır. Bu yüzden güneşin yapısında atom ve moleküllerden ziyade serbest elektron ve atom çekirdekleri yer almaktadır. He miktarı harcanan H miktarından azdır ( $4H \rightarrow 1He$ ). Aradaki fark ise güneşten ışın (ısı ve ışık) olarak çıkan enerjiyi (radyasyonu) verir. Dünyanın kendi etrafında dönmesi ile gece ve gündüz oluşur. Diğer taraftan, dünyanın güneş çevresinde dönmesi ile mevsimler oluşur. Bu nedenle, güneşten dünyaya gelen enerji miktarı günlük ve mevsimsel olarak değişir [2].

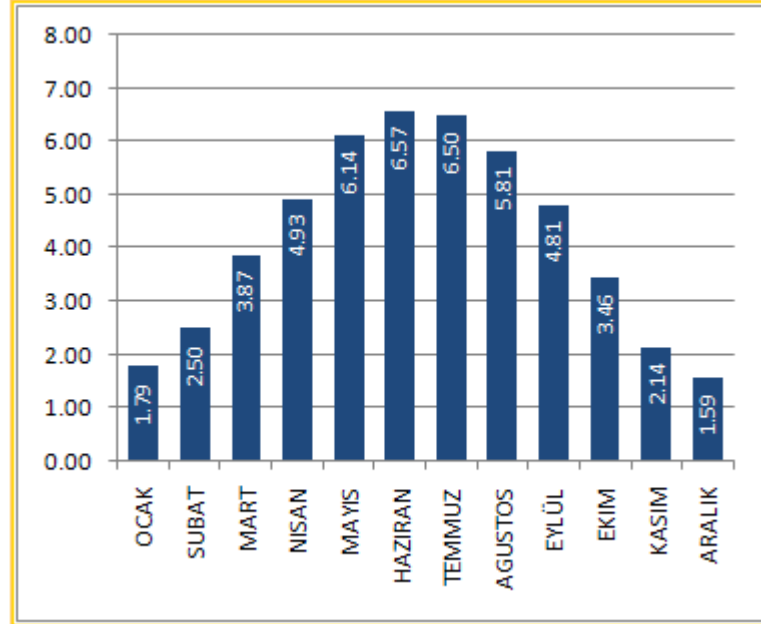
Yeryüzünde hızlı bir şekilde artan nüfus ile birlikte artan enerji ihtiyacı, önümüzdeki yıllarda enerji tüketiminin artacağını göstermektedir. Bu enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için kullanılacak yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi güneş enerjisidir. 2050 yılında dünya enerji talebinin %10'a yakın kısmının fotovoltaik enerjiden sağlanması düşünülmektedir. Güneş enerjisi, insanlığın kullanımı için pek çok ısı ve elektrik enerjisi gibi pek çok forma dönüştürülmektedir. Bu enerji dönüşümü için çeşitli yöntemler kullanılsa da güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik güneş panellerinin kullanımı alanı en geniş olan yöntemdir. Türkiye, bulunduğu coğrafi konumundan dolayı güneş enerjisi ışınımı bakımının pek çok ülkeye kıyasla büyük bir avantaja sahiptir. Günümüzde gerçekleştirilen

araştırmalar, Türkiye coğrafyasının % 63'ünde, 9-10 ay boyunca ve %17'sinde de tüm yıl itibariyle güneş enerjisinden rahatlıkla yararlanmanın mümkün olduğunu göstermiştir.

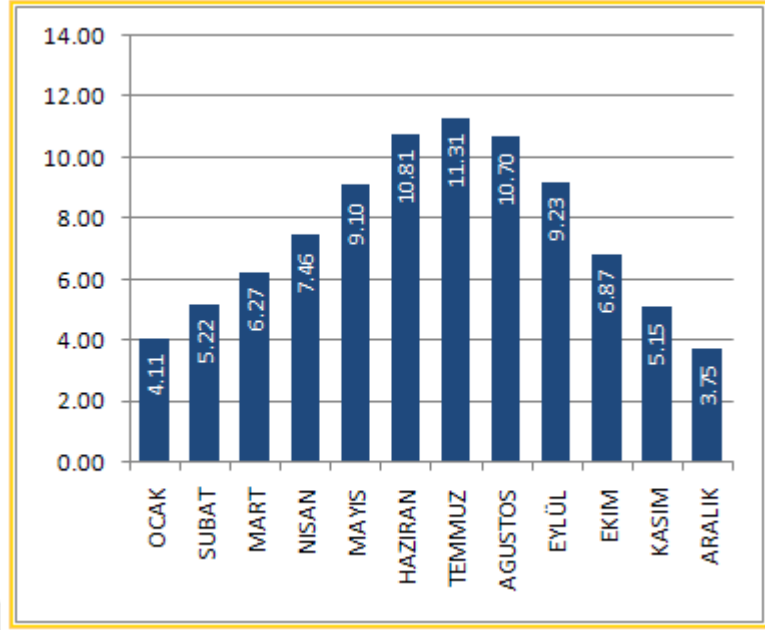
Aşağıdaki şekilde Türkiye'nin şehirlere göre toplam güneş radyasyonu belirtilmiştir.



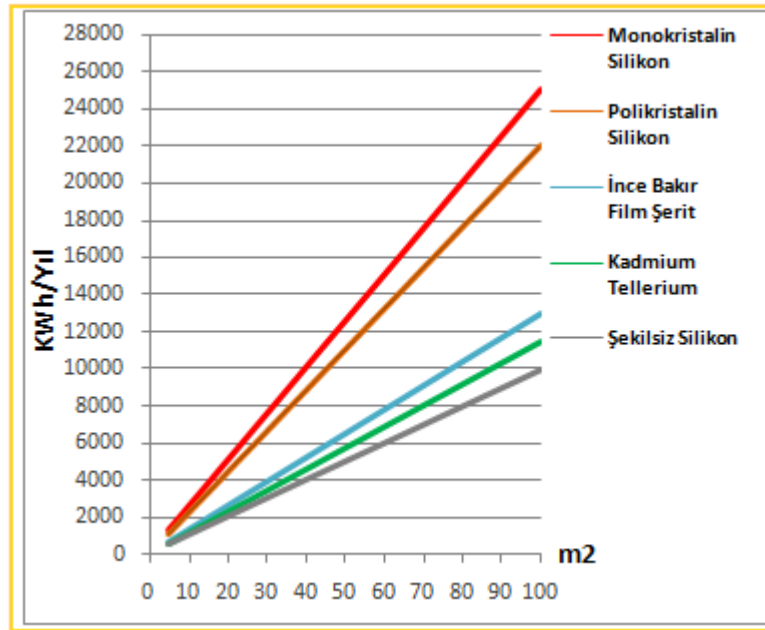
Şekil 1.1. Türkiye'nin sahip olduğu güneş potansiyelinin görünümü (www.eie.gov.tr, 2017)



Şekil 1.2. Türkiye küresel radyasyon verileri (KWh/m<sup>2</sup>-gün) (www.eie.gov.tr, 2017)



Şekil 1.3. Türkiye'deki güneşlenme zamanları (Saat)(www.eie.gov.tr, 2017)



Şekil 1.4. Türkiye fotovoltaik tip alan elde edilecek enerji (KWh-Yıl) (www.eie.gov.tr, 2017)

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK PİLLER

### 2.1. Güneş Enerjisi

Dünyamız için enerji kaynağı bakımından en önemli kaynak şüphesiz güneştir. Yer küre ve atmosfer sistemi için fiziksel oluşumlarını ısı enerjisi yönüyle etkileyen enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi, ısıtma ve elektrik enerjisi elde etme gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Alışlagelmiş enerji kaynaklarının kullanımından dolayı meydana gelen ekolojik sorunların bir çoğunun güneş enerjisinden enerji üretiminde yer almaması, güneş enerjisi kaynağını geleneksel enerji kaynaklarına karşı alternatif haline getirmektedir.

Güneş enerjisi, güneşin merkezinde yer alan füzyon aşamasıyla (H'nin He'a dönüşümü) ortaya çıkan ışınım enerjisidir. Atmosfer tabakasının dışındaki güneş enerjisi şiddeti,  $1370\text{W/m}^2$  mertebelerindedir. Ancak güneş enerjisi, yeryüzüne gelirken atmosfer kaynaklı bir takım kayıplara uğramaktadır. Bu kayıpların meydana gelmesinden sonra yer küreye ulaşan güneş enerjisi ışınım şiddeti oranı  $0-1100\text{W/m}^2$  civarları arasında değişmektedir [3]. Kayıplardan sonra yeryüzüne gelen güneş enerjisi oranı, yeryüzünde tüketilen enerjinin 20.000 katı kadardır.

Güneş enerjisi, ihtiyaçlara göre çok değişik şekillerde kullanılabilir. Yaygın olarak güneş enerjisinden ısı güneş sistemleri ve fotovoltaik piller olmak üzere iki ana grupta yararlanır.

### 2.2. Isı Amaçlı Güneş Sistemleri

Bu teknolojilerde güneş enerjisinin ısı yönünden faydalanılır. Güneşin bu ısı enerjisi başka bir enerji formuna dönüştürülmeden kullanılabilceği gibi elektrik enerjisinin elde edilmesinde de kullanılabilir.

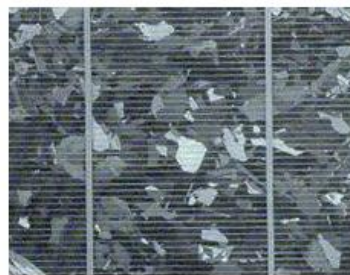
### 2.3. Güneş Pilleri ( Fotovoltaik Piller)

Fotovoltaik olay, Fransız fizikçi Becquerel tarafından 1839 yılında, hareketli iyonlar içeren ve elektrik akımına imkan veren bir sıvı içerisine daldırılmış olduğu elektrotlar arasındaki gerilimin iletken sıvı üzerine düşen ışınımına bağlı olduğunu tespit edilmesi ile bulunmuştur. 1876 yılında, G.W. Adams ve R.E Day, fotovoltaik etkiyi katı cisimlerde benzer bir durum ile ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde deneyerek belirlemişlerdir. 1914'te fotovoltaik olayı ile elde edilen verim %1 civarlarındaydı. İlk kez güneş enerjisini % 6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştürülmesi Chapin, Fuller

ve Pearson tarafından 1954 yılında silikon kristalinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir [4].

Fotovoltaik sistemler ilk olarak uzay araçlarında güç kaynağı olarak kullanılmıştır. 1954 yılında, fotovoltaik olayın yeryüzünde enerji kaynağı olarak kullanılması için araştırmalar gerçekleştirilmiştir [5].

Güneş panelleri yüzeylerine gelen güneş ışınımını elektrik enerjisine çeviren yarıiletken malzemelerdir. Güneş pillerinin yüzey şekilleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçim verilen güneş hücrelerinin alanları genel olarak 100 cm<sup>2</sup> mertebesinde, kalınlık değerleri ise 0,1-0,4 mm arasında değişmektedir. Güneş hücrelerinden elde edilen elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeylerine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş hücresinin mimarisine ve hücrenin oluşturulmasında kullanılan yarı iletken maddeye göre % 5 ile % 30 arasında bir verim ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. İstenilen enerji ihtiyacına dayalı olarak güneş panelleri seri veya paralel olarak birbirine bağlanılarak birkaç Watt'tan MWatt'lara kadar sistemler oluşturulabilir [3].



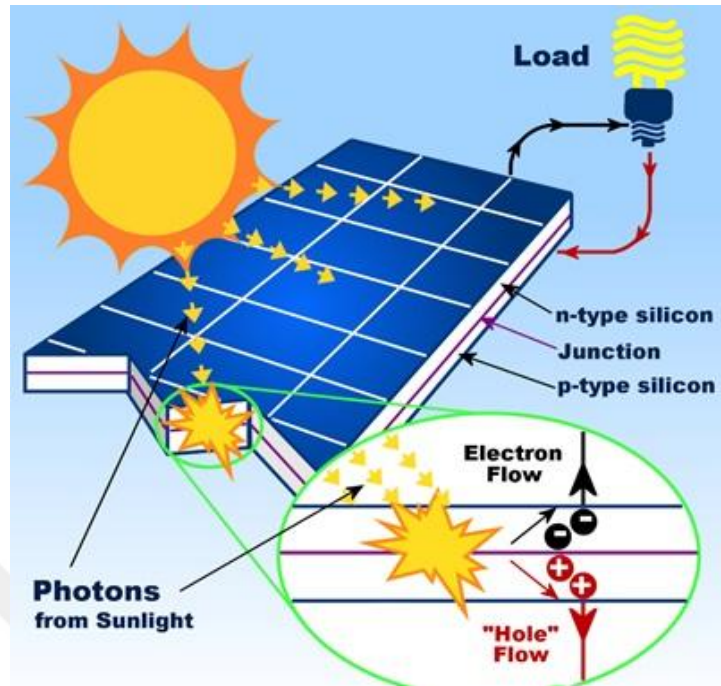
Güneş Pili



Fotovoltaik Model

Şekil 2.1. Fotovoltaik güneş hücresi ve güneş paneli

Fotovoltaik etki, fotovoltaik bir hücre tarafından, güneş ışınımının elektriğe dönüştüğü fiziksel bir işlemdir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi fotonlar silikon gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarparak atomlardan elektronları serbest bırakırlar. Güneşten gelen ışınımın kaynağı enerji taşıyan fotonlardır. Fotovoltaik hücre üzerine gelen fotonların bir kısmı hücre tarafından emilir, bir kısmı ise geri yansıtılır, geriye kalan bölümü ise güneş hücresinden geçerek yarı iletken malzemenin yapısında yer alan atomun elektrona geçer. Elektron, yeni elde ettiği foton enerjisi aracılığı ile bir elektrik devresinde akan akımın bir parçası olmak için, yarıiletken malzemedeki yer alan bir tek atoma ilişkin olağan pozisyon durumundan kurtulabilme yeteneği kazanmaktadır [2].



Şekil 2.2. Güneş pilinin çalışma ilkesi

## 2.4. Fotovoltaik Güneş Hücrelerinde Kullanılan Maddeler

Güneş hücreleri birçok farklı maddeden faydalanarak üretilmektedir. Günümüz teknolojilerinde güneş hücresi üretiminde en fazla yararlanılan maddeler aşağıdaki gibi verilebilir:

### 2.4.1. Kristal silisyum

Kristal solar hücrelerde en önemli materyal olan silisyum, yarı iletken özelliğe sahip ve fotovoltaik güneş hücresi üretiminde en fazla tercih edilen bir malzemedir. Fotovoltaik güneş pilleri kalınlıkları 150-200 mikron aralığında değişmektedir. Bu maddenin tercih edilmesi sonucu üretilen güneş pillerinden, laboratuvar ortamında %24, ticari olarak kullanılan güneş paneli modüllerinde ise %15 civarında verim elde edilmektedir [3].

### 2.4.2. Galyum arsenit (GaAs)

İyi bir optik ve elektrik-elektronik karakteristiğe sahip olan GaAs malzemesi, bu gün birçok laboratuvarında üretilmektedir. Laboratuvar şartları altında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim söz konusudur. Uzay uygulamaları ve optik yoğunlaştırıcı sistemler için tercih edilmektedir [3].

### 2.4.3. Amorf silisyum

Günümüz teknolojilerinde küçük elektronik cihazların enerji kaynağı olarak tercih edilmektedirler. Amorf silisyum güneş ışınımının az olduğu bölgeler için güneş enerjisi santrallerinde tercih edilirler. Kristal bir yapıya sahip olmayan silisyum fotovoltaik hücrelerinden elde edilen verimleri %10 civarında iken, ticari modül olarak kullanılan sistemlerde ise %5-7 aralığındadır. Bu maddenin başka bir uygulama alanı ise binalarda kullanılan yarı saydam cam yüzeyler, binaların dış koruyucusu uygulamaları olarak söylenebilir [3].

### 2.4.4. Kadmiyum tellürid (CdTe)

Kristal bir yapıya sahip bir madde olan Kadmiyum tellürid ile fotovoltaik güneş hücrelerinin maliyetlerinin minimum seviyelere çekilebilmesi söz konusudur. Laboratuvar şartları altında %16, ticari olarak kullanılan modüllerde ise %7 mertebesinde verim değerlerine sahiptirler [3].

### 2.4.5. Bakır indiyum diselenid (CuInSe<sub>2</sub>)

Kristal fotovoltaik hücrelerinden laboratuvar ortamında %17,7 ve ticari amaç ile enerji üretimi gerçekleştiren modüllerde ise %10,2 civarında verim elde edilmektedir [3].

### 2.4.6. Optik yoğunlaştırıcı hücreler

Güneş ışığının modüller üzerine odaklanması amacıyla kullanılan optik yoğunlaştırıcı hücreler, güneş ışığını 10-500 kat civarlarında yoğunlaştıran mercekli ya da yansıtıcı araçlar ile tasarlanmıştır. Bu yoğunlaştırıcı modüller, basit plastik maddelerden ya da cam gibi maddelerin kullanılması ile üretilmektedirler. Optik yoğunlaştırıcı modüllerin verimleri %20 civarında iken, hücre verimleri ise %30'un üzerine çıkabilmektedir [3].

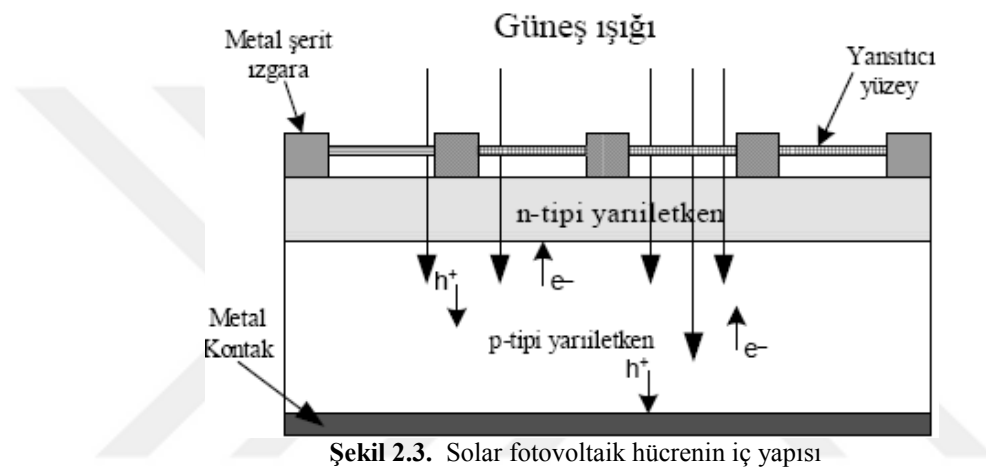
Çizelge 2.1'de 1 cm<sup>2</sup>'lik hücre alanı için laboratuvar şartlarında ulaşılan en yüksek hücre verimleri görülmektedir.

Çizelge 2.1. Tiplerine göre en yüksek hücre verimleri.

Tip	Verim(%)
Kristal Si	24.5
Polikristal Si	19.8
Amorf Si	12.7

## 2.5. Fotovoltaik Teknoloji

Fotovoltaik hücreler, güneş ışınlarının yarıiletken malzemeye etki etmesi sonucuna dayalı olarak elektrik enerjisi üretebilmektedirler. Fotovoltaik güneş panellerin üretilmesi aşamasında en fazla kullanılan yarıiletken maddeler Si ve Si alaşımlarıdır [6]. Şekil 2.3'te solar panellerinde kullanılan fotovoltaik güneş hücrelerinin iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Solar fotovoltaik hücrenin iç yapısı

Fotovoltaik güneş pillerinin çalışması; fotovoltaik ilkesine dayanmaktadır. Levhaları üzerine ışık düştüğü zaman, uçları arasında elektrik gerilimi meydana gelir. Gerilim meydana gelen bir güneş pili bir dış devreye (yüke) bağlandığında yükten akım geçer. İstenilen güce bağlı olarak, hücrelerden oluşan güneş panelleri birbirlerine seri veya paralel olarak bağlanabilir. İstenilen güç ihtiyacına göre MW veya GW düzeylerine ulaşabilen sistemler meydana getirilebilir.

Fotovoltaik olay, iki aşamadan oluşur. Bu aşamalar, birer taşıyıcı yük çifti olan elektron-boşluk çiftinin meydana gelmesi, ardından da bu yük çiftlerinin birbirlerinden ayrılmasıdır [7].

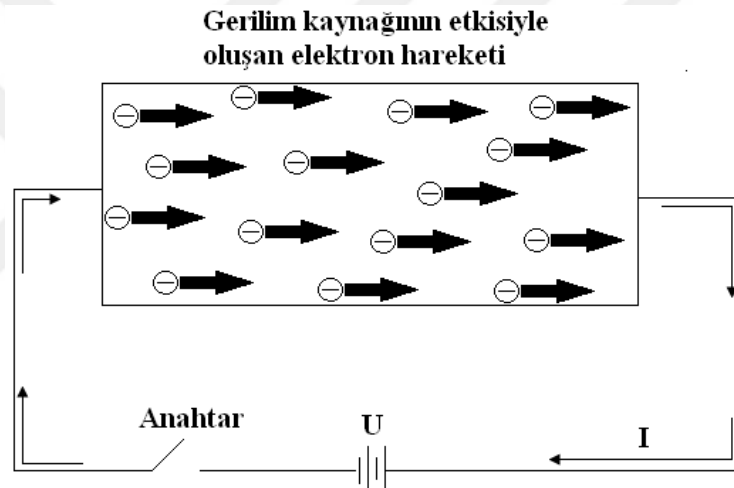
Herhangi bir yarı iletken n-tipi ve p-tipi bölgeler oluşturularak fotovoltaik bir güneş pili yapılabilir. Meydana gelen bu n-tipi ve p-tipi bölgelerinin geçiş bölgelerindeki p-n bağı bölümünde, bir elektrik alanı oluşturulur. Bu bölümde meydana gelen elektrik alanı yapısal elektrik alan ( $E_{yap}$ ) adı verilmektedir. Yarı iletken bağının güneş hücresi olarak çalışabilmesi için bağı bölümünde fotovoltaik dönüşümün gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu fotovoltaik dönüşüm iki basamakta gerçekleşir. Önce

bağ bölümüne ışınım düşürülerek, elektron-boşluk çiftleri meydana getirilir. Daha sonra da bunlar meydana gelen elektrik alan vasıtasıyla birbirlerinden ayrılırlar [8].

### 2.5.1 Yarı iletkenlerde "N" ve "P" tipi elektron ve oyuk davranışları

#### 2.5.1.1 "N" tipi yarı iletkenlerde eksi (-) yüklü elektronların davranışı

N tipi yarı iletkenler için elektronlar çoğunluklu taşıyıcı durumunda iken, az sayıda olan oyuklar ise azınlıklı taşıyıcı şekline sahiptirler. Şekil 2.4'te gösterilen bağlantı oluşturulduktan sonra n tipi yarı iletkene doğru akım gerilimi uygulandığında, serbest halde bulunan elektronlar, gerilim kaynağının (+) polarizasyonunun çekme kuvveti ve (-) polarizasyonunun da itme kuvveti sayesinde, gerilim kaynağının (+) kutbuna doğru harekete geçerler. Enerji kaynağının uçları ters çevrilip devre gözlemlendiğinde elektronların bir önceki durumun tersi yönünde hareket ettikleri görülmektedir.



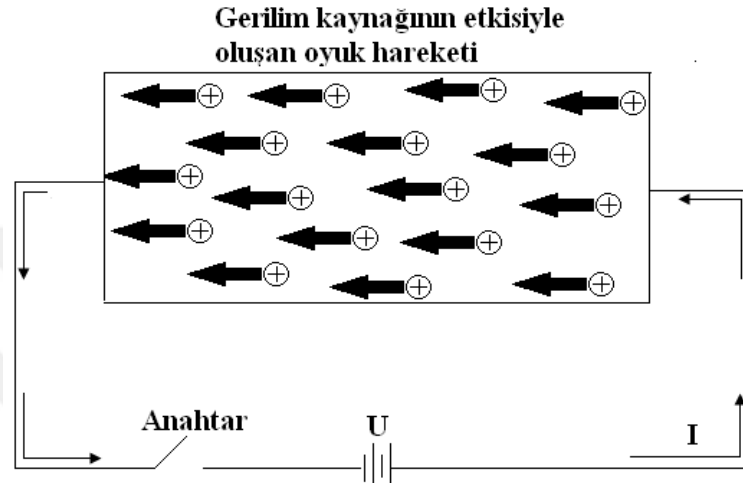
Şekil 2.4. n tipi yarı iletkenlerde elektron hareketi

#### 2.5.1.2. "P" tipi yarı iletkenlerde artı (+) yüklü oyukların hareketi

p tipi yarı iletkenlerde oyuklar çoğunluklu taşıyıcı durumundadır ve az sayıda bulunan elektronlar da azınlık taşıyıcı durumundadırlar.

Şekil 2.5'te gösterilen devre bağlantısı yapıldığında p tipi yarı iletkene DC gerilim uygulandığında oyuklar, enerji kaynağının eksi (-) ucunun sahip olduğu çekme kuvveti ve artı (+) ucunun da sahip olduğu itme kuvveti sayesinde, gerilim kaynağının eksi (-) ucuna doğru harekete geçerler. Enerji kaynağı ters yönlü polarite yapıldığında elektrik devresi gözlemlendiğinde oyuk hareketlerinin bir önceki durumun tersi yönünde olduğu görülebilir. p tipi yarı iletkenin içerisinde çok az sayıda serbest elektronun yer alması, maddenin tam saf olmadığından kaynaklanmaktadır..

p tipi madde içerisinde az sayıda bulunan elektronlar ile, n maddesi içerisinde yer alan az sayıda oyuklara azınlık akım taşıyıcıları denilmektedir. Yarı iletken madde üretim teknolojileri geliştirildikçe %100 saflık ile Ge ve Si maddelerinin üretilmesi mümkün olmaktadır. Fakat buna rağmen yarı iletken devre elemanları bağlı buldukları elektrik devrelerinde çalıştığında ısı, ışık, aşırı yük gibi faktörlerden dolayı azınlık durumunda bulunan akım taşıyıcılarında bir artış meydana gelmektedir.



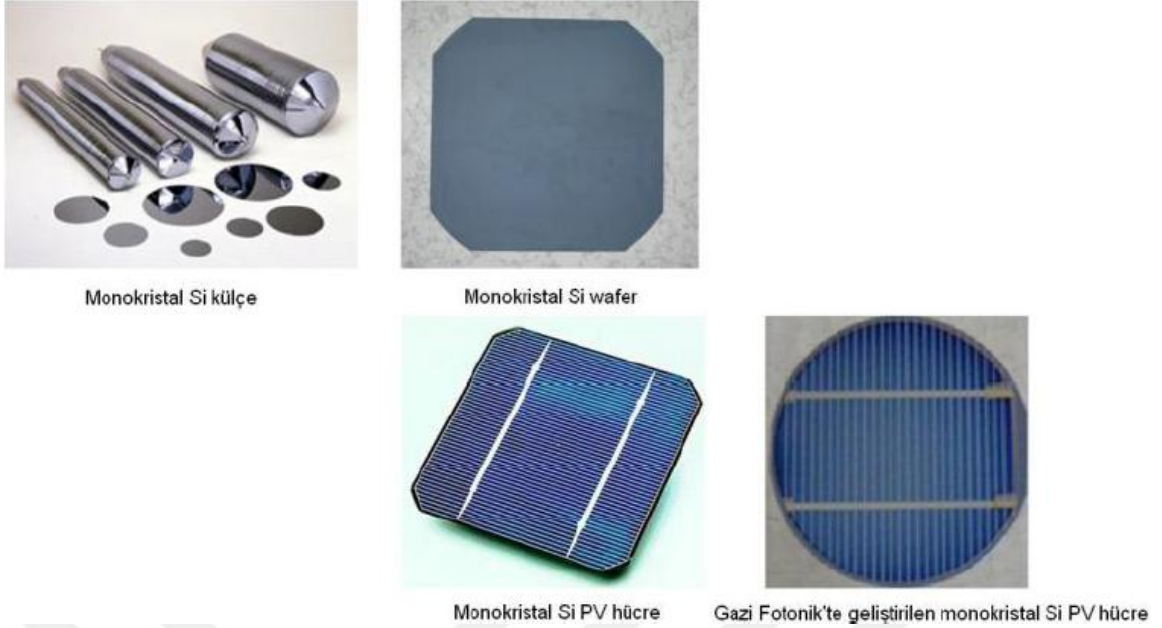
Şekil 2.5. p tipi yarı iletken için oyuk davranışı

## 2.6. Güneş Pili Çeşitleri

### 2.6.1 Monokristal silisyum güneş pilleri

Kullanılan ilk ticari güneş pilleri monokristal silisyum güneş pilleridir. Kristal çekme prensibiyle büyütülen tek kristal yapıdaki silisyum kullanılmaktadır. Solar pazarda hatırı sayılır bir yere sahip olsalar da üretim maliyetlerinin yüksek değerlerde olmasından dolayı diğer güneş pillerine yönelimi arttırmaktadır. Yüksek değerlerde verim elde edilmektedir.

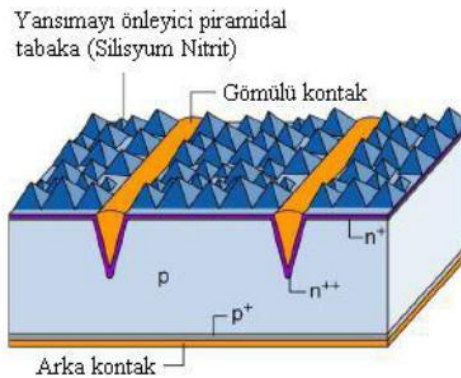
Çekirdekler, çok düşük hız ile ergimiş olan Si banyosundan çekilirler. Bunun sonucunda tek kristalli tabakanın genişlemesi sağlanmaktadır. Yaklaşık olarak 0,5 mm kalınlığında üretilirler. Renkleri koyu mavidir. Yaklaşık olarak ağırlıkları 10 gramdan azdır. Şekil 2.6'da oluşum basamakları gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Monokristal güneş paneli aşamaları.

Hücrenin üst tabakasında, hücre tarafından üretilen elektrik akımını toplayacak olan ve genellikle bakır elementinden meydana gelen ön kontaklar yer almaktadır. Pilin ön yüzeyi, ışığı daha fazla yakalayabilmek ve yansımayı engellemek için çeşitli şekillerdedir (piramit, konik). Kontakların altında yaklaşık 150 nm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan, ışığın büyük oranda soğuran bir kaplama katmanı bulunur. Eğer bu katman bulunmazsa; Si hücre üzerine gelen ışınım miktarının çoğunu geri yansıyacaktır ve bu da pilin verimini olumsuz etkileyecektir.

Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, hücredeki akımın meydana geldiği p-n bağı bulunmaktadır. n-bölgesi, hücrenin negatif tarafını; p-bölgesi ise, pilin pozitif tarafını oluşturmaktadır. Hücrenin arka tarafında ise elektronların geçtiği pozitif kontak işlevi gören arka kontaklar yer almaktadır.



Şekil 2.7. Yansımayı önleyici piramit yapılı tabaka.

Monokristal Si güneş hücrelerinden labaratuvar şartlarında % 24 civarında hücre verimi elde edilmektedir. Solar pazardaki modüllerde ise verim % 15 ile % 18 aralığında değişmektedir. Verimin güçlü olmasından dolayı uzun vadeli yatırımlar için idealdirler. Maliyetlerini geri ödeme müddetleri 4 ile 6 yıl arasındadır. Saf kristalden üretildiklerinden dolayı fiyat noktasında pahalıdırlar.

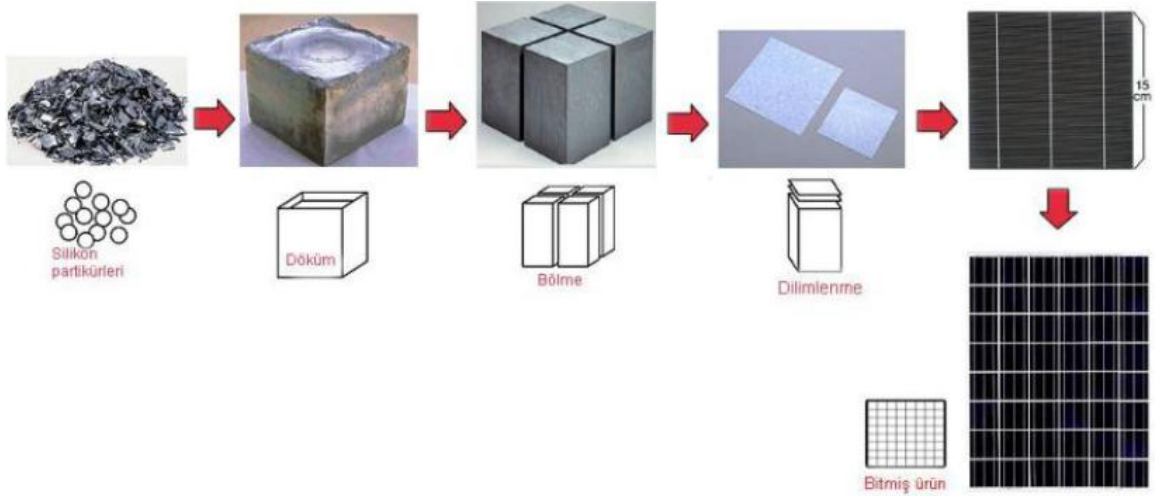


Şekil 2.8. Monokristal panel

### 2.6.2 Polikristal güneş panelleri

Elektriksel, optik ve yapısal özellikleri bakımından mono kristal pillerle aynıdır. Polikristalli maddenin elektriğe dayalı özelliklerinin küçülen damar büyüklüğüyle orantılı olarak bozulması; elde edilecek verimin mono kristal ile karşılaştırıldığında küçük olmasına sebep olmaktadır. Fakat polikristalli Si üretim teknoloji teknikleri daha kolaydır. Maliyeti oldukça düşüktür.

Üretimde en fazla kullanılan metot dökme metodudur. Polikristalli Si'de il malzeme, tek kristalli Si'de olduğu gibi hazırlanmaktadır. İstenilen saflık dereceleri de benzerdir (%99.99999). Erimiş olan yarı iletken kalitedeki Si, belirlenen kalıplara dökülür ve soğuması için bekletilir. Daha sonra meydana gelen bloklar kareler şeklinde kesilirler. Bu teknik ile oluşturulan malzemelerin kullanılması ile elde edilen güneş pillerinin maliyetleri düşük ve verimleri azdır [9]. Bir kaç mm tanecik büyüklüğüne sahip polikristal Si'den, % 14 mertebesinde verime sahip güneş hücreleri üretilebilmektedir [10].



Şekil 2.7. Polikristal güneş paneli üretim safhaları



Şekil 2.8. Poli kristal güneş pili

### 2.6.3 Galyum arsenik güneş pilleri

Kristal yapıları silisyuma benzer. Galyum ve arsenik elementlerinden meydana gelirler. Polikristal yapıya sahiptirler. Bununla birlikte, Si'den üretilen güneş hücrelerinin p-n bağında daha fazla bir açık devre gerilimi elde edilmektedir. Bu sebepten dolayı silisyuma oranla daha az tercih edilirler. [11].

### 2.6.4 Thin film güneş pilleri

Thin film fotovoltaik güneş pilleri, ışınları absorbe özelliği yüksek olan materyaller daha ince bir tabaka şeklinde kullanılarak üretilirler.

İnce (Thin) film güneş pilleri düşük maliyetlerle üretilmelerine rağmen verimlerinin %7 ile 14 arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu verim kriteri de thin film güneş pillerinin üretimlerinin artması önünde yer alan en belirgin problemdir. Solar piyasasındaki payları %7 civarındadır. Fakat laboratuvar şartlarında verimlerinin artışı üzerinde çalışılmaktadır. Uzay ve uydu çalışmaları için kullanılan uygulamalarda

belirgin bir şekilde kullanılmaktadırlar. Çünkü atmosfer dışında sahip oldukları verim %28 ile %30 civarındadır [12].

İnce (Thin) film güneş hücreleri; Amorf Silisyum (a-Si), Kadmiyum Tellür (CdTe) ve bakır indium-diselenoid (CuInSe<sub>2</sub>) olarak sıralanabilir.

#### 2.6.4.1 Amorf silisyum güneş pilleri

Geleneksel olarak içyapısı özel bir düzen içermeyen malzemelerdir. Malzemenin sahip olduğu yapı birimlerinin rastgele sıralanışı, amorf silisyum maddesinin elektriksel iletim niteliğini düşürmektedir. Bunun önüne geçmek için yarıiletken içerisine % 5 ile % 10 civarında hidrojen (H) katılarak, iletkenlik özellikleri fotovoltaiik döngüsü için orantılı bir seviyede sabit bırakılabilir. Hidrojen, doymamış Si bağlarının bazılarını doyurarak, yasak enerji aralığında bulunan izinli durumlarının sayısını azaltmaktadır [12]. Bundan dolayı amorf silisyum fotovoltaiik güneş hücrelerinin tasarımı, kristal silikon PV hücrelerde kullanılan p-n bağlantı tasarımından oldukça farklıdır. Amorf ve silisyum bağlarına hidrojen bağlanmış A-Si hücreler, aşağıdaki katmanlara sahip olacak şekilde tasarlanırlar.

p + üst katman: Kalınlığı çok az (0,008 $\mu$ m) ve çok katmanlıdır.

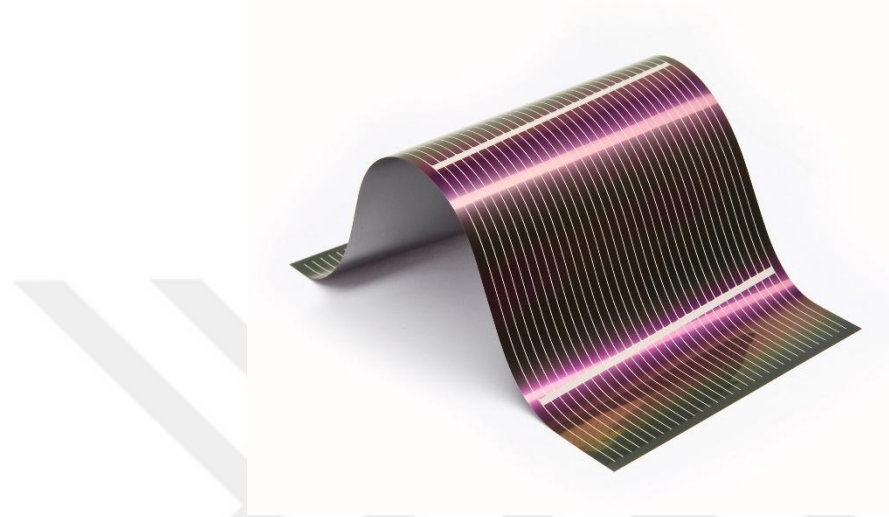
Orta Katman: Biraz daha kalındır (0,5-1 $\mu$ ) ve katkısızdır.

n + Katman: Çok incedir (0,02 $\mu$ m).

En üst katman, ince ve kısmen geçirgen özellikte tasarlanır. Bu şekilde, gelen güneş ışınımının büyük çoğunluğununbu katmandan geçmesi sağlanarak, elektron-boşluk çifti oluşturmak için, katkısız orta katmana transferi sağlanır. En üstteki p + ve en alttaki n + katmanlar, kristal silisyum PV hücresinin p-n bağlantısındaki elektrik alanı indüksiyonuna benzer şekilde, orta katmanın tamamında bir elektrik alanı meydana getirirler. Amorf-Silisyum bant boşluk enerjisi, yaklaşık olarak 1,7eV civarındadır. Bu değer, bant boşluk enerjisi 1,1eV olan kristal silisyumunkinden daha yüksektir. Bir pv hücrenin ürettiği gerilim, pv hücrenin bant boşluğunun büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, A-Si'dan üretilen PV hücrelerinin ürettiği gerilim, kristal silisyumdan üretilen PV hücrelerinkinden daha yüksek değerdedir [2]. Bu tipteki güneş hücrelerinin sahip olduğu labaratuvar verimleri % 13 dolaylarında tespit edilmiştir [9].

Amorf silisyum güneş hücreleri boyut açısından monokristal ve polikristal hücrelere kıyasla daha büyük ölçülerde üretilmektedirler. Güneş ışınımını, monokristal güneş hücrelerine göre 40 kat daha fazla absorbe ederler [2].

Günümüzde teknolojileri için küçük elektronik cihazlarda enerji kaynağı olarak kullanılmaktadırlar [12].



Şekil 2.9. Amorf si güneş paneli

#### 2.6.4.2 Kadmiyum tellür (CdTe) güneş pilleri

Kadmiyum tellür maddesi için yasak enerji band aralığı, 25°C'de 1,5eV'tur. Güneş ışınımından elektrik enerjisi elde etmek için de bu değer ideal bir değerdir. Buna ek olarak güneş ışınımı emilimi katsayısı yüksektir. Kadmiyum tellür genellikle kadmiyum sülfür (CdS) ile birleştirilerek heteroeklem diyot üretiminde kullanılmaktadır. Kadmiyum tellür fotovoltaik pilleri  $\text{cm}^2$ 'de %17'lik ve  $8390\text{cm}^2$ 'de %11'lik bir verime sahiptir. Üretim maliyeti düşük seviyededir [13].

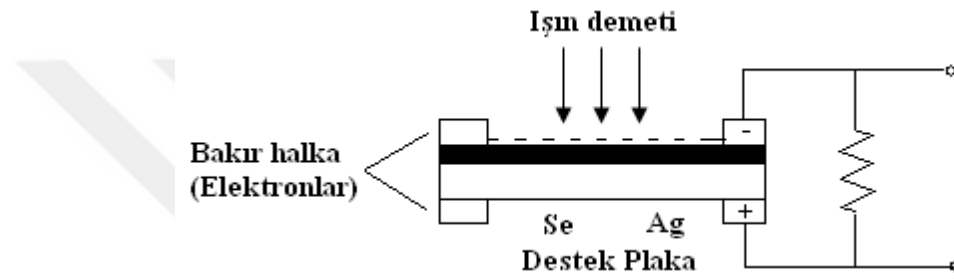
#### 2.6.4.3 Bakır indiyum diselenoid (CuInSe<sub>2</sub>) güneş pilleri

Üç elementin birleşmesi ile meydana gelen bu madde yarı iletkenlerinin ışınım emilimlerinin katsayıları yüksektir. Bu bileşiğin yasak enerji aralık değerleri güneşin spektrumuna göre istenilen oranda ayarlanabilmektedir. Bakır, indiyum ve selenyum elementlerinden meydana gelen bu bileşik elementlerin baş harflerinden oluşan (CIS) fotovoltaik pilleri olarak adlandırılır. Yasak enerji aralıklarının güneş spektrumuna yakın olması ve güneş ışınımı emilimi katsayısının yüksek olmasından dolayı Kadmiyum Tellür fotovoltaik pillerine yakın özelliktedir.

Günümüz teknolojisi ile CIS fotovoltaik güneş pillerinin geneli Galyum elementi ile bir araya getirilerek daha yüksek verimler elde edilmektedir. Laboratuvar deneylerinde küçük alanlar için bu pillerin verimi %18 civarında iken, 900cm<sup>2</sup> yüzey alan için bu güneş pili modülünün verimleri %15 civarındadır [5].

#### 2.6.4.4 Selenyum güneş pili

Saf selenyum elementi alkali metallerle ya dahalojenlerle bir araya getirilerek p tipi yarı iletken oluşturulmaktadır. Sonuç olarak yüksek oranda iletken ve yarı iletken veya yarı geçirgen bir gümüş katman bir kaç mikron kalınlık ile yüzeyleri kaplanarak p-n jonksiyonu meydana getirilmektedir.



Şekil 2.10. Selenyum güneş hücresi iç yapısı

Şekil 2.10 da görüldüğü üzere bir selenyum güneş hücresinin iç yapısı verilmiştir. Selenyum güneş pilleri 50°C'in üzerinde kullanılmamalarında fayda vardır.

## 2.7 Güneş Pillerinin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

### 2.7.1 Olumlu özellikleri

- Güneş ışınımının elektrik enerjisine dönüştüren bütün doğrudan elektrik enerjisi dönüştürücüleri içinde en yüksek verime sahip güneş pilleridir. (Günümüzde laboratuvarlardayapılan deneylere göre üretilen güneş pillerinin verimleri %30 dolaylarında görülmektedir).
- Yeteri kadar güneş ışınımına bağlı olarak ihtiyaç duyulan bütün coğrafi konumlarda kurulabilirler.
- Kurulması hızlı ve basittir. İhtiyaç halinde kapasiteleri rahatlıkla artırılabilir veya azaltılabilir.

- Güneş pilleri modüller şeklinde bir araya geldiklerinden dolayı herhangi bir modülde arıza çıkıp devreden çıkılması halinde diğer modüller elektrik enerjisi üretmeye devam ederler.
- Teorik ve laboratuvar çalışmalarına göre ömürleri ortalama 20-25 yıl arasındadır.
- Sessiz ve temiz bir şekilde elektrik enerjisi üretirler, ekolojik çevreye zarar vermezler.
- Birim ağırlık olarak yüksek çıkış gücüne sahiptirler.
- Üretimleri için kullanılan maddeler (örneğin Silisyum) dünyada bolca bulunmaktadır. Tükenebilen geleneksel enerji kaynakları kullanılmamaktadır.

### **2.7.2 Olumsuz özellikleri**

- İlk kurulum aşamasında yüksek maliyetler söz konusudur.
- İlk olarak üretilen elektrik akımı doğru akım olduğundan dolayı bu doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için bazı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Sürekli üretim söz konusu olmadığı için üretilen elektrik enerjisinin depolanması için bir akü grubuna ihtiyaç duyulmaktadır.
- Güneş ışınımının yüksek olduğu alanlar gerekmektedir.
- Güneş ışınımının çok fazla olduğu bölgelerde yüksek sıcaklıktan dolayı verimin düşmesi riski söz konusudur.

### 3.GÜNEŞ PİLLERİNİN VERİMLİLİĞİ

#### 3.1 Verimlilik

Fotovoltaik güneş panellerinin verimleri  $1000\text{w}/\text{m}^2$  güneş ışınımı,  $25^\circ\text{C}$  sıcaklık ve 1,5 kütle hava oranı (airmass) gibi standart test koşulları doğrultusunda belirlenmektedir.

Fotovoltaik bir diyottan elde edilecek bir güç miktarı hesaplanabilmektedir. Bir fotovoltaik güneş pilinden elde edilen maksimum gücün, fotovoltaik hücrenin üstüne düşen maksimum güç değerine bölünmesine fotovoltaik güneş hücresinin verimi adı verilir ve  $\eta$  sembolüyle gösterilmektedir. Fotovoltaik güneş hücresinin veya panelinin maksimum güç çıkış değeri  $P_m$  ve atmosferin dışında birim alan yüzeyine düşen güneş enerjisi şiddetinin optik giriş güç değeri  $P_{in}$  olmak üzere verim,

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (3.1)$$

formülü ile hesaplanabilmektedir [14].

Fotovoltaik güneş pillerinin verimini tespit etmek için üç parametre kullanılmaktadır. Bu parametreler; açık devre gerilimi ( $V_{ad}$ ), kısa devre akımı ( $I_{kd}$ ) ve doluluk faktörüdür (fill factor) [7]. Radyasyon kaybı katsayısı ise, uzay uygulamalarında kullanılan dördüncü bir parametre değeridir [7].

**Açık Devre Gerilimi ( $V_{ad}$ ):** Fotovoltaik hücreden akan akım değerinin sıfır (0) olması halinde, pil terminalleri arasında ölçülen gerilim değeridir[15]. Başka bir ifade ile fotovoltaik güneş pilinin dış devresine bağlanan yük direncinin ( $R_L$ ), devrenin kendi direncinden daha büyük olması halinde terminaller arasında ölçülen gerilim değeridir. Yük direnci çok yüksek olduğundan dolayı devreden herhangi bir elektrik akımı geçmez [7].

**Kısa Devre Akımı ( $I_{kd}$ ):** Fotovoltaik güneş hücresinin terminallerine verilen gerilimin sıfır olması durumunda, ışınım altında fotovoltaik pilden geçen akım değeridir. Seri direnç kayıplarının ihmal edilmesi durumunda; ışıkla meydana gelen akıma eşit olup, ışıma şiddetine doğrudan bağlıdır [15]. Başka bir ifade ile bu akım devre direncinin, pilin dış devresine eklenen yük direncinden ( $R_L$ ) yüksek olması durumunda, yük direnci üzerinden geçen akımdır [7].

**Fiil Faktörü (FF):** Bir fotovoltaik güneş hücresine ait maksimum çıkış gücünü, açık devre gerilimi ve kısa devre akımına dayalı olarak belirlemede kullanılan bir

değişkendir [15]. Doluluk faktörü de denilmektedir. Devreye bağlı seri direncin artması ile doluluk faktörü azalmaktadır [17].

$$FF = \frac{P_m}{V_{ad} \times I_{kd}} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times I_s \times A_c}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3.2)$$

formülü ile tanımlanabilir.

FF açık devre geriliminin fonksiyonu olarak,

$$FF = \frac{V_{ad1} - \ln(V_{ad2} + 0,72)}{V_{ad1} + 1} \quad (3.3)$$

formülü ile verilir. Burada,

$$V_{ad1} = \frac{V_{ad}}{(kT/q)} \quad (3.4)$$

formülü ile tanımlanır.  $kT/q$  ibaresi termal gerilime ait bir ifadedir ve normal şartlardaki oda sıcaklığındaki değeri  $0,02559V$ 'dir [15].

Fill faktörünün parametresi, fotovoltaik güneş pilinin ideal olma ölçütüdür. İdeal bir güneş pili için doluluk faktörü 1 değerine eşit çıkmaktadır. Doluluk faktörünün yüksek olabilmesi için, devreye seri bağlı direnç değerinin ( $R_s$ ), diyodun ideal olma parametresinin ( $A_o$ ), ters doyum akım yoğunluğu değerinin ( $J_o$ ) ve sıcaklık ( $T$ ) değerinin küçük; yasak enerji aralığı ( $E_g$ ) ve şönt (shunt) direnç değerinin ( $R_{sh}$ ) büyük olması gerekmektedir[7].

$$\eta = \frac{(V_{ad} I_{kd})FF}{P_{in}} \times 100(\%) \quad (3.5)$$

formülü ile de verim hesabı yapılabilir [15].

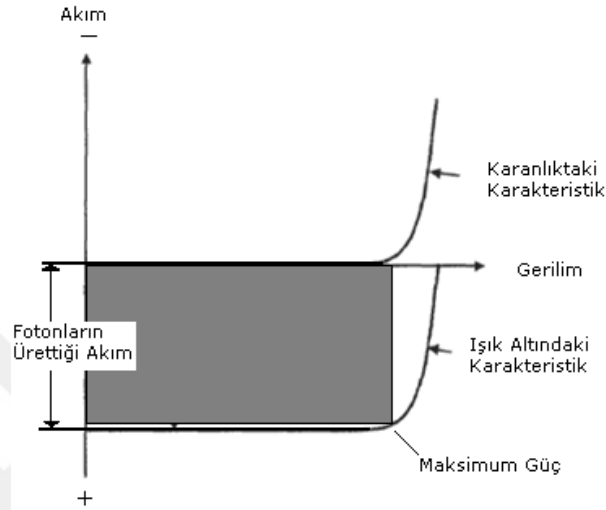
Bir fotovoltaik güneş pilinin verimi hesaplanırken, istenilen uygun şartlar için akım ve gerilim değerleri belirlenir. Belirlenen bu veriler ışığında güneş piline ait karakteristik akım-gerilim grafiği çizilmektedir. Elde edilen bu akım-gerilim (I-V) eğrisi ile güneş pilinin verimine etki eden parametreler tespit edilerek verim hesabı yapılabilmektedir [15].

Bir güneş hücresi için akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin elde edilebilmesi için üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

1) Sabit ışınım şiddeti altında, değişebilen bir direncin açık devre ile kısa devre durumları arasında değiştirilerek, fotovoltaik pilin terminalleri arasındaki voltaja karşı değişken dirençten akan elektrik akımının ölçülebilmesi ile,

2) Fotovoltaik güneş pilinin yetersiz ışınım (karanlıkta), bir harici doğru akım besleme kaynağı yardımıyla diyot benzeri çalıştırılması ile,

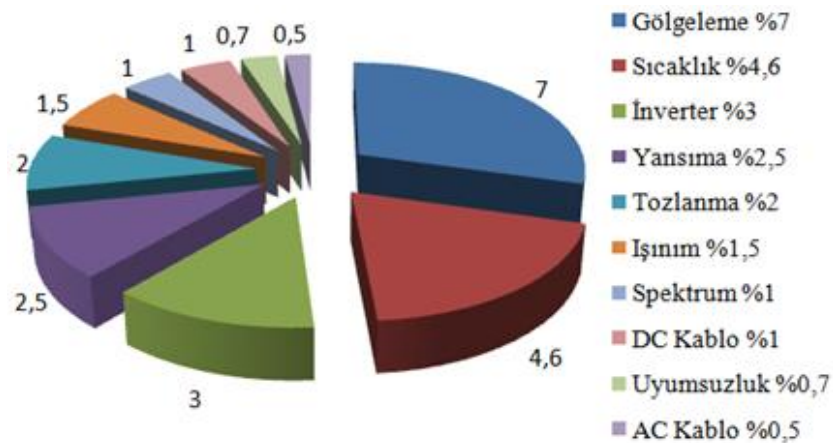
3) Işınım şiddeti değişebilen bir ışık kaynağının ışınımı altında açık devre gerilimi ( $V_{ad}$ ) ve kısa devre akımı ( $I_{kd}$ ) değerlerinin ölçülebilmesiyle elde edilebilir. Fotovoltaik güneş pilinden elde edilecek maksimum çıkış gücü, aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere fotovoltaik pilin I-V karakteristik eğrisi içine çizilebilen maksimum alana sahip dikdörtgenin alanına eşdeğerdir.



Şekil 3.1. Güneş pillerinin I-V eğrisi

### 3.2. Güneş Pillerinin Verimine Etki Eden Etkenler

Şebekeye enterkonnekte bir GES sisteminin ürettiği elektrik enerjisi pek çok etkene bağlıdır. PV sistemi meydana getiren bileşenlerin karakteristik değerleri, PV sistemin yapısı, sistemin coğrafik konumu ve pozisyonu, yanlış kurulum ve hesaplama hataları çevresel faktörler, çevrenin iklim koşulları ve üretim esnasında meydana gelebilecek bir takım arızalar bunlardan bazıları olarak sıralanabilir. Şekil 3.2’de bazı kayıpların GES sisteminin verimi için kayıp oranları verilmiştir.



Şekil 3.2. PV sistemde kayıplar

### 3.2.1. Yüzey parametresinin etkisi

Fotovoltaik güneş pili üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı, panelin iç yapısında bulunan yarı iletken madde tarafından soğrulmadan panelin üst yüzeyi tarafından atmosfere geri yansıtılmaktadır. Bu geri yansıtma miktarı güneş panelinin oluşturulmasında kullanılan yarı iletken maddenin yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Fotovoltaik güneş pillerinin güneş ışınlarını yansıtma katsayısı, ışığın geçtiği ortamların kırıcılık parametrelerine ve yok olma parametrelerine bağlı olarak,

$$R = \frac{(n_{k1} - n_{k2})^2 + k_{y1}^2}{(n_{k2} - n_{k1})^2 + k_{y2}^2} \quad (3.6)$$

formülü ile hesaplanabilmektedir[14].

$n_{k1}$  ve  $n_{k2}$ =Işığın geçtiği ortamın kırıcılık indisleri

$k_{ky1}$  ve  $k_{ky2}$ =Bu ortamlara ait yok olma katsayıları

### 3.2.2. Spektral etki

Yarı iletken üzerine düşen tek bir dalga boyuna sahip ışık, elektron ve hol çiftlerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Elektron-hol çiftlerinin meydana gelme hızlarının, yarı iletken yüzeyinden güneş pilinin içine doğru olan değişim miktarı,

$$G = (1 - R)\alpha N e^{\alpha x} \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanır.

$N$ =Yarı iletken üzerine düşen ışık foton akısı

$R$ =Yansıtma katsayısı

$\alpha$  = Soğurma katsayısı [10].

Çok büyük dalga boyuna sahip olmayan ışınlar için  $\alpha$  parametresi çok büyük olduğundan dolayı, yarı iletken üzerine düşen bu ışınlar yarı iletken tarafından hemen soğurulmaktadır [14].

### 3.2.3. Foton açısı etkisi

Yarı iletken maddeden meydana gelen fotovoltaik güneş pili üzerine düşen fotonlar, pilin yüzeyine geldiğinde gelen ışığın bir bölümü panel yüzeyi tarafından geri yansıtılır ve yansıyan kısımdan sonra kalan diğer ışın miktarı ise yarı iletken madde tarafından emilir ya da yarı iletken maddeden geçer [14].

Gelen ışın güneş pilinin üst yüzey normali ile bir açı yaparak geldiği zaman, güneş ışınımının bir kısmı panel yüzeyi tarafından yansıtılmaktadır. Yüzeyin yansıtma katsayısı, ışınların geçtiği ortamların kırıcılık indisine ve yok olma parametrelerine dayalı olarak değişmektedir.

Gelen ışınların güneş pili yüzeyi tarafından yansıtıldıktan sonra gelen ışığın şiddeti zayıfladıktan sonra yarı iletken içinden geçmektedir. Bu geçen zayıf ışınım ise,

$$T = \frac{(1-R)^2 e^{-ax}}{(1-R)^2 e^{-2ax}} \quad (3.8)$$

bağıntısı ile verimektedir.

### 3.2.4. Sıcaklık etkisi

Fotovoltaik güneş pillerinin elektrik enerjisi üretmesi esnasındaki sıcaklığı, bir takım kullanım alanlarına göre değişkenlik göstermektedir. Bundan dolayı sıcaklığın güneş pili verimi üzerindeki etkisinin tespitinin doğru yapılması gerekmektedir. Fotovoltaik güneş pilinin kısa devre akımı ortamın sıcaklık değeri ile değişmemektedir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak, güneş pilinin kısa devre akımı az da olsa bir artma eğilimi göstermektedir. Bunun durumun sebebi, sıcaklığın artmasına bağlı olarak yasak bant aralığının azalması ve buna bağlı olarak dairesim emiliminde artmanın oluşmasıdır. Sıcaklık artışına bağlı olarak azalış eğilimi gösteren diğer fotovoltaik güneş pili parametreleri ise açık devre gerilimi ve fill faktörüdür [10].

Buna bağlı olarak kısa devre akım değeri,

$$I_{kd} = I_0(e^{qV_{ad}/kT} - 1) \quad (3.9)$$

şeklinde gösterilmektedir.

Bu bağıntıda bazı gerekli ihmallere yapıldıktan sonra,

$$I_{kd} = AT^\gamma e^{-E_{q0}/kT} e^{qV_{ad}/kT} \quad (3.10)$$

formülü elde edilmektedir.

A=Sıcaklığa bağlı olmayan sabit bir değer

E<sub>q0</sub>=Yarı iletken maddenin yasak bant aralığı

Fill faktörü,  $V_{ad}/(kT/q)$  ifadesine göre değişmektedir. Sıcaklığın değişimi, daha çok oranda açık devre gerilimini etkilemesinden dolayı fotovoltaik güneş pilinin çıkış gücü ve verimi sıcaklık artışına bağlı olarak azalmaktadır [14].

Sıcaklığın düşük tutulması ile yüksek çıkış verimi elde etmek amacıyla uzay uygulamalarında kullanılan fotovoltaik güneş pillerinin üzeri erimiş silikondan oluşmuş, saydam bir katman ile kaplanmaktadır. Bu katman çok katmanlı bir filtre karakteristiği gösterir ve mor ötesi ışınların güneş pilinin yüzeyinden yansımalarını sağlamaktadır [7].

**Çizelge 3.1.** Bazı yarı iletken maddelerin enerji bant aralıklarının sıcaklık ile değişimi

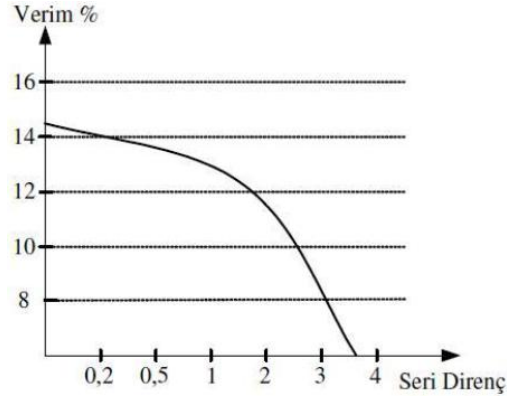
Malzeme	T=300 <sup>0</sup> K	T=0 <sup>0</sup> K
Si	1.12 eV	1.17eV
Ge	0.67eV	0.7[5]V
PbS	0.37eV	0.29eV
PbTe	0.29eV	0.19eV
InSb	0.16eV	0.23eV
GaSb	0.69eV	0.79eV

Türkiye’de yapılan çalışmalar ışığında uzun yılların ortalamasına bağlı olarak meydana gelen verilere göre güneş paneli verimlerinin yaklaşık olarak %2,68’lik verim kaybı söz konusudur. Yüksek güneş ışınımına bağlı olarak yüksek güneş paneli verimi söz konusu iken yine yüksek ışınım ve yüksek sıcaklık değerleri söz konusu olduğunda güneş paneli veriminde düşme durumu da kaçınılmaz bir gerçektir [16].

### 3.2.5. Güneş pili iç seri direnç etkisi

Fotovoltaik güneş pili iç yapısında bulunan seri dirençten dolayı oluşan verim kayıpları, panel boyunca oluşan akımı bir araya getirmek amacıyla p- tipi ve n- tipi bölgelerin üstüne yerleştirilen metal iletkenlerden dolayı meydana gelen kayıplardır. Özellikle güneş ışınımının yoğunlaştığı yüzey alanı üzerinde, iletkenlerin yüzey alanları minimum düzeyde tutulmalıdır. Bu şekilde meydana gelen akım için alacağı yolun uzunluğu ve bunun sonucunda fotovoltaik güneş pilinin seri iç direncinin değeri artar. Bu iletken kayıplarından farklı olarak, bir güneş pilinin karakteristiği sırasında oluşan akımın ölçülebilmesi için bağlanan bağlantı iletkenleri, fotovoltaik güneş pili üzerinde seri direnç etkisi meydana getirmektedirler [17].

Seri direnç, değişik katmanlardan geçen akımdan dolayı bir dağılım göstermektedir. Güneş pilinin iç seri direnci dolayısıyla akım-gerilim karakteristiği eğrisinde sapma oluşmaktadır. Aşağıdaki şekilde bir fotovoltaik pilin veriminin seri dirence bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil3.3. Bir fotovoltaik pilin veriminin seri dirençle değişimi

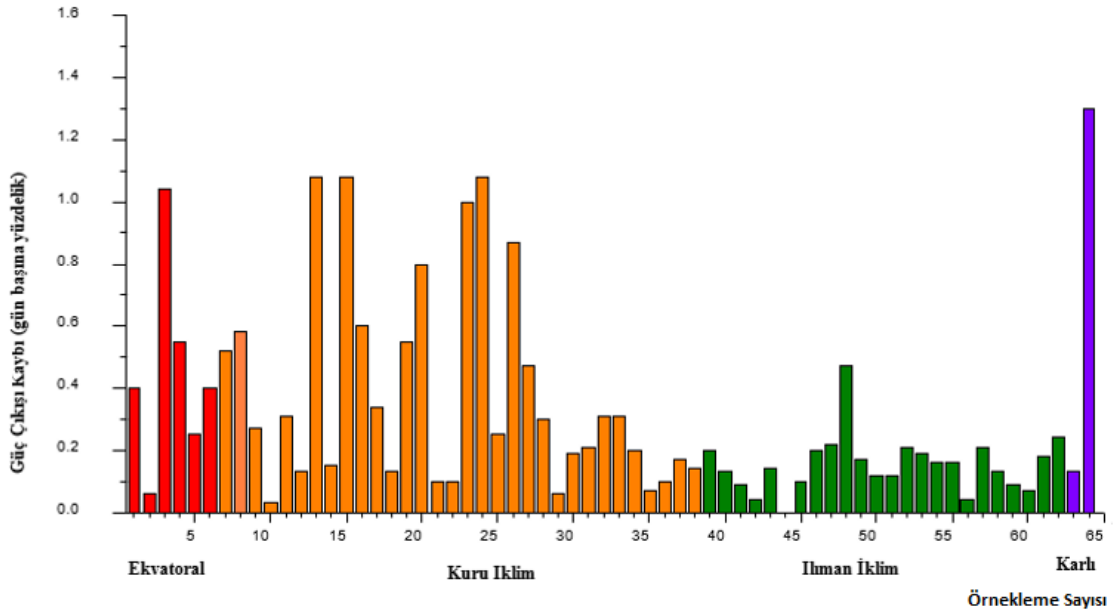
### 3.2.6. Fotovoltaik pilin kalınlığı

Fotovoltaik güneş pilinin kalınlık oranı küçüldükçe geçirilmiş ışınlardan ileri gelen kayıplar artmaktadır. Dolayısıyla buna bağlı olarak da güneş pilinin verimi düşmektedir. Genel olarak kullanılan silisyum tabanlı fotovoltaik güneş pillerinin kalınlığı 0,2- 0,4mm arasında değişim göstermektedir.

### 3.2.7. Fotovoltaik panel üzerindeki kirlenme

Fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde (GES) kirlilik faktörü, fotovoltaik panellerin üzerinde, toz ya da montaj edilen coğrafi konum ve çevreden dolayı diğer materyallerin birikmesi olayıdır. Kirlenme ve toz faktörü fotovoltaik sistemin potansiyel enerji üretimine büyük oranda etki edebilmektedir. GES sistemlerinde tozun verim üzerindeki etkisi ile ilgili yapılan araştırmalar, özellikle az yağış alan bölgelerde daha çok verim kaybının meydana geldiği ve genel olarak toza bağlı kayıpların %15 civarında olduğunu göstermektedir[1]. Bu durumda yapılması gereken en önemli şey, fotovoltaik modülleri temizlemektir. Ancak güneş enerjisi santrallerinin çok büyük alanlara yayılması ve yerleşimleri, pv modüllerin temizleme maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Kullanılacak temizleme ekipmanı veya aracı ve temizleme yöntemi, maliyetleri ciddi derecede değiştirebilmektedir [18].

Şekil 3.3'de farklı iklim tipleri için fotovoltaik panel kirliliğine bağlı olarak farklı güç kayıp oranları verilmiştir [19].

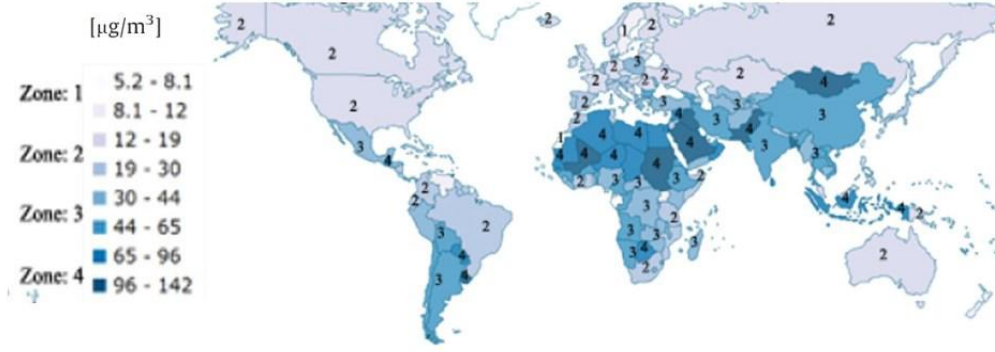


Şekil 3.4.Farklı iklim tipleri için farklı güç kayıpları [19]

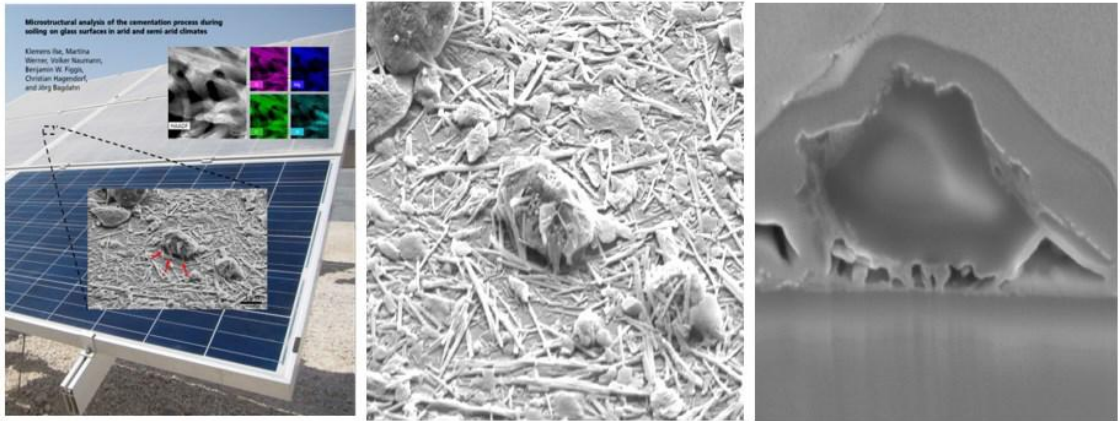
Tozun fotovoltaik panel yüzeyleri için risklerini genel olarak iki bölüme ayırabiliriz. Bu riskler;

- Kısa Vadeli Olarak Etkisini Gösteren Riskler: Tozlanma ve kirlenmeye bağlı etkilerin fotovoltaik paneller üzerindeki etkisi olarak söylenebilir.
- Uzun Vadeli Olarak Etkisini Gösteren Riskler: Ultraviyole radyasyonuna bağlı olarak, havada salınımı sırasında bulunan tozun, atmosferin korozyona neden olma etkilerinin, sıcaklık farklarının fotovoltaik paneller üstündeki etkileri olarak belirtilebilir[20].

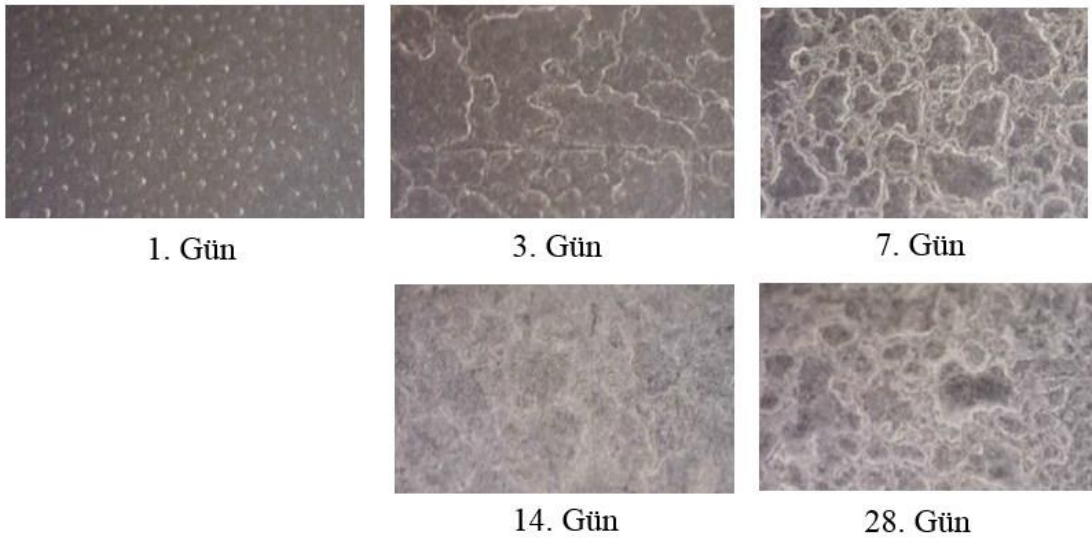
Havadaki toz taneciklerinin boyutları ve nitelikleri, fotovoltaik güneş modülleri üstünde farklı tipte etkilere neden olmaktadır [21, 22]. Şekil 3.4'te, toz parçacıklarının dünya üzerindeki dağılımları verilmiştir. Farklı toz tanecik türlerinin modüller üzerindeki görünüşleri Şekil 3.5'te ve bu toz taneciklerinin modüller üzerindeki etkileri ise Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekil 3.6'da farklı tipte toz taneciklerinin modüller üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Burada 28.günün sonunda, fotovoltaik modüllerin güneş ışınımı optik geçirgenliğinin %20 oranında azaldığı tespit edilmiştir[23, 24].



Şekil 3.5. Dünya üzerindeki toz tanecik boyutlarının ülkelere göre dağılımı [21, 22]



Şekil 3.6. Farklı toz tanecik tiplerinin modüller üzerindeki görünüşleri



Şekil 3.7. Farklı toz tanecik tiplerinin modüller üzerindeki etkileri

### 3.2.7.1. Toz etkisinin ölçülmesi

Toz etkisi tespit edilirken, seçilmiş olan kirli bir referans modülü ile temiz bir kontrol modülünün karşılaştırması yapılır. Karşılaştırma sırasında ölçülen kısa devre akımları kullanılabilir. Bu durumda modül üzerine etki eden etkin ışınım miktarının bir karşılaştırması yapılabilir. Toz veya kirlilik etkisi olarak tanımladığımız bu etkinin

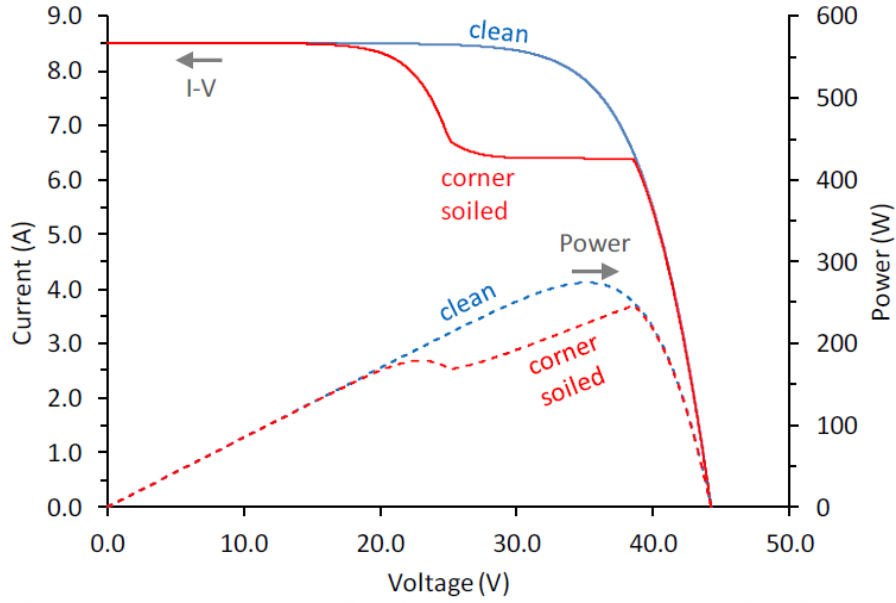
doğru bir Şekilde incelenebilmesi için fotovoltaik modüllerin gerilim-akım karakteristiklerinde farklılıklardan yararlanılabilir[21]. Şekil 3.7’de görüldüğü üzere eş dağılım gösteren ve eş dağımlı olmayan toz kirlilik örnekler verilmiştir.



Şekil 3.8. EŞ dağımlı bir toz kirliliği[25]



Şekil 3.9. EŞ dağılım göstermeyen bir toz kirliliği  
(Panelin sağ alt köŐesinde toz birikmesi gerçekleşmiş) [25]



Şekil 3.10. TozKirliliğinde eş dağılım göstermeyen fotovoltaik modüle ait gerilim-akım grafiği [25]

### 3.2.7.2. Kirlilik ölçüm sistemi için örnekler

Dünyada toz kirliliği oranını ölçmek için geliştirilmiş birkaç test sistemi bulunmaktadır. Bu test sistemleri içinde önde gelenlerinin birkaçı aşağıda verilmiştir.

#### 1) Atonometrics kirlilik ölçüm istasyonu

Amerika'nın Texas eyaletinde üretilen bu tasarım ile sistemdeki kirlilik hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. Cihaz, bir adet fotovoltaik modülü, panel serilerinden ayırmak suretiyle, cihaz kitinde dahili olarak gelen referans modül ile karşılaştırarak, modülün kirlilik oranının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Referans modül, cihaz üzerindeki pompa aracılığı ile saf su püskürtülerek, devamlı olarak temiz tutulmaktadır. Bu temizleme olayı, bölgenin coğrafik ve meteorolojik şartlarına göre değişim göstermektedir. Geniş alanlara yayılmış santrallerde, özellikle de kirliliğin doğal şartlara bağlı olmadığı (örneğin sanayi bölgeleri) bölgelerde, fotovoltaik güneş enerjisi santralının farklı bölgelerindeki kirlilik miktarını belirleyebilmek için, bu cihazdan birden fazla gerekmektedir [26].



Şekil 3.11. Atonometrics kirlilik ölçüm istasyonu [26]

## 2) Kipp & Zonen toz sensörü (Kipp Zonen dustIQ sensor)

Ünlü Alman sensör üreticisi Kipp & Zonen tarafından, 2017 yılı içerisinde piyasaya sürülmesi planlanmıştır. Fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde kirliliği ölçmek için kullanılan bu cihazın, optik yöntemler kullanarak kirliliğin ölçülmesi planlanmıştır. Kipp & Zonen “güneş ışığına ihtiyaç duymadan”, kirlilik ölçümünü yapabileceğini iddia ettiği bu cihazdaki teknolojinin patentini almıştır [27].



Şekil 3.12. Kipp & Zonen firmasına ait optik sensörler yardımıyla kirlilik miktarını ölçtüğü sensörün görseli [27]

Fotovoltaik sektörünün geçmişte ciddi bir pazara ait olduğu ülkeler, yağışı bol alan bir coğrafyaya sahiptir. Bu sayede toz ve tozun türevlerinin neden olabileceği verim kayıpların daha az oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’de ise, coğrafi konumu itibarıyla toza bağlı verim kayıplarının çok büyük oranlarda olduğu gözlemlenmiştir. Toz ve toz türevi taneciklere bağlı verim kayıplarının belirlenmesi için Türkiye’de yer alan fotovoltaik güneş santrallerinde herhangi bir ekipmanın bulunması çok zayıf bir

ihtimaldir. Yağış miktarının çok az olduğu veya yağışın hiç olmadığı mevsimlerde kısa süreli olarak ölçülebilen toza bağlı kirlilik oranları, %20-30 seviyelerindedir.

Güneş panellerinde enerji dönüşüm verimliliği panel yapısına göre değişkenlik göstermesine rağmen ortalama verimleri %20 civarında seyretmektedir. Bu verim oranı da zamanla panelin üzerinde toz, kir, polen ve çeşitli toz taneciklerinin birikmesiyle azalmaktadır. Kirliliği ve tozlu bir coğrafyada bulunan özellikle çöllerde kurulan güneş enerjisi santrallerinde toza bağlı verim düşümü %30 civarı bir oranda azalma göstermektedir. Ticari amaçlı üretilen deterjan ve deterjan türevi bir takım kimyasal temizlik ürünleri ile panellerin temizlenmesi zaman alıcı, çok pahalı ve çevreye zarar vermektedir. Hatta bu kimyasallar panellerin yapısına ciddi oranda zarar verebilmektedir. Güneş panellerinden maksimum oranda verim almak için her hafta temizlik ve bakımlarının yapılması gerekmektedir. Fakat bu durum çok büyük alanlara yayılmış olan güneş santralleri için oldukça zahmetli bir işlem olmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmenin en önemli yollarından bir tanesi otomatik panel yüzeyi temizleme sistemleridir.

Tozlanmanın güneş panellerinin verimleri üzerindeki etkisine dayalı olarak gerçekleştirilen araştırmalar, özellikle yağışın çok az olduğu alanlarda toza bağlı verim kayıplarının %15 gibi çok ciddi oranlarda olduğunu göstermektedir [28]. Bu verim kayıplarının önüne geçmek için deen başta yapılması gereken fotovoltaiik modüllerin belli periyotlarda temizlenmesidir.

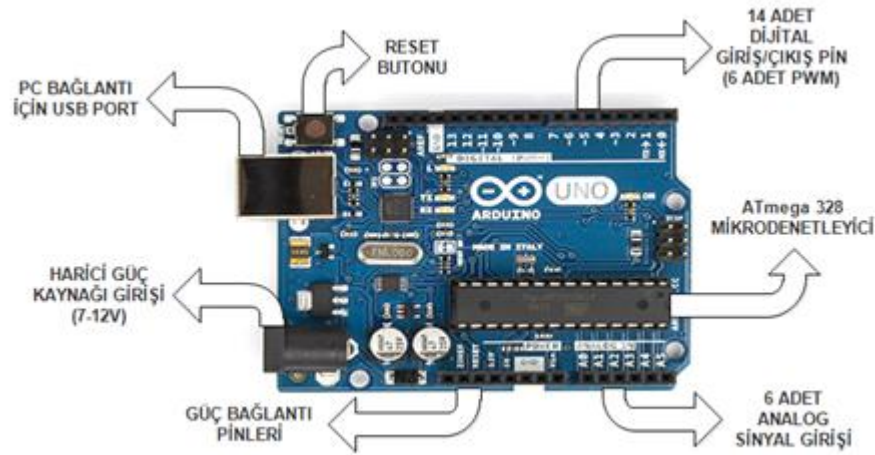
Toz kirliliğinden dolayı meydana gelen verim kaybı toz taneciklerinin cinsine göre değişkenlik göstermektedir [29]. Güneş panellerinin yatay ile yaptığı eğim açısı 15 dereceden büyük ise yağın yağmurun panel yüzeyinde biriken tozu temizlemede etkin olunacağı varsayılmaktadır. Güneş panellerinin yatay ile yaptığı eğim açısı 15 dereceden büyükse tozlanmadan dolayı meydana gelen verim kaybı %0,5'le sınırlı olmaktadır [30].

## 4.TASARIMDA KULLANILAN MATERYALLER

### 4.1. Arduino Uno Mikrodenetleyici

Arduino, İtalyan elektronik mühendisleri tarafından yazılım ve donanım bakımından açık kaynak kod mimarisi ile geliştirilen bir mikrodenetleyici karttır. Arduino mikrodenetleyici kartı kendi başına çalışabilen interaktif tasarımlar geliştirmek amacıyla kullanılabilirdiği gibi bilgisayar ile beraber çalışan yazılımlara da bağlanabilmektedir.Arduino kartı C++ile programlanabilen ve bilgisayar üzerinden çalışabilen bir mikro denetleyicientegreye sahiptir.

Arduino Uno mikrodenetleyici kartında 14 adet dijital giriş ve çıkış pini yer almaktadır. Bu pinlerden 6 tanesi PWM çıkış pini olarak kullanılabilir. Buna ilaveten 6 adet analog giriş pini de bulunmaktadır. Kartın üzerinde 16 MHz kristal bir osilatör, bir USB portu, bir enerji besleme giriş portu, bir ICSP başlığı ve reset düğmesi yer almaktadır. Bu mikrodenetleyici kartı mikroişlemci yazılımını destekleyebilmek için gerekli her türlü yazılımı ve donanımı kapsamaktadır [32, 33].



Şekil 4.1. Arduino Uno ve temel bileşenleri

Bazı arduino çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Arduino Uno (R3)
2. Lily Pad Arduino Board.
3. RedBoard Arduino Board.
4. Arduino Mega (R3) Board.
5. Arduino Leonardo Board.
6. Arduino Shields.



Şekil 4.2. Arduino kart çeşitleri

Arduino Uno, USB portu üzerinden harici pil veya güç kaynağı ile rahatlıkla enerjilendirilebilir. Enerji beslemesi, besleme portundan yapılabildiği gibi Gnd ve Vin girişleri ile de verilebilir. Arduino kartı üzerindeki enerji pinleri şu şekilde verilebilir:

**V<sub>in</sub>** : Enerji bağlantı girişi yerine kullanılabilen bağlantı girişidir. Arduino Uno'nun enerjilenmesini sağlamaktadır.

**5V** : Arduino Uno kartı üzerinde yer alan regüle edilmiş 5Volt çıkış verebilen bir bağlantı girişidir.

**3,3V**: Arduino Uno kartı üzerinde yer alan regüle edilmiş 3.3Volt çıkışı verebilen bir bağlantı girişidir.

**GND**: Kart üzerindeki toprak bağlantısıdır.

Bu mikroişlemcide yer alan 14 adet dijital pinler hem giriş hem de çıkış olarak tanımlanabilmektedirler. pinMode() fonksiyonu pinler giriş veya çıkış olarak seçilebilir. DigitalWrite() ve digitalRead() fonksiyonları da pinlerde gerçekleşen olayı değiştirme veya okuma fonksiyonlarını gerçekleştirebilmektedirler. Mikrodenetleyici kartı bağlantıları 5 Volt besleme gerilimi ile çalışmaktadır. 20-50 K $\Omega$  iç direnç değerine sahiptirler. Ayrıca arduino kartında bazı bağlantıların kendine has özellikleri de yer almaktadır. Bu özellikler şu şekilde verilebilir:

Seri Haberleşme [0. (RX) , 1. (TX) pinleri]: Bu pinler, USB çıkış portuna olarak TTL seri sinyallerini iletmek amacıyla kullanılmaktadırlar.

Dış Kesmeler [2. ve 3.pinler]: Bu pinler küçük değere sahip, düşen ve artan sinyaller, durum değişikliği benzeri işlemler amacıyla değiştirilebilen kesme bağlantıdır. attachInterrupt() komutuyla kullanılmaktadırlar.

PWM [3., 5., 6., 9., 10., ve 11. pinler]: analogWrite() komutuyla 8 bit çözünürlük değerinde PWM çıkış değeri verebilen pinlerdir.

SPI [10. (SS), 11. (MOSI), 12. (MISO), 13. (SCK) pinler]: SPI kütüphanesiyle SPI haberleşme uygulamaları için kullanılabilen pinlerdir.

LED [13.pin]: Arduino mikroişlemcide yer alan LED 13. giriş pinine bağlıdır ve 13. Giriş pininin değerine göre yakılabilmekte ve söndürülebilmektedir.

Arduino Uno kartı üzerinde 6 adet analog giriş pini yer almaktadır. Bu pinler A0, A1, A2, A3, A4 ve A5 olarak belirlenmiştir. Bu analog pinlerin herbiri 10 bit çözünürlük değerine sahiptir. Genellikle 5 Volt ile Gnd arasında ölçüm yapılan girişler amacıyla AREF bağlantısından yararlanılarak ölçüme aralık değerleri ayarlanabilmektedir. Bu durum için analogReference() komutundan yararlanılmaktadır.

I2C [4. (SDA) , 5. (SCL) pinler]: Wire kütüphanesiyle I2C (TWI) iletişimine olanak sağlayan pinlerdir[33], [34], [35].

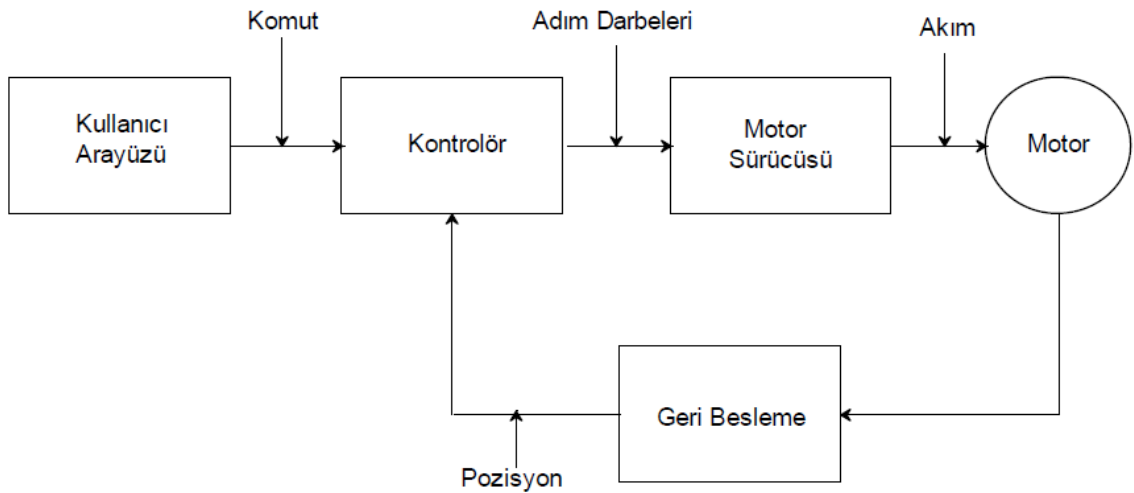


Şekil 4.3. Arduino Uno [34]

## 4.2 Step (Adım) Motoru

Geleneksel elektrik motorlarından farklı bir yapıya sahip olan step motorlar, isimlerinden de anlaşılacağı üzere fonksiyonel hareketini adım adım gerçekleştirebilen

elektrik motorlarıdır. Step motorlar, fazlarına uygulanan elektriksel sinyalleri ayrıık olarak mekanik harekete dönüştüren elektromekanik cihazlardır. Yüksek çözünürlük ve hassasiyet elde etmek amacıyla geliştirildikleri için genel olarak asgari hata istenen, hassas konum kontrolü tasarımlarda tercih edilmektedirler [36]. Adım motorları, devamlı bir dönme hareketi yerine istenilen eşit büyüklükteki ayrıık açısal hareketler gerçekleştirebilen bir elektromekanik tasarımdır. Fazlarına uygulanan kontrol sinyalleri darbe sinyalleridir. Adım motorunun sürücüsüne gönderilen bir dijital darbe sinyali, adım motorunun belirlenen bir açı kadar hareket etmesini sağlar ve bu hareket her bir faza uygulanan her bir darbe sinyali için devam etmektedir. Bu şekilde adım motorunun karakteristik dönme olayı gerçekleşmiş olur. Adım motorunun dönüş yönü verilen darbe sinyallerinin sırası değiştirilmek suretiyle saat yönünde veya saatin tersi yönünde olabildiği gibi, hızı da benzer şekilde verilen darbe sinyallerinin frekansı ile değiştirilebilmektedir. Bir adım motoru tasarımı genel olarak üç temel birimden meydana gelmektedir. Bunlar: Kontrolör, motor sürücüsü ve motordur. Açık dolaşım denetiminin yeterli performans göstermediği hassas konumlandırma gerektiren tasarımlar söz konusu olduğunda geri besleme de yapılmaktadır. Şekil 4.8'de klasik bir step motoru tasarımının blok diyagramı verilmiştir [36].



Şekil 4.4. Step motoru sistemi [36]

Kullanıcı arayüzü adım motorunun hareket kontrol karakteristiğini komuta etmek için tasarlanmaktadır. Kontrolör birimi ise, kullanıcı arayüzü üzerinden veya feedback biriminden gelen sinyalleri işleyerek step motorunun adım ve yön durumunu tayin etmektedir. Motor sürücüsü ise kontrolör üzerinden aldığı komutlara göre adım motoruna yol vermek için istenilen akımı üretmektedir. Geri besleme birimi ise adım motorunun konumunu tespit edip kontrolör birimine bilgi vermektedir.

Adım motorlarının pek çok uygulamada kullanılmasının bazı nedenleri bulunmaktadır. Bu nedenlerden bazılarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Step motorlarında bilgiler dijital olarak işlenmektedir. Çıkışhareketlerinin dijital olması adım motorlarını uygulamalar için ideal bir çözüm bileşeni olarak öne sürmektedir
- Adım motorlarının adım sayısı ve yön gibi değişkenlerinin mikrodenetleyici ya da bilgisayar üzerinden kontrol edilebilmesi, adım motorunun konumunun tespit edilmesine olanak tanır.
- Adım motorları, daha kolay ve az maliyet ile hız, ivme ya da konum kontrolünün yapılabilmesine imkan sunmaktadırlar.
- Step motorları basit mekaniksel yapıları sayesinde kullanıcılar için kullanışlıdır.
- Step motorlar için lineer güç kuvvetlendiricisine ihtiyaç yoktur.
- Dijital kontrol verilerine anlık olarak cevap vermektedirler.
- Adım motorlarının hız bandları geniştir [37].

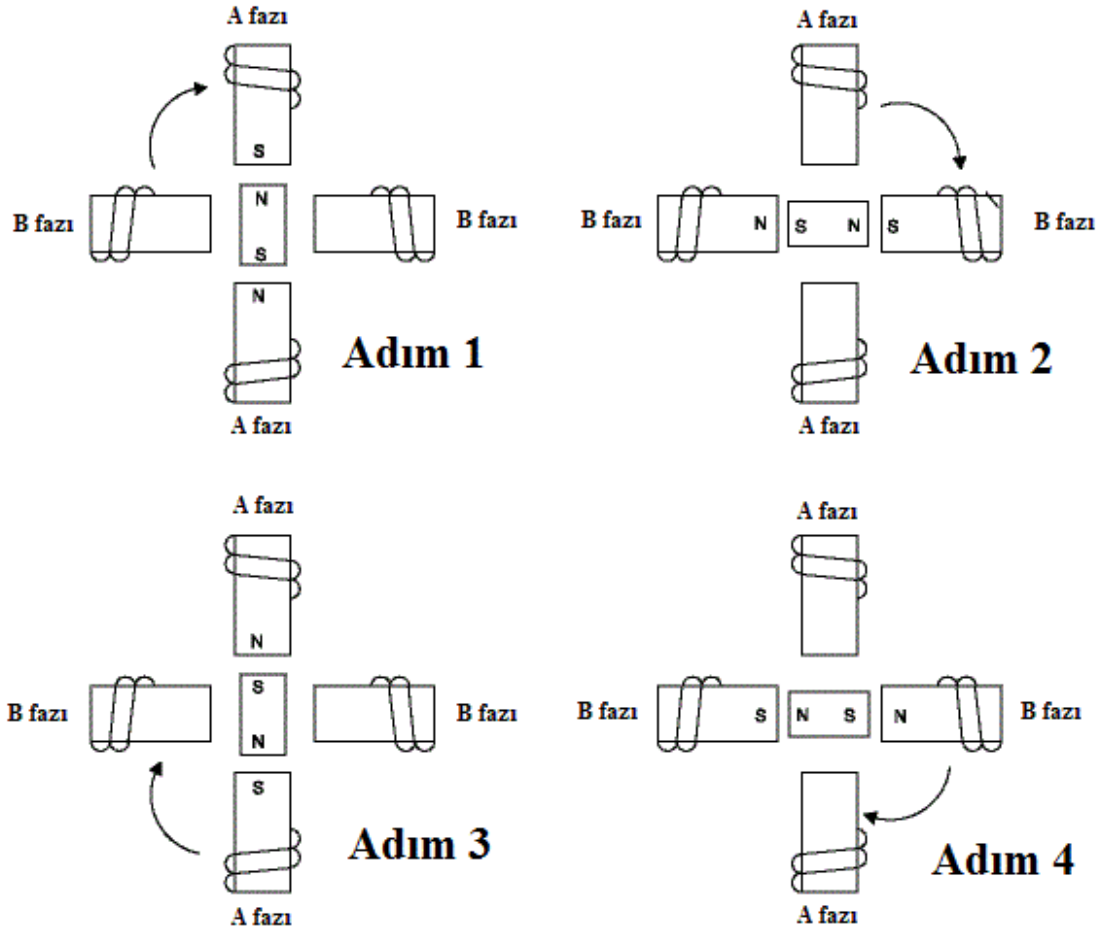
Step motorlarının pek çok üstünlüğüne karşın bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarının bir kaçını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Step motorlarında adım aralıkları sabit değildir. Bu yüzden motorun rotorundan alınan hareket ayıraktır. Rotor hareketi sabit değildir. Bu durum da motorun vibrasyonlu çalışmasına neden olmaktadır.
- Klasik sürücüler ile yol verildiklerinde verim yüzdeleri düşmektedir.
- Adım motorlarının çıkış güçleri ve momentleri sınırlıdır [37].

#### 4.2.1 Step motorun çalışma prensibi

Elektriksel sinyallerin verilmesi sonucu mekanik olarak hareket edebilen motorlara adım motorları denilir ve adım motorları dijital olarak çalışmaktadırlar. Dijital olarak çalışma şekli ise [1 ve 0] bilgileriyle çalışmak anlamına gelmektedir.

Genel olarak elektrik motorlarına enerji verildiğinde hareket ederler. Enerji kesildiğinde ise motorun hareketi sonlanır. Adım motorları için ise durum farklıdır. Adım motoruna dijital bir sinyal uygulandığında motor belirli bir dönme hareketi gerçekleştirir ve durur. Tek bir darbe sinyali verildiğinde rotor tek bir adım atar ve durur. Darbe sinyalleri sürekli olarak verilmeye devam edilirse, motor adım adım hareket eder. Bu şekildeki çalışma yöntemi bütün step motorlarının çalışma prensibini teşkil etmektedir[38].



Şekil 4.5. Adım motorları için temel hareket şekli [38]

Şekil 4.5'de iki fazlı bir adım motorunun karakteristik bir adım dizisi verilmiştir. Burada birinci adımda A fazına enerji verilmektedir. Zıt işaretli kutupların birbirlerini çekmesi sonucunda motorun rotoru verilen konumda manyetik olarak kilitlenir. A fazına verilen enerjinin kesilip B fazının enerjisi verildiğinde, motorun rotoru saat yönünde  $90^\circ$  hareket eder. Adım 3'de ise, B fazının enerjisinin kesilip adım 1'deki durumun tersi yöndeki A fazına enerji verildiğinde ise rotor  $90^\circ$  daha hareket eder. Adım 4'de de A fazının enerjisinin kesilip, B fazına adım 2'dekinin durumun tersi yönünde enerji verildiğinde rotor  $90^\circ$  daha hareket eder. Bu durumun ardışık olarak tekrarlanması adım motoru için rotorun  $90^\circ$  'lik açı aralıkları ile saat yönünde hareket etmesini sağlamaktadır.

Adım motoru seçimi yapılırken motorun sargılarının indüktansına ve momentine dikkat edilmesi gerekmektedir. Aşırı moment adım motorunun kontrol dışı hareket etmesine sebep olacağından dolayı moment değeri tespit edilirken motora ait maksimum momentin %70 'i ve hatta bu değerden bir miktar daha küçük bir moment değeri seçilmelidir.

### 4.2.2 Step motor çeşitleri

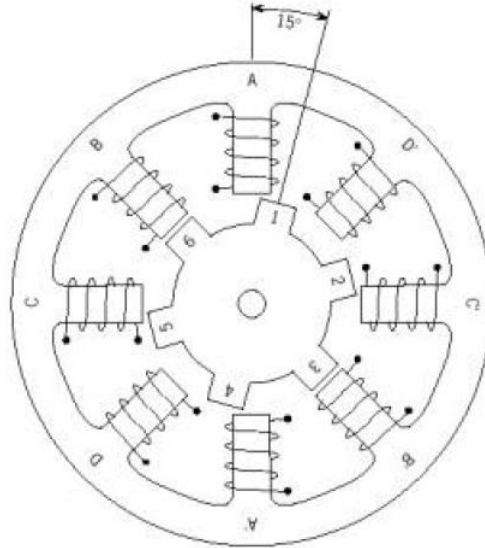
Günümüzde en yaygın olarak kullanılan adım motorları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Değişken relüktanslı adım motorları (VR)
- Sabit mıknatıslı adım motorları (PM)
- Karma tip adım motorları (HYBRID)

Bağlantı durumlarına göre ise, adım motorları tek kutuplu (unipolar) ve çift kutuplu (bipolar) şeklinde iki sınıfa ayrılmaktadır. Tek kutuplu motor tiplerinde enerji beslemeleri tek yönlüdür ve bundan dolayı tek yönde akım iletilmektedir. 5 ve 6 kablolu çeşitleri mevcuttur. Çift kutuplu motorlar için ise faz başına tek sargı düşmektedir. Sargılardan akan akımı ters yönde iletmek için manyetik kutbun ters yönde döndürülmesi gerekmektedir. Bu şekilde her iki yönden de akım iletilebilir. Genel olarak 4 uçları bulunmaktadır. İki motor tipini birbiri ile karşılaştırdığımız zaman, tek kutuplu motor tipinin kontrolünün daha kolay olduğunu görebiliriz. Çift kutuplu motor tiplerinde ise daha az bobin bulunduğu için daha kalın bobinler kullanılabilir. Bu durum da motorun daha fazla akım çekmesini sağlayarak, yüksek tork değerlerinde motorun çalışabilmesine imkan vermektedir[39].

#### 1) Değişken relüktanslı adım motorları (VR)

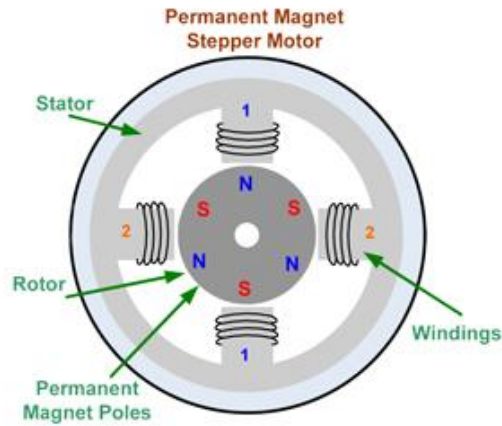
Adım motorları arasında en basit yapıya sahip motor tipidir. Silindirik şeklindeki yumuşak demir rotoru ve rotorun üzerinde açılmış oluklar bulunmaktadır. Rotor ve stator ait diş sayıları birbirinden farklı sayıdadırlar. Dişlerdeki bu farklılık sayesinde motorun rotoru daha hassas hareket etmektedir. Şekil 4.6'da verilen değişken relüktanslı bir adım motoru için stator ve rotor arasındaki diş sayılarının farkı, birbirleri ile eşleşen dişlerden bir sonraki dişler arasında açılacak bir fark meydana gelmektedir. Aşağıdaki şekilde verilen motor için oluşan fark 15 derecedir. Bu açı değerine ise adım açısı denilmektedir.



Şekil 4.6. Değişken relüktanslı bir adım motoru

## 2) Sabit mıknatıslı step motorları (PM)

Sabit mıknatıslı adım motorları, sabit mıknatısa sahip bir rotordan ve sargılı bir statordan meydana gelmektedirler. Herhangi bir faz sargısına enerji verildiğinde, stator sargısı üzerinde meydana gelen manyetik kutuplanmaya uyum sağlayacak biçimde rotor açısal bir dönme hareketi oluşturur. Bu durum diğer sargılar için de aynı şekilde devam eder. Bu şekilde dönme hareketinin sürekliliği sağlanmış olmaktadır. Statorun bir faz sargısına enerji verildiğinde rotor bir adım hareketi yaparak sabit bir konumda kalmaktadır. Rotorun bulunduğu konumda oluşturulan momente "tutma momenti" denilmektedir. Bu moment değeri rotoru bulunduğu konumdan ayırmak için ihtiyaç duyulan momenttir. Bu tipteki motorların sargılarına gerilim uygulanmasa da, sabit mıknatıs ve stator arasında az miktarda bir manyetik kuvvet meydana gelir. Oluşan bu kuvvete "tetikleme" veya "artık moment" denilir.

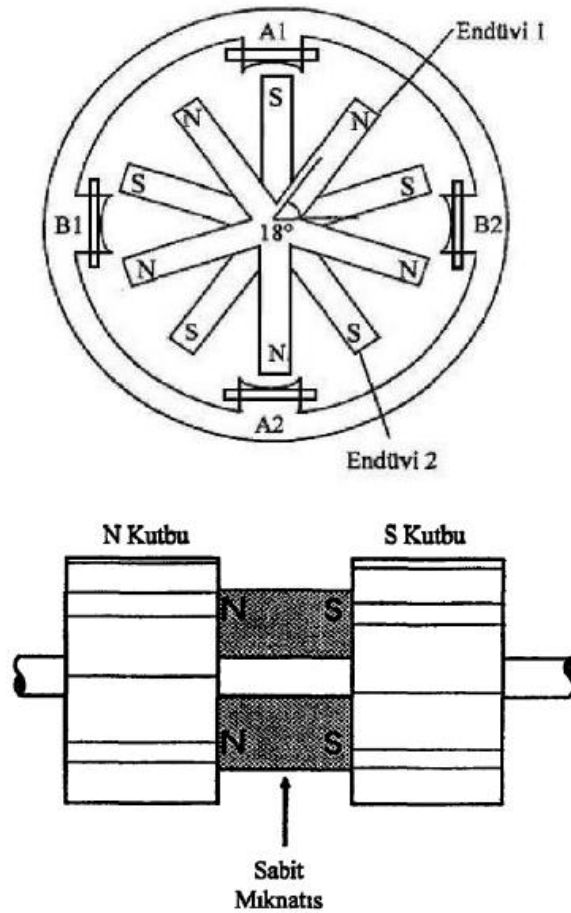


Şekil 4.7. Sabit mıknatıslı bir adım motoru [40]

### 3) Karma tip adım motorları (HYBRID)

7.5° adım açısından daha düşük bir adım açısında sabit mıknatıslı adım motoru üretmek bir hayli karmaşıktır. Daha düşük adım açıları, sabit mıknatıslı adım motorları ve değişken relüktanslı adım motorlarının bir araya getirilmesi ile üretilmektedir. Bu birleşimin sonucunda üretilen hibrit adım motoru, sabit mıknatıslı adım motoruna ait moment avantajını ve değişken relüktanslı adım motoruna ait hassasiyet özelliklerini kendi içinde barındırmış olmaktadır.

Şekilde 4.8'de verilen görselde görüldüğü üzere karma adım motorlarında rotor, değişken relüktanslı motorlardakigibi çok dişli bir yapıya sahiptir. Buna ek olarak rotor mili etrafında eksene yolu boyunca bir sabit mıknatıs bulunmaktadır. Sabit mıknatıslık ekseninde üretilen manyetik alan sayesinde Endüvi-1 üzerinde yer alan tüm kutuplar N olurken, Endüvi-2 üzerinde yer alan tüm kutuplar S olmaktadır. Rotorun dişleri manyetik akının akabileceği yolları tespit etmektedir [41].



Şekil 4.8. İki fazlı hibrit adım motorunun stator ve rotoru [41]

### 4.2.3. Adım motorlarını sürme yöntemleri

Adım motorları için rotor hareketinin elde edilebilmesi, stator sargılarının oluşturduğu manyetik alanın yönlendirilmesine ve rotor akısının sürülmesine bağlıdır. Bu işlem ise sargılar üzerinden akan akımın kontrol edilebilmesi ile mümkün hale gelmektedir. Adım motorları için uyarım teknikleri aşağıdaki verilebilir.

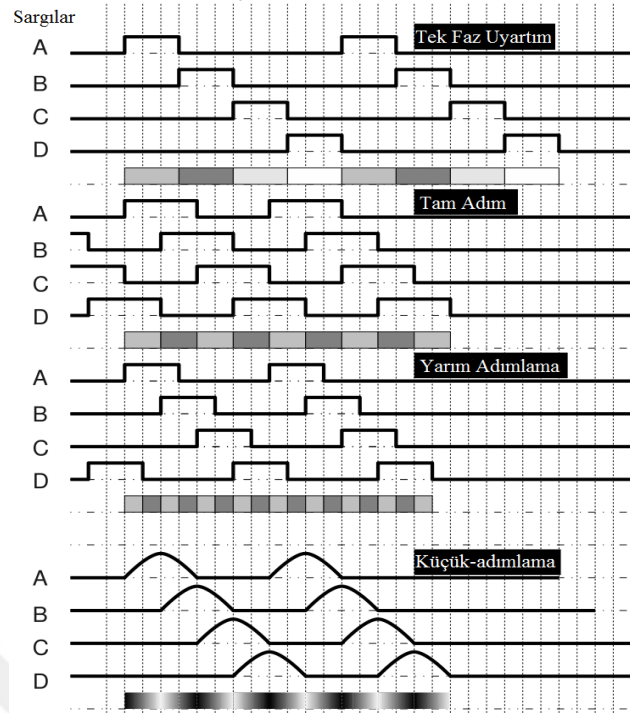
**Tek Faz Uyarımı:** Bu sürüş şeklinde tek bir zamanda tek bir sargıya gerilim uygulanmaktadır. Bu uyarım yönteminde motor, anma momentinden çok daha az bir momente sahiptir. Çift kutba sahip bir motor için tek diş için dönme hareketi 4 adımda gerçekleşmektedir. Rotorunda 25 diş bulunan bir motorun tam bir tur hareketi için 100 adıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şekildeki bir motor için her bir adım 3.6 derecedir.

**Tam Adım:** Adım motorlarını sürmek için sık olarak kullanılan bir motor sürme şeklidir. Burada iki faz sürekli olarak aktif durumundadır. Bundan dolayı motor en büyük anma momentini elde etmiş olur. Eş zamanlı olarak bir fazın enerjisi kesilir kesilmez, diğer faza gerilim uygulanır. Tek faz uyarım ile aynı adım sayısına sahip olmasına rağmen moment konusunda farklılık bulunmaktadır.

**Yarım Adımlama:** Bu yöntem ile motor sürme işlemi, tam adım ve tek faz uyarımı basamaklarını sırasıyla takip etmektedir. Bu şekilde açısal çözünürlük artmaktadır. Fakat motor tam adım konumunda daha az momente sahiptir. Bu durum ise akımın artırılması ile telafi edilebilmektedir. Tam adım veya tek faz uyarım ile sürülebilen bir adım motoru, yarım adımlama yöntemi ile de sürülebilmektedir. Yukarıda söz edilen motor için bu şekilde bir değişiklik söz konusu olursa, bir diş için dönme hareketi 8 adımda gerçekleşir. Bundan dolayı motor hareketinin bir tam turu 200 adımda meydana gelir ve her bir adım tek faz uyarımın yarısı (1.8 derece) olmaktadır.

**Mikroadımlama (Microstepping):** Statorun sargıları üzerinden akan akım sinüs dalgası şeklinde meydana geldiğinden dolayı "sinüs kosinüs mikro adımlama" olarak da adlandırılmaktadır. Diğer motor sürme yöntemlerinde motorun, bir adımdan diğer adıma geçmesi esnasında bir sarsıntı meydana gelir iken, mikroadımlamada yönteminde motor hareketi daha hassas bir şekilde olmaktadır. Motorun adımları daha küçüktür.

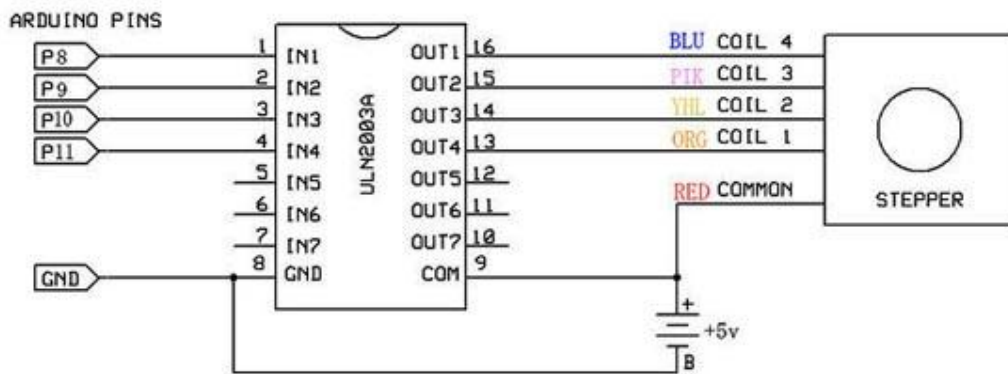
Farklı sürme yöntemleri için fazlar üzerinden akan akımlar aşağıdaki şekildeki gibi gösterilebilir.



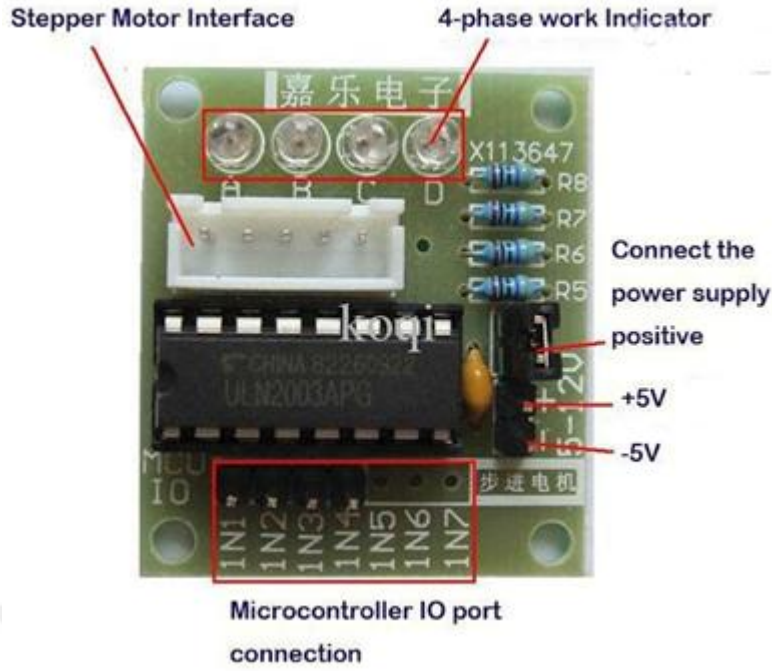
Şekil 4.9. Farklı sürme yöntemleri için faz akımları gösterimi[40]

### 4.3 ULN2003 Step Motor Sürücü Kartı

ULN2003 Step Motor Sürücü Devresi 5-12V aralığında çalışan Bipolar step motor sürücüleri kontrol etmek amacıyla tasarlanmış mikroişlemciler, arduino modüler ve geliştirme kartlarıyla kullanıma uygun bipolar step motor sürücü devresidir. ULN2003 Sürücü kartı ile ilgili detaylı bilgi tezin ekler kısmında bulunmaktadır.



Şekil 4.10. ULN2003 Step motor sürücü devresi



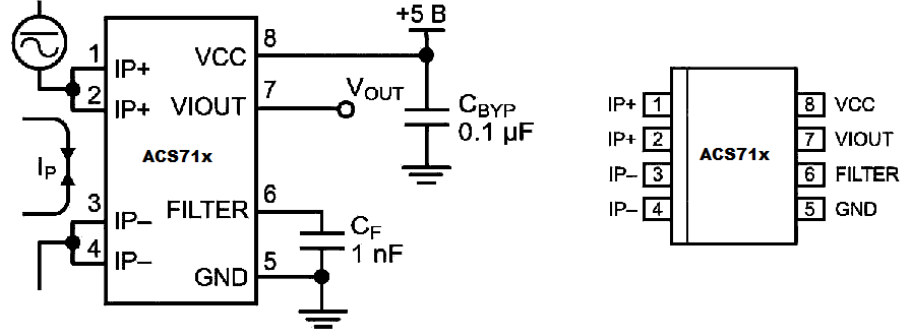
Şekil 4.11. ULN2003 Step motor sürücü kartı

#### 4.4 ACS712 Akım Sensörü

ACS712 akım sensörü endüstriyel, ticari ve haberleşme sistemlerinde AC ya da DC akım algılama için ekonomik ve hassas çözümler sunmaktadır. ACS712 sensörü kullanıcı tarafından kolaylıkla kullanılabilir. Tipik uygulamaları arasında motor kontrolü, yük algılama ve kontrolü, anahtarlama güç kaynakları sistemleri ve aşırı akım hatası koruması bulunmaktadır.

İçerisinde bulunan Hall Etkisi (Hall-Effect) tabanlı bir algılayıcı sayesinde seri bağlandığı elektriksel bağlantı üzerinden çekilen akımı ölçen ve bu ölçtüğü akım bilgisini analog bilgi olarak bizlere çıkış veren bir akım ölçme sensörüdür. Cihaz, kalıbın yüzeyine yakın konumlandırılmış bir bakır iletim yoluna sahip, hassas, düşük dengeli, doğrusal Hall sensör devresinden oluşmaktadır. Bu bakır iletim yolundan akan akımın uygulanması, entegre Hall IC tarafından algılanan ve orantılı bir gerilime dönüştürülen bir manyetik alan oluşturmaktadır. Cihazın doğruluğu, manyetik sinyalinin Hall dönüştürücüsüne yakınlığı sayesinde en uygun hale getirilir. Hassasiyet için programlanan düşük ofsetli, dengeli kırıyıcı BiCMOS Hall IC tarafından hassas, orantılı bir gerilim sağlanmaktadır. Artan akım, akım algılaması için kullanılan yol olan birincil bakır iletim yolundan (1 ve 2 numaralı pinlerden 3 ve 4 numaralı pinlere) aktığı zaman, cihazın çıkışı pozitif bir eğime ( $> V_{IOUT}(Q)$ ) sahip olmaktadır. Bu iletken yolun iç direnci, düşük güç kaybı için  $1,2 \text{ m}\Omega$ 'dur. Bakır iletkenin kalınlığı, cihazın beş katı kadar aşırı akım koşullarına kadar hayatta kalmasına olanak tanır. İletken yolunun

terminalleri, elektriksel olarak sensör kablolarından izole edilmiştir. Bu, ACS712 akım sensörünün, elektriksel izolasyon gerektiren uygulamalarda opto-izolatörler ya da diğer pahalı izolasyon teknikleri kullanılmadan kullanılmasına izin verir.



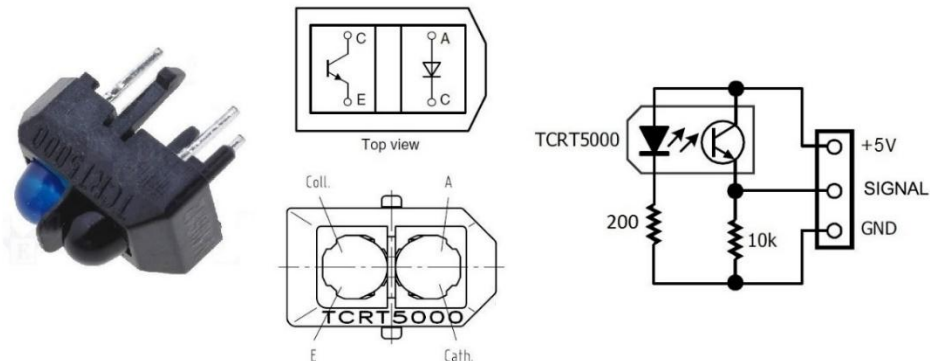
Şekil 4.12. ACS712 devre şeması



Şekil 4.13. ACS712 5 Amper'lik modülü

#### 4.5 TCRT 5000 Kızılötesi Sensörü

TCRT5000 bir kızılötesi sensördür. Üzerinde kızılötesi alıcı ve verici bulunur. Vericinin gönderdiği kızılötesi ışık bir yüzeyden yansdıktan sonra alıcıya gelir. Alıcı gelen ışık miktarına göre çıkış verir. Kızılötesi sensörlerin kullanım alanı oldukça geniştir. Sensör sabit uzaklıkta tutularak yüzeyin rengini tespit edebilirsiniz. Burada ölçüm yüzeyin ışık yansıtma özelliğiyle doğru orantılıdır. TCRT 5000 sensörü ile ilgili ayrıntılı bilgi tezin sonunda yer alan ekler bölümünde yer almaktadır.

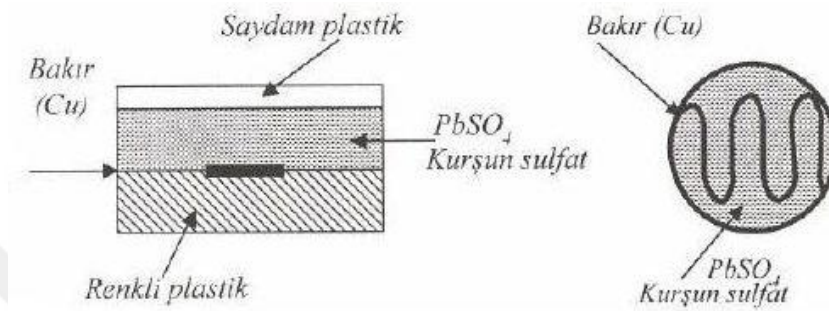


Şekil 4.14. TCRT 5000 kızılötesi sensörü ve devre şeması



düşürür. Elektronların sayısı foton frekansına bağlıdır. Bir foto direncin direnç aralığı ve hassasiyeti, farklı cihazlar arasında büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca, benzersiz foto dirençler, belirli dalga boyu bantları içindeki fotonlara büyük oranda farklı tepki verebilmektedirler.

Işık bağımlı dirençler farklı şekil ve renklerde olabilmektedir. LDR'ler, özellikle alarmlar, anahtarlama cihazları, saatler, sokak lambaları ve daha pek çok elektronik devrede kullanılabilirler.



Şekil 4.16. LDR'nin iç yapısı

## **5. FOTOVOLTAİK PANEL YÜZEY TEMİZLİĞİ İÇİN ARDUİNO MİKRO DENETLEYİCİ VE BULANIK MANTIK TABANLI SİSTEMİN TASARIMI**

Günümüzde birçok ülkede, fotovoltaik pillerden yararlanılarak güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmekte ve bu amaçla oluşturulan ve iyileştirilen tasarımların verimlerine dayalı çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan güneş fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin (GES) ekonomik ömürleri 20 yıl civarında kabul edilmektedir. Kurulum aşamasında gerçekleştirilen fizibilite analizlerinde bu kriter dikkate alınmaktadır. 20 yıl ve üzerinde bir ömre sahip ve tüm yıl boyunca elektrik enerjisi üretebilecek bir güneş enerjisi santralının verimi üzerinde mikro değerlerinde değişkenliklerin toplamsal olarak seneler içinde ortaya çıkan etkileri çok ciddi düzeylere ulaşabilmektedir. Güneş enerjisi santrallerinin kayıp oranları coğrafi şartlardan tasarım biçimine, tercih edilen ekipmanlardan işçilik kalitesine kadar birçok etmene bağlıdır. Kullanılan fotovoltaik panellerin verimliliği son derece önem arz eden bir konudur. Daha sağlıklı ve yüksek verim ile elektrik enerjisi elde etmek için verimliliği artırmanın en önemli yollarından bir tanesi de fotovoltaik panel yüzeylerinin, daha etkili güneş ışığı Emilimi için temiz bırakılmasıdır. Fotovoltaik panellerin yüzey temizliği manuel olarak yapılabildiği gibi otomatik sistemler yardımıyla da yapılması mümkündür. Ancak manuel yüzey temizliğinde ciddi anlamda iş gücü kayıpları ve büyük ölçekli maliyetler meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında, bu tür kayıpların önüne geçmek için arduino tabanlı yapay zeka sistemine dayanan otomatik bir temizleme sistemi tasarlanmıştır.

### **5.1 Yapay Zeka**

Teknolojik gelişmelerin basamakları araştırıldığında ilk zamanlarda sadece elektornik tabanlı veri transferi gerçekleştirmek ve kompleks işlemleri yapmak amacıyla tasarlanan bilgisayarların, zamanla kapsamlı verileri seçerek özet haline getiren ve elde olan verileri kullanarak durumlara dayalı değerlendirme yapabilen özelliklere sahip olduğu görülebilmektedir. Günümüz teknolojisinde ise, hem durumlara dayalı karar vermekte hem de bu durumlar arasında gerçekleşen ilişkileri değerlendirip öğrenebilmektedirler. Matematiğe dayalı bir formüle çevrilemeyen ve çözülebilmesi mümkün görünmeyen olgular hissel metotlar kullanılarak bilgisayarlar aracılığıyla çözüme kavuşmaktadırlar. Bilgisayarlara bu şekilde özelliklerin kazandırılması ve bu yeteneklerinin gelişmesine imkan veren tasarımlara “yapay zeka” tasarımları

denilmektedir. İlk kez 1950'li yıllarda ortaya çıkan “yapay zeka” terimi zamanla olabildiğince çok ilgi görmüş ve 40 ile 50 yıllık bir süre zarfında günlük hayatımızın çok önemli bir parçası haline gelen teknolojilerin meydana gelmesine yol açmıştır. Bu tür tasarımlar günümüzde “Zeki Tasarımlar” olarak isimlendirilmektedir. Zeki tasarımların meydana gelmesinde yapay zeka bilimlerinin katkı payı çok ciddi boyutlardadır [31].

Zeki tasarımların en belirgin yönleri hadise ve problemler için çözümler getirirken bilgi kavramına bağlı olarak kararlar verebilme özelliklerine sahip olmalarıdır. Zeki sistemler eldeki bilgiler ışığında problemleri öğrenerek, sonraki problemler hakkında kararlar verebilmektedir. Yazılım teknolojisinin gelişmesi ile birlikte bilgi işleme becerileri, öğrenme, karar verme, problemlere çözüm getirebilme, karşılaştırma yapabilme metotları ve bu metotlara dayalı yazılım sistemleri geliştirilmektedir. Bu gelişmeler de akıllı tasarımların gün geçtikçe daha yaygın olarak hayatımıza girmesine olanak vermektedir. Akıllı tasarımlar ve bilgisayarlar, insanın karar verebilme sürecine benzer bir karar verme sürecine gelmekte ve daha karmaşık fakat daha kullanışlı tasarımlar meydana gelmektedir. Yapay zeka konusundaki araştırmalar aşağıdaki gibi verilebilir.

- Bilgiye dayalı yapay zeka ve uzman sistemler
- Doğal diller (Bilgisayarlar ile direkt olarak iletişim olanağı)
- İnsansı algılama kabiliyetlerinin simüle edilebilmesi (Görme, konuşma, işitme, koklama vs.)
- Robotik tasarımlar
- Sinir ağları
- Bulanık mantık
- Sanal gerçeklik

## **5.2. Bulanık Mantık**

Günlük yaşamda insanların karşılaştığı olayların pek çoğu kesin değildir, belirsizdir, bulanıktır [42]. Genel olarak bir durumu anlatıp, birolay karşısında karara varırken netlik söz konusu olmayan terimler kullanırız.

Günümüz öncesinde, net olamayan durumların belirlenmesi ve anlamlı çıkarımlara ulaşılabilmesi için olasılık kuramı istatistikî metotlarla beraber

kullanılmıştır. Fakat gelişigüzel biçimde olmayan durumlarda olasılık kuramı ve istatistik gibi sayısal belirsiz durumları gerektiren metotlar kullanılamaz [43]. Örnek olarak az çok, hızlı yavaş, sıcak soğuk gibi. Ancak bu belirsizlikler bulanık mantık ile analiz edilebilmektedir.

### 5.2.1 Bulanık mantığın tanımı

Bulanık mantık, ikili mantık sisteme karşıt olarak oluşturulan ve gündelik hayatımızda kullanabildiğimiz olgulara üyelik dereceleri tanımlayarak, hadiselerin hangi oran ve şartlarda gerçekleşebildiğini ortaya çıkaran çoklu mantık sistemidir [44].

Bulanık mantığın kurucusu Zadeh'e göre bulanık mantık, kelimeler ile hesap yapabilmektir [45]. Diğer bir ifade ile insanların net olmayan bulanık ifadelerle düşünme ve karar verme yeteneklerini taklit eden bir mantık sistemidir.

Bulanık mantık gerçek yaşamın özelliklerini belirten, karar verici ile çözüm aşaması boyunca etkileşim içine girerek onun da karar aşamasına katılmasını sağlayan bir özelliğe sahiptir [46].

Zadeh'e göre bulanık mantığın genel özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Bulanık mantık sisteminde, değişmez ve net yargılara dayalı düşünmenin yerine, tahmini düşünebilme biçimi kullanılır.
- Bulanık mantık sisteminde herşey 0 ile 1 arasında belli bir oran ile temsil edilmektedir.
- Bulanık mantık sisteminde bilgiler geniş, dar, sıcak, soğuk, çok, az benzeri dile dayalı ifade terimleri şeklindedir.
- Bulanık çıkarım prosedürü dilsel anlatımlar arasında tanımlanabilen şartlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.
- Her mantıksal olgu bulanık olarak ifade edilebilir.

### 5.2.2 Bulanık mantığın tarihçesi

Bulanık mantık sistemini meydana getiren Azeri asıllı California Berkeley Üniversitesi fizik profesörü olan Lotfi A.Zadeh'dir. Zadeh, gemilerde yaklaşan uçakları tanımlamak için yaptığı çalışmalar ile belirsiz verileri işleyebilmenin ve dolayısıyla da bulanık mantığın temellerini atmıştır [47]. Bulanık mantık teorisini, ilk olarak bir quantum fizikçisi olan Max Black 1937 yılında incelemiştir. Ancak ilk olarak 1965'te Lotfi A. Zadeh'in "Information and Control" dergisinde yayınladığı "Bulanık Kümeler" adlı makalesiyle ortaya çıkmıştır [46].

1980'li yıllarının ikinci yarısı itibari ile Japonya'da üretilen ürünlerde bulanık mantığın kullanılmasıyla ivme kazanan bu yöntem, günümüz teknolojisindeki zirve noktasına ulaşmıştır. Bu gelişmenin sonucu olarak hemen hemen her alanda bulanık mantık uygulamalarını görmek mümkün hale gelmiştir. Günümüzde yıkanacak çamaşırlar için ihtiyaç olan deterjanı, su sıcaklığını ve yıkama tipini ayarlayan çamaşır makinelerinden; mercekleri otomatik ayarlayıp net görüntü elde eden video kameralarına ve kontrastı, parlaklığı, rengi ve netliği otomatik olarak ayarlayan televizyonlara kadar birçok bulanık mantık temelli teknolojileri görmek mümkündür. Günlük yaşantıda her alanda karşılaşılabilecek halde olması, bulanık mantığa olan ticari ve akademik ilgiyi daha da arttırmıştır [42]. Japonya, bulanık mantık sayesinde 21. yüzyılın teknoloji şehri olarak kabul edilmektedir [45].

Bulanık mantık sayesinde hem teorik sahada hem de uygulama sahasında radikal değişiklikler ortaya çıkmıştır. Kimilerine göre bulanık mantık, yüzyıllardır süregelen pek çok yanlışın ya da zorunlu bir kabullenişin son bulmasıdır [44].

Mantığın tarihi serüvenine bakıldığında; mantık Aristoteles (M.Ö. 384-322) ile başlamaktadır. Aristoteles klasik mantığın kurucusudur. Aristoteles mantığı; özdeşlik, çelişmenin olmadığı ve üçüncü halin imkânsızlığı olarak akıl ilkelerini temel almaktadır. Yani bir olgu ya doğrudur ya da yanlıştır, başka bir durumun olma imkanı yoktur [44].

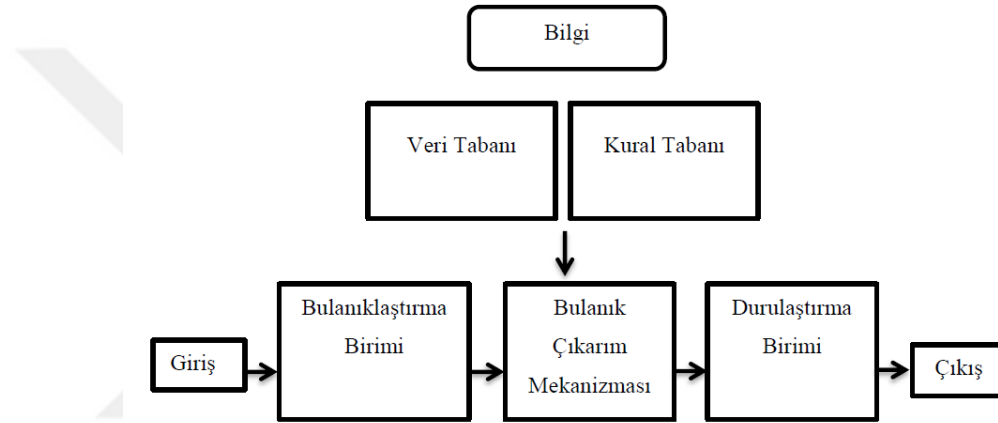
Mamdani ve arkadaşlarının bulanık mantık sistemini kontrol sistemlerinde ilk kez uygulanmalarından sonra kontrol sistemleri, bulanık mantık sisteminin en çok kullanıldığı sistemler olarak günümüzdekiyerini almıştır.

Bulanık mantık, ilk olarak 1975 yılında, Londra'daki Mamdani ve Assilia tarafından bir buhar türbininin hızının ayarlanmasında kullanılmıştır. Daha sonra da bunu Holmblad ve Ostergaard'ın 1975 yılında yaptığı çimento fabrikası izlemiştir. 1980 yılında ise F.L.Smidth, ilk kez Danimarka'daki ticari bir çimento fabrikasında bulanık mantık sistemini kullanmıştır. Bu gelişmelerden sonra da özellikle Japon firmaları bulanık mantık sistemi üzerinde çalışmalar yapmış, Hitachi firması da bu sistemi 1987 yılında Sendai metrosunda kullanmıştır. Bu şekilde Sendai metrosunun daha az enerji harcayarak ve daha iyi bir şekilde yol alması sağlanmıştır. 1988 yılında Tokyo'da meydana gelen krizi haftalar öncesinden haber vermesi üzerine bulanık mantığa olan ilgi iyice artmıştır. Bunun sonucu olarak da aralarında Toshiba, Hitachi, IBM benzeri şirketlerin de bulunduğu 51 dev şirket eli ile LIFE (Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering) isimli bir organizasyon hayata geçirilmiştir. LIFE, bulanık mantık

sistemini kullanan mühendislik çalışmalarının paylaşılması konusunda bir organizasyondur.

### 5.2.3 Bulanık mantık sistemi yapısı

Bulanık mantık sistemi; giriş birimi, veri tabanı, kural tabanı, bulanıklaştırma birimi, bulanık çıkarım sistemi, durulaştırma birimi ve çıkış birimlerinden oluşmaktadır [48]. Bulanık mantık sisteminde veri tabanına gelen veriler birer sayı olurken bulanık mantık kurallarının oluşturulması ve çıkarım motorunun çalışması ile elde edilen bilgiler de girdilerin bir fonksiyonu şeklinde olan çıktılardır. Bu sistemin birimleri Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Genel bir bulanık mantık sistem yapısı

**Giriş / Veri Tabanı:** Çözüme kavuşturulması gereken bulanık problemi ile ilgili bütün bilgileri ve sistemde kullanılacak olan bütün giriş değişkenlerini kapsayan birimdir. Bu birim bir çok sayısal ve sözel ifade içermektedir. Bulanık mantık sisteminin sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için bu birimdeki bilgilerin doğru olması gerekmektedir.

**Bulanıklaştırma Birimi:** Bulanık mantık sistemi üyelik fonksiyonlarının aktif bir biçimde kullanıldığı bu birim Giriş/Veri Tabanı biriminden gelen verilere göre işlem yapmaktadır. Bulanıklaştırma birimine gelen veriler işlenmemiş olarak gelir. Buraya gelen verilerin bulanık sistemin kullanabileceği bir biçime dönüştürülmesi gerekmektedir. Her bir giriş verisi bir ya da daha fazla üyelik fonksiyonuna dönüştürülür. Başka bir ifadeyle bu veriler bulanıklaştırılır. Bulanıklaştırma birimi çıkarım mekanizmasında kullanılacak olan verileri hazır hale getirir. Gelen verileri bulanıklaştırmak amacıyla pek çok üyelik fonksiyonu kullanılabilir. Ancak pratik uygulamalarda Üçgen, Gauss ve Yamuk üyelik fonksiyonları tercih edilmektedir

**Bulanık Kural Tabanı:** Bulanık sistem kurallarının oluşturulduğu bu birim Bulanıklaştırma biriminden gelen veriler ile işlem yapmaktadır. Bulanık kural tabanı birimi çok sayıda kural tanımlanarak meydana gelmektedir. Bu birim ile girdi ve çıktılar arasındaki ilişkilere dayanarak tüm ihtimalleri kapsayan kural tabanı oluşturulmaktadır. Bütün kurallar “Eğer şartlar doğru ise eylemi yap“ (if-then) formatında temsil edilmektedir. Eğer ise kuramını kullanan bulanık sistem matematiksel veriler yerine belirsizlik ve doğrusal olmayan ifadeleri kullanılmaktadır [49]. Sistemin karmaşık olup olmamasına bağlı olarak kural sayısı artıp azalabilmektedir. Yani sistemin karmaşıklığı ile kural sayısı doğru orantılıdır. Her bir kural bir veya birden fazla giriş ve çıkış verisi ile bağlanmış olabilir. Mamdani ve Sugeno tipi kurallar çok fazla kullanılmaktadır [51].

**Bulanık Çıkarım Mekanizması:** Bulanık mantığın kural tabanında yer alan birden fazla kuralın birbirleri ile olan ilişkilerini düzenleyen, yönetimini gerçekleştiren, çıkarım işlemini yapan birimdir. Doğru sonuç için kuralların bütünü ile işlem yapılarak en uygun çıkış bulunmaya çalışılır. Temelde iki tip sonuç elde etme mekanizması bulunmaktadır. Bunlar; azaltma ve sonuç operatörleridir [50, 51].

**Durulaştırma Birimi:** Girişteki bulanık probleme dayalı olarak bulanık çıkış verilerinin (0 ve 1 aralığındaki veriler) dönüştürüldüğü yani sayısallaştırıldığı birimdir. Ağırlıkların ortalaması, ağırlıkların toplamı, ağırlık merkezi gibi yöntemler durulaştırmada kullanılabilir [49]. Durulaştırma işlemi yapıldıktan sonra ortaya çıkan sonucun hedeflenen sonuca uygun olması beklenmektedir.

**Çıkış:** Çıkarım mekanizmasındaki bilgiler durulaştırıldıktan sonra bu birime aktarılmaktadır. Bu birim bulanık sistemdeki son aşamadır ve bu birim ile bulanık mantık kullanılarak sistemin bulanık probleme getirdiği çözüm ya da çözümler belirlenmektedir.

#### 5.2.4 Bulanık mantık sisteminin avantajları ve dezavantajları

Bulanık sistemler, günlük hayatımızda kullandığımız dilsel tabirlerin bilgisayara aktarılmış biçimidir. Bulanık mantık sistemini avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Gündelik insan hayatına, düşünce sistemine ve tipine uygundur.

- Uygulanması sırasında bir matematiksel yöntemin kullanılması zorunlu değildir.
- Basit yazılımlar ile meydana gelen bulanık mantık diğer sistemlere nazaran daha ekonomiktir.
- Anlaşılması kolaydır, zor işlemlere ihtiyaç yoktur.
- Kullanılan üyelik fonksiyon değerleri sayesinde daha esnek bir yapıya sahiptir.
- Kesinlik durumu olmayan problemlerde kullanılma imkânı sunmaktadır.
- Doğrusal olmayan fonksiyonların kullanılmasına olanak sağlar.
- Matematiksel ve geleneksel kontrol tekniklerine uygundur [52, 53].

Bulanık mantık sisteminin pek çok avantajı olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajları aşağıdaki sıralayabiliriz [54].

- Bulanık mantık çok fazla tecrübeye dayalı olarak kural oluşturma ihtiyacı doğurur.
- Üyelik fonksiyonu seçiminde net bir metot bulunmamaktadır. Bu da uygun üyelik fonksiyonunu belirlemek için birden fazla deneme yapılması gerektiğini göstermektedir.
- Sistemin ortaya çıkaracağı sonuçlar önceden tahmin edilemediği gibi sisteme ait kararlılık analizi de yapılamamaktadır. Fakat benzetim çalışması yapılabilmektedir.

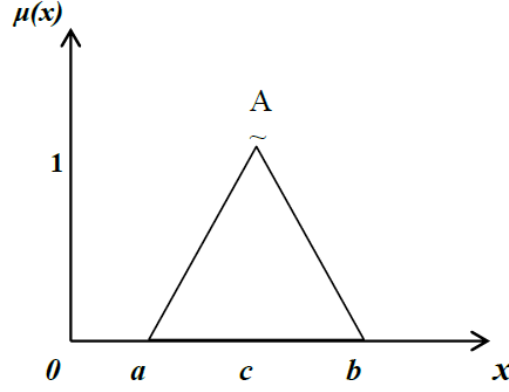
### 5.2.5 Bulanık mantık üyelik fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları sistemdeki sınırları belirleyen ve sonucu doğrudan etkileyen faktörlerdir. Sistem için uygun bir üyelik fonksiyonunun belirlenmesi ile bulanık sistemin karar vermedeki doğruluk oranı arttırmaktadır. Üyelik fonksiyonları  $[0,1]$  aralığı için hangi verilerin kullanılacağına karar vermektedir. Üyelik fonksiyonları ile dilsel değişkenler arasındaki ilişkileri belirleme noktalarını düzenlemektedir. İstenilen sonuca göre ortaya çıkan üyelik fonksiyonu, bulanık mantığın esnek bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Bulanık mantık sistemi için çok sayıda üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Bütün üyelik fonksiyonları, sürekli, normal ve konvektir. Fakat uygulamalarda genellikle üçgen, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır.

### Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Maksimum ve minimum veriler arasında doğrusal artış ve doğrusal azalışın söz konusu olduğu bulanık problemler için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Bulanık sistem tasarımlarında üyelik fonksiyonu seçimi yapılırken en fazla kullanılan yöntem üçgen üyelik fonksiyonu yöntemidir [47]. Üçgen üyelik fonksiyonuna ait grafik şekil 5.2’de gösterilmiştir.



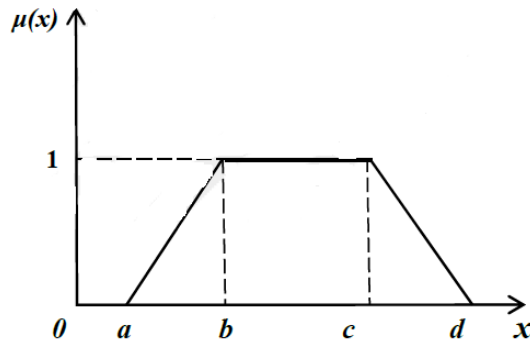
Şekil 5.2. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonlarına ait matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} a \left( \frac{x-a}{c-a} \right) & a \leq x \leq c \\ a \left( \frac{b-x}{b-c} \right) & c \leq x \leq b \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (5.1)$$

### Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Çıkış verisi için mutlak 1 olma aralığının daha geniş olduğu bulanık problemlerde yamuk üyelik fonksiyonu tercih edilmektedir. Yamuk üyelik fonksiyonunun yapısı şekil 5.3’te gösterilmiştir.



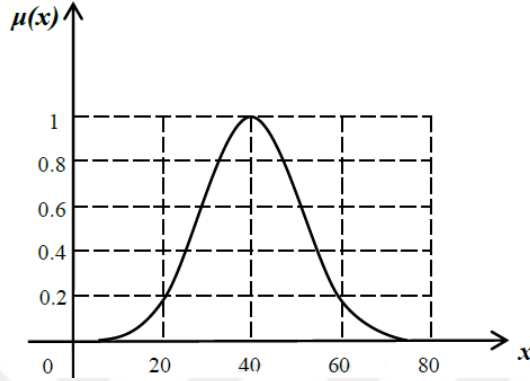
Şekil 5.3. Yamuk üyelik fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonuna ait matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} a \left( \frac{x-a}{b-a} \right) & a \leq x \leq b \\ 1 & a \leq x \leq b \\ a \left( \frac{d-x}{d-c} \right) & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (5.2)$$

### Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonunun yapısı şekil 5.4'te verilmiştir.

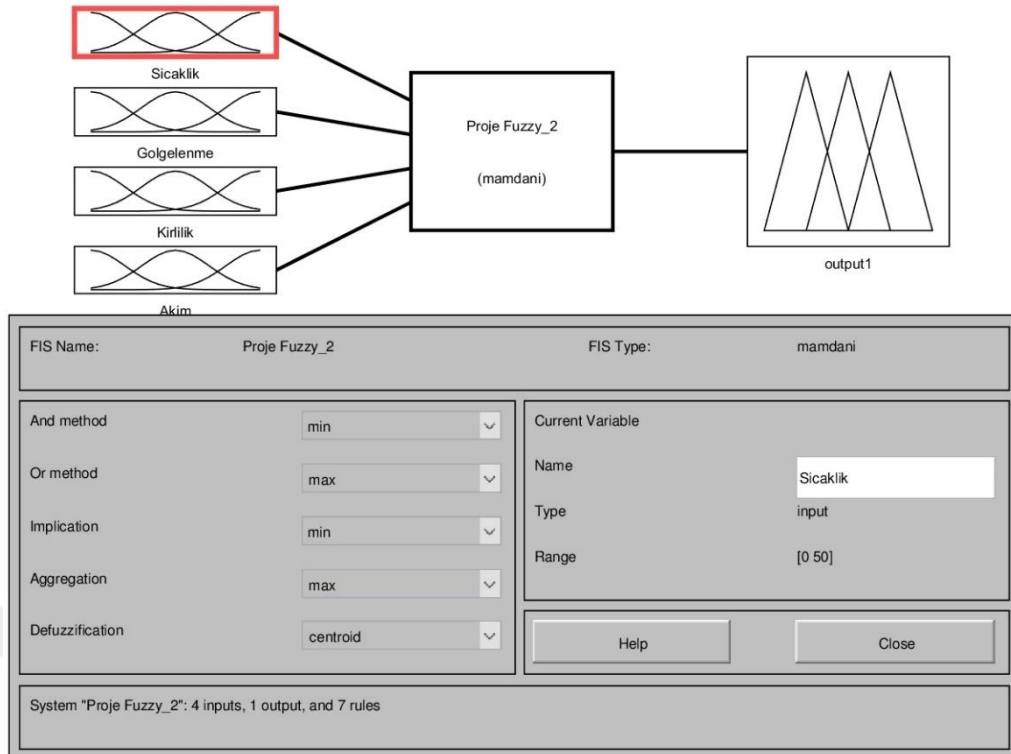


Şekil 5.4. Gauss üyelik fonksiyonu

## 5.3 Otomatik Temizleme Sisteminin Projesi ve Tasarımı

### 5.3.1. Projenin bulanık mantık tasarımı

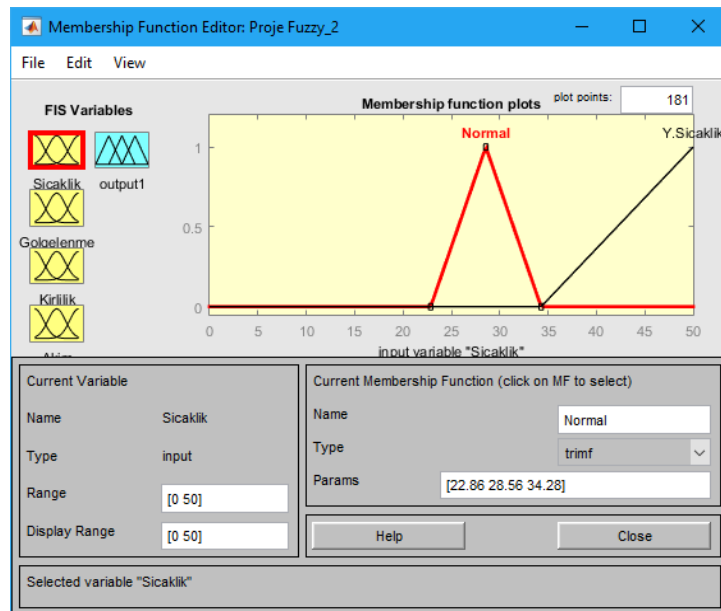
Bu projede bulanık mantık sistemine dayanan bir yapay zeka metodu kullanılmıştır. Sistem girişleri olarak fotovolatik panelin verimine etki eden sıcaklık, panel yüzey kirliliği (tozlanma), panel çıkış akımı ve gölgelenme verileri alınmıştır. Şekil 5.5'te görüldüğü üzere bu dört veri bulanık mantık sisteminin girişleri olarak tasarlanmıştır. Otomatik panel yüzey temizleme sistemi, bulanık mantık esaslı bu dört verinin birbiri ile bulanıklaştırılıp en uygun çözüm için durulaştırıldıktan sonra sistemi harekete geçirmektedir. Bu şekilde bulanık problemin en uygun ve doğru çözümü elde edilmektedir.



Şekil 5.5. Bulanık mantık sistemi giriş ve çıkışların tasarımı

### 5.3.1.1. Sıcaklık girdisinin üyelik fonksiyonları

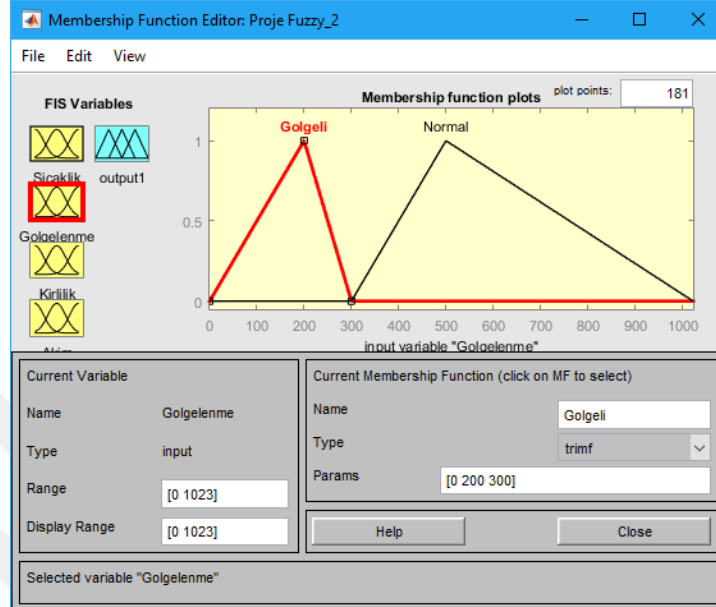
Sıcaklık girdisi için normal ve yüksek sıcaklık (y.sıcaklık) olmak üzere iki adet üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Şekil 5.6'da bu üyelik fonksiyonlarının üçgen üyelik formatındaki grafikleri ve belirlenen sıcaklık aralıkları gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Sıcaklık girdisi için üyelik fonksiyonlarının grafikleri

### 5.3.1.2. Gölgeleme girdisinin üyelik fonksiyonları

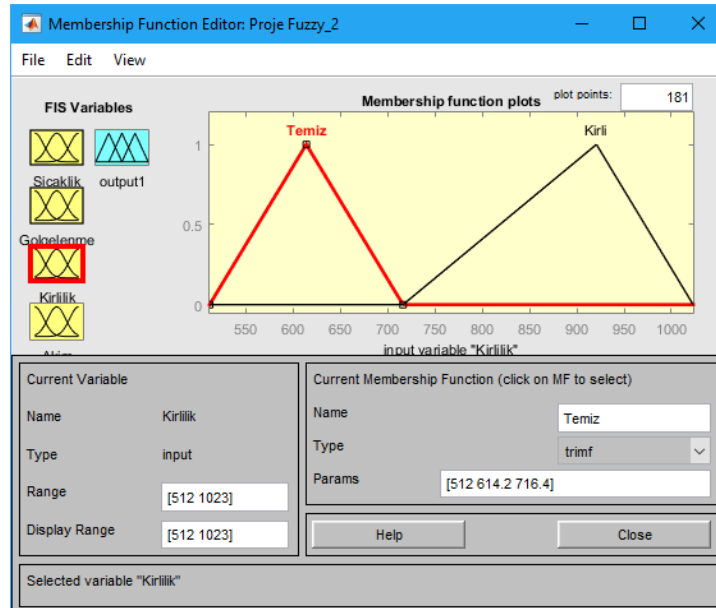
Gölgeleme girdisi için gölgeli ve normal olmak üzere iki adet üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Şekil 5.7’de bu üyelik fonksiyonlarının üçgen üyelik formatındaki grafikleri ve belirlenen gölgeleme aralıkları gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Gölgeleme girdisi için üyelik fonksiyonlarının grafikleri

### 5.3.1.3. Kirlilik girdisinin üyelik fonksiyonları

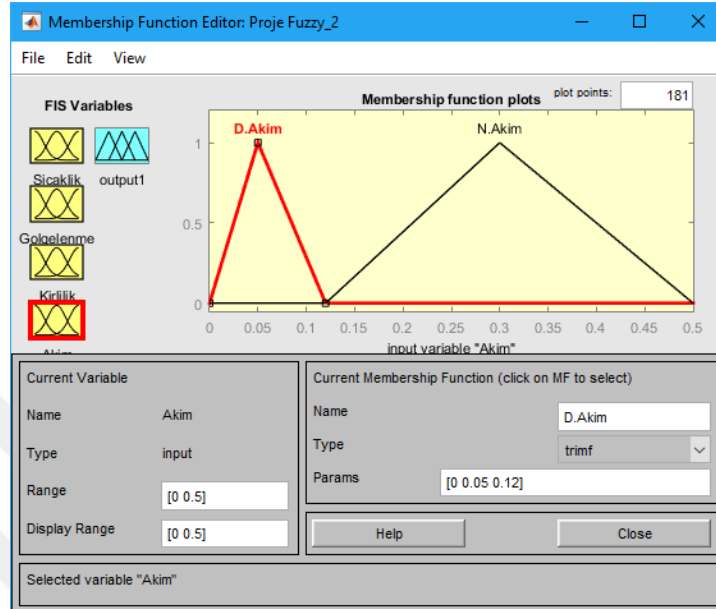
Kirlilik girdisi için temiz ve kirli olmak üzere iki adet üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Şekil 5.8’de bu üyelik fonksiyonlarının üçgen üyelik formatındaki grafikleri ve belirlenen kirlilik aralıkları gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Kirlilik girdisi için üyelik fonksiyonlarının grafikleri

### 5.3.1.4. Akım girdisinin üyelik fonksiyonları

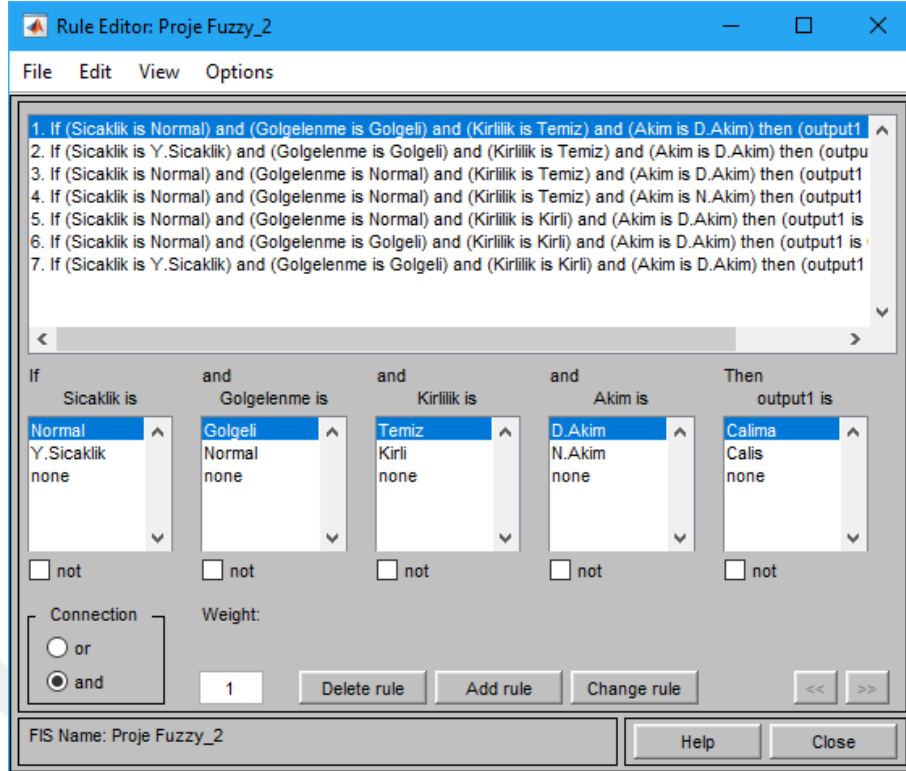
Akım girdisi için düşük akım (d.akım) ve normal akım (n.akım) olmak üzere iki adet üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Şekil 5.9'da bu üyelik fonksiyonlarının üçgen üyelik formatındaki grafikleri ve belirlenen akım aralıkları gösterilmiştir.



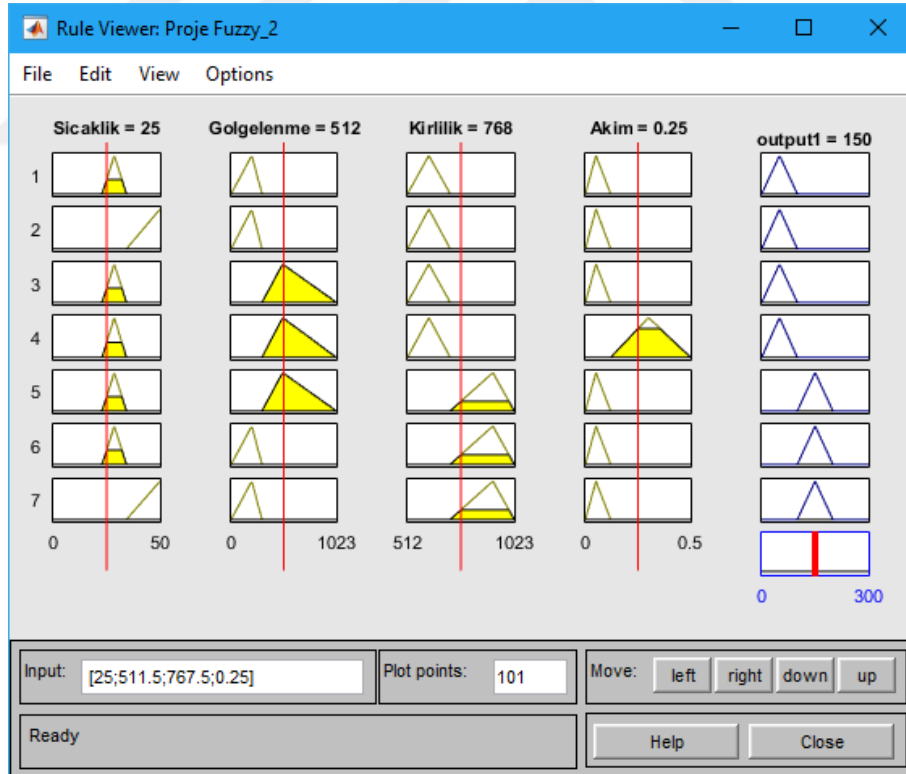
Şekil 5.9. Akım girdisi için üyelik fonksiyonlarının grafikleri

### 5.3.1.5 Bulanık mantık sisteminin çalışma kuralları

Bulanık bir problemin doğru çözümü için giriş verilerine göre kurallar tanımlanır. Bu kuralların oluşturulmasındaki amaç, sistemin en doğru çözümünün elde edilmesidir. Şekil 5.10'da bulanık mantık sisteminin kurallarının görünüm verilmiştir.



Şekil 5.10. Bulanık sistem kurallarının belirlenmesi

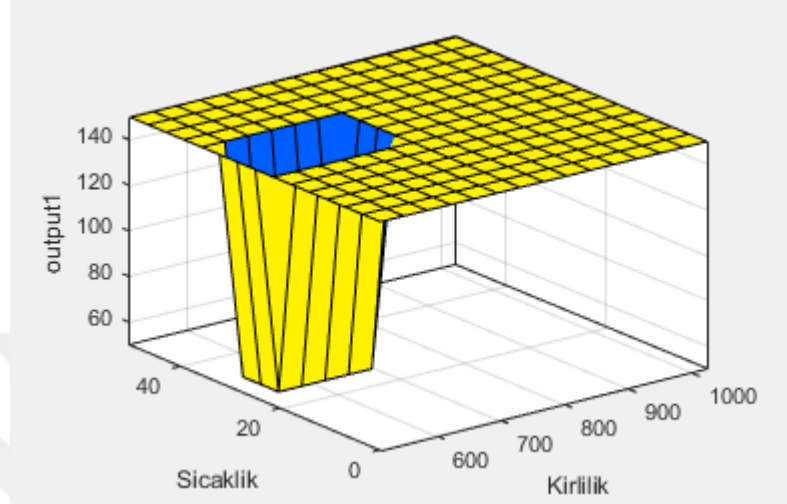


Şekil 5.11. Bulanık sistem kurallarının gösterimi

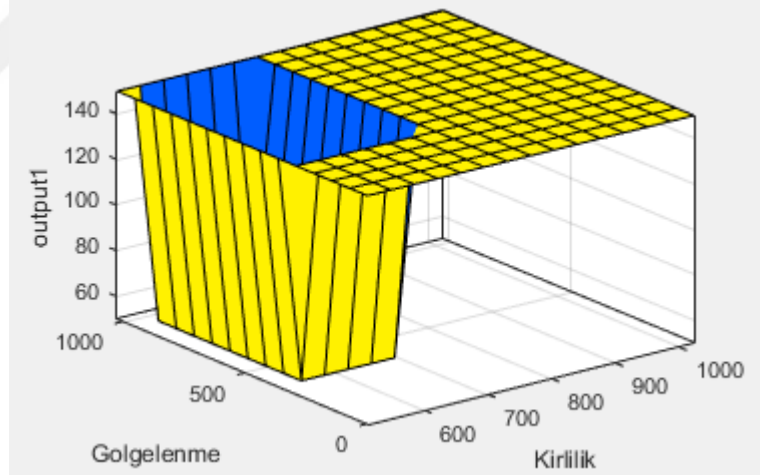
Belirlenen girdi verilerinin birbirleri ile önce bulanıklaştırılıp daha sonra da durulaştırılması sonucunda, sisteme ait bir karar derecesi çıkışı elde edilmektedir. Elde edilen bu karar derecesine göre tasarlanan sitem panel yüzeyine harekete geçerek panel

yüzeyini temizlemeye başlanmaktadır. Bu çıkış karar derecesinin elde edilmesinde sistemin girdilerinin üyelik fonksiyon değer aralıkları belirleyici olmaktadır.

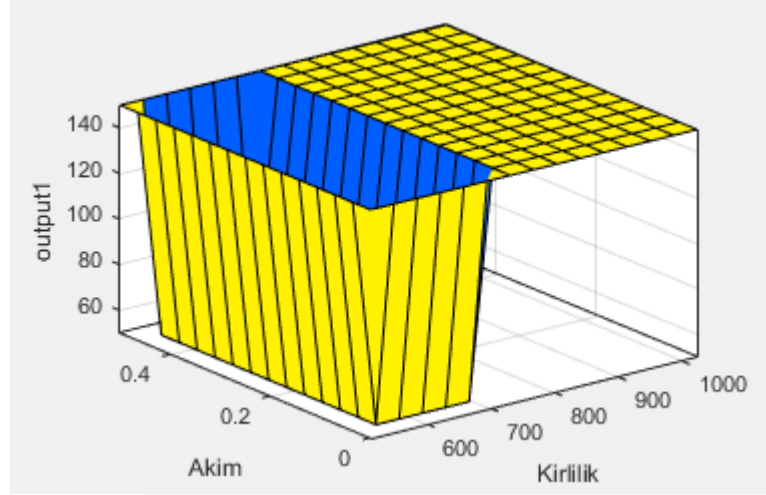
### 5.3.1.6 Panelin boştaki (yüksüz) durumuna göre sistem çıkış



Şekil 5.12. Sıcaklık ve kirlilik verilerine göre çıkış bilgisi grafiği (boşta)

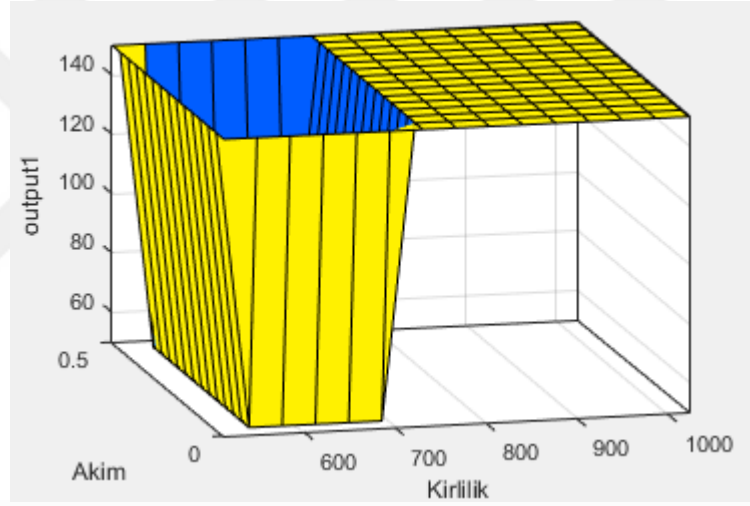


Şekil 5.13. Gölgenme ve kirlilik verilerine göre çıkış bilgisi grafiği (boşta)

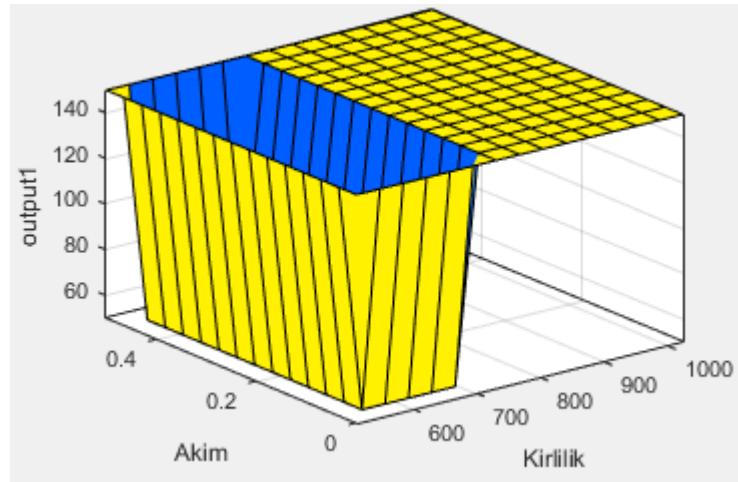


Şekil 5.14. Akım ve kirlilik verilerine göre çıkış bilgisi grafiği (boşta)

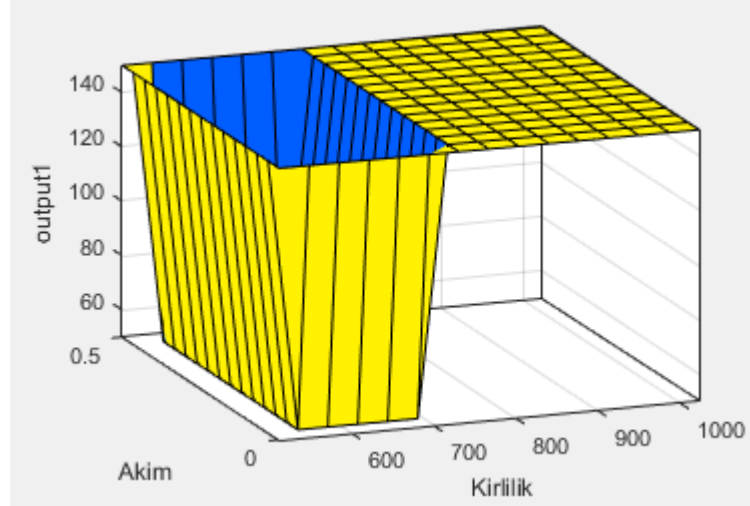
### 5.3.1.7 Panelin yüke bağlı durumu için sistem çıkışı



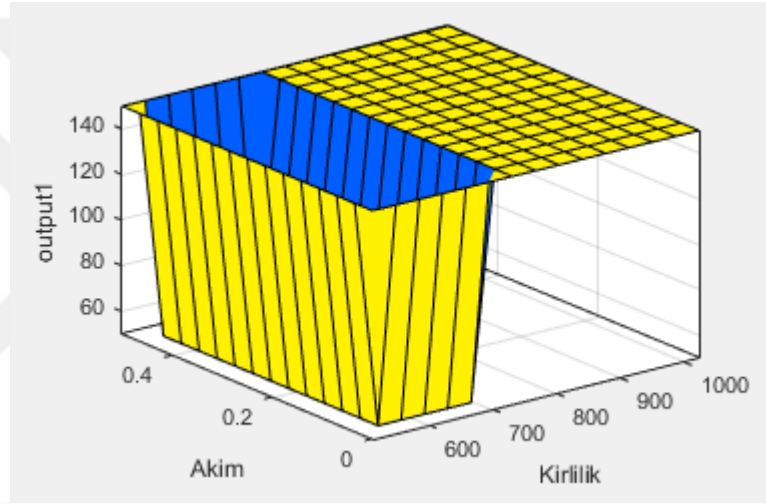
Şekil 5.15. Akım ve kirlilik verilerine göre çıkış grafiği (yükte) (çıkış akımı:0.13 A) (panel kirl)



Şekil 5.16. Akım ve kirlilik verilerine göre çıkış grafiği (yükte) (çıkış akımı:0.11 A) (panel kirl)



Şekil 5.17. Akım ve kirlilik verilerine göre çıkış grafiği (yükte) (çıkış akımı:0.08 A) (panel kirli)

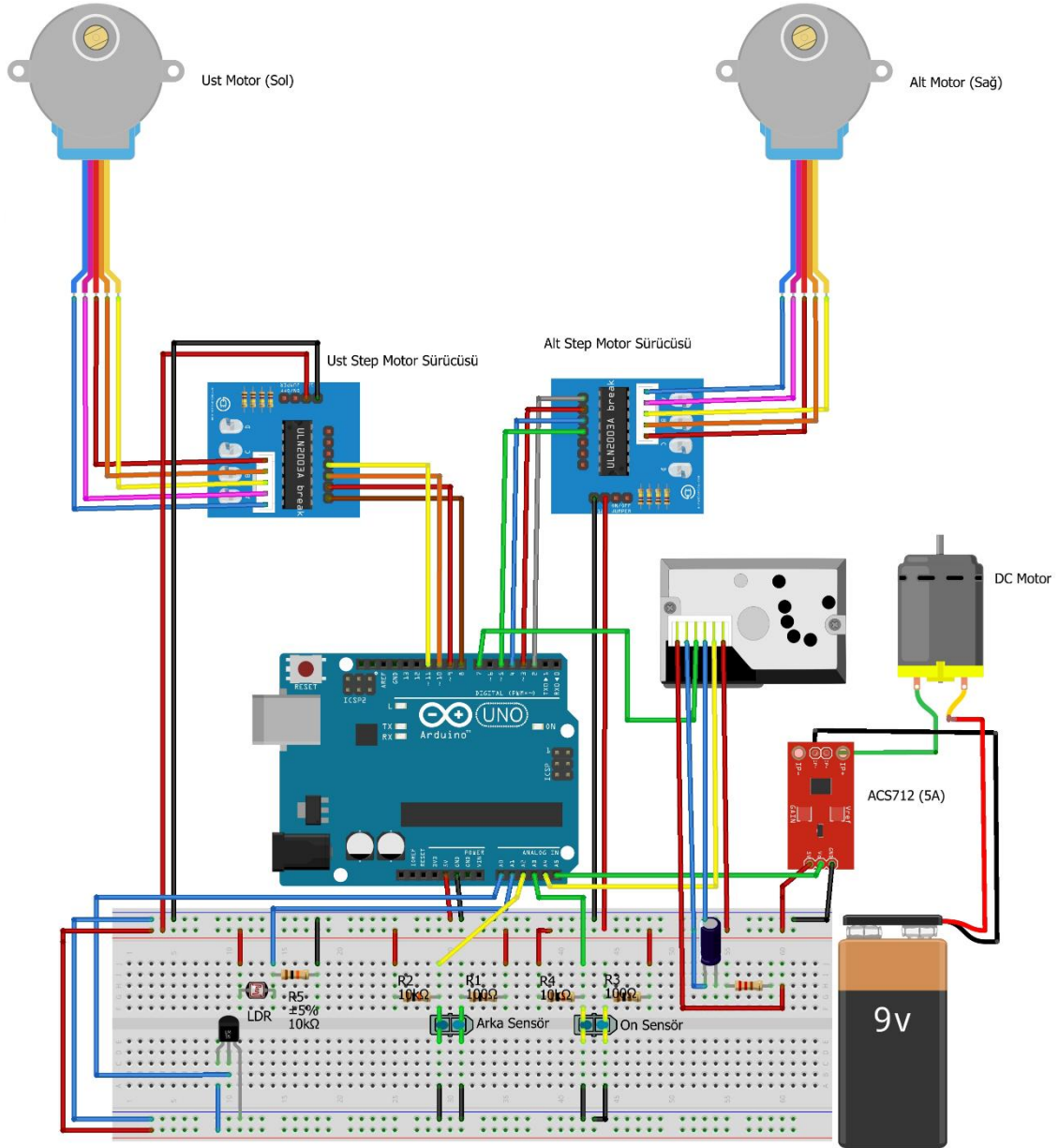


Şekil 5.18. Akım ve kirlilik verilerine göre çıkış grafiği (yükte) (çıkış akımı:0.25 A) (panel temiz)

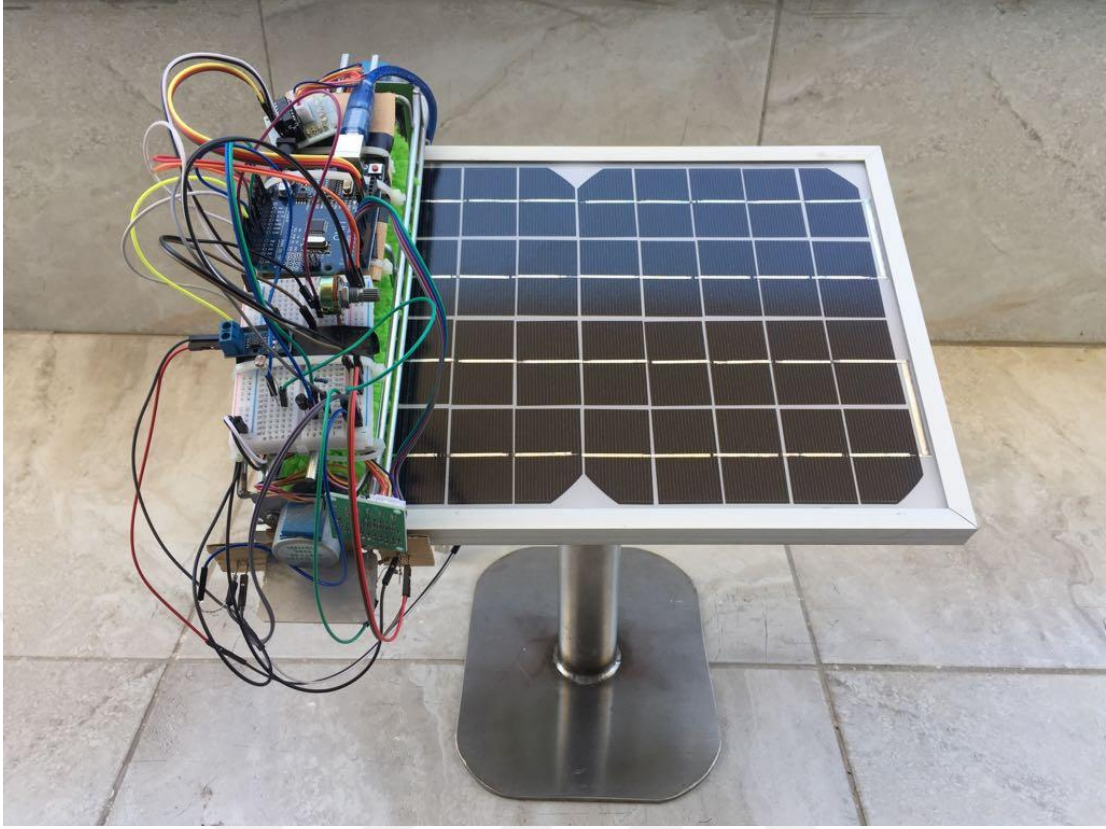
#### 5.4. Projenin Mimari Yapısı

Fotovoltaik santrallerinde kirlilik etkisi, fotovoltaik panellerin üzerinde toz ve yağ diğer bulunduğu konum ve çevreden kaynaklı materyallerin birikmesi olayıdır. Fotovoltaik sistemin potansiyel enerji üretimine ciddi oranda etki edebilmektedir. Fotovoltaik güç santrali yatırımcıları ve tasarımcıları bu kirlilik etkisi denilen etkiyi sayısallaştırmaya çalışıp, bu probleme uygun ekonomik çözümler aramaktadırlar. Toz etkisi konusunda yapılan araştırmalar özellikle az yağış alan bölgelerde, toza bağlı kayıpların %15 oranına ulaştığını hatta geçtiğini göstermiştir [1]. Böyle aşırı durumlarda yapılması gereken, modülleri temizlemektir. Ancak sahanın büyüklüğü ve yerleşimi, temizleme harcamalarını direkt olarak etkilemektedir. Kullanılacak temizlik ekipmanı ve temizleme yöntemi ve maliyeti ciddi anlamda değiştirebilmektedir.

Bu tez çalışmasında panel yüzeylerini otomatik olarak temizlenebilmesine olanak veren bir otomatik temizleme sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemin mimari yapısı, arduino mikrodenetleyici ve bulanık mantık sistemine dayanmaktadır. Sistem, çevresel faktörlere (güneş ışığı, çevresel kirlilik vs.) ve panelden elde edilen verime göre mikrodenetleyici içine gömülü yazılım sayesinde otomatik olarak harekete geçip panel yüzeyini temizleyebilmektedir.



Şekil 5.19. Sistemin mimari yapısı



Şekil 5.20. Gerçekleştirilen sistemin görünümü

### 5.5. Sistemin Çalışma Yöntemi

Tasarlanan bu sistem bulanık mantık esasına dayanmaktadır. Sistemin doğru zamanda ve doğru bir şekilde harekete geçebilmesi için bulanık mantık sisteminde sıcaklık, kirlilik, gölgelenme ve panel çıkış akımı verileri sistemin girdileri olarak belirlendi. Belirlenen bu girdilere göre de üyelik fonksiyonları atandı. Atanan bu girdiler ve üyelik fonksiyonları harekete geçmektedir. Belirlenen dört giriş şartına göre bulanık sistemin doğru çözümü için, ilk etapta gelen veriler bulanıklaştırılır. Daha sonra da belirlenen şartlar ışığında bulanıklaştırılan veriler doğru çözüm için durulaştırılır. Durulaşan veri sayesinde sistemin doğru çözümü elde edilir. Tasarlanan otomatik temizleme sistemi de bu çıkış verisi ışığında panel yüzeyinde harekete geçmektedir. Harekete başlayan sistem panel sonuna kadar yol alıp tekrar başlangıç konumuna gelir. Sistemin bir sonraki hareketi ise yine uygun şartların bir araya gelip bulanık sistemin doğru çözümü ile gerçekleşmektedir.

Yapılan bu çalışma ile güneş panellerinin yüzeylerinin arduino ve bulanık mantık esaslı temizlenmesi sağlanmıştır. Tasarımın belirlenen bulanık mantık girdi verilerinin birbirleri ile önce bulanıklaştırılıp daha sonra da durulaştırılması sonucunda, sisteme ait bir karar derecesi çıkışı elde edilmektedir. Elde edilen bu karar derecesine

bağlı olarak da tasarlanan sistem panel yüzeyinde harekete geçerek panel yüzeyini temizlemeye başlanmaktadır. Bu çıkış karar derecesinin elde edilmesinde sistemin girdilerinin üyelik fonksiyon değer aralıkları belirleyici olmaktadır.

Elde edilen ölçümler neticesinde model olarak tasarlanan bu tasarım ile güneş panelinin kirliliğe (tozlanma) bağlı verim kaybının önüne geçilmiştir. Sistemin çalışması sonucunda elde edilen verim kazanımının %15-20 dolaylarında olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjisi santrallerinin (GES) yayıldıkları coğrafi alanlar ve devasa büyüklükleri düşünüldüğünde bu tip tasarımların panel yüzeylerinin temizliği için kullanılmaları ile beraber çok ciddi oranlarda verim kazancının elde edileceği görülecektir. Bu yüzden, arduino ve bulanık mantık tabanlı olarak tasarlanan bu sistemin endüstriyel olarak da farklı kontrol sistemleri(PLC, DCS gibi) kullanılarak tasarlanması gerekmektedir. Elde edilecek bu tip bir proje ile kirlenmeye bağlı olarak güneş enerjisi santrallerinde meydana gelen ciddi verim kayıplarının önüne geçilmesi sağlanacaktır.

## 6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÖNERİLER

### 6.1. Araştırma Sonuçları

Fotovoltaik güneş hücrelerinin, değik güneş ışınımı değerleri ve farklı faaliyet şartları altında akım ve gerilim değerlerinin belirlenmesi, fotovoltaik sistemin performansını göstermesi yönünden oldukça önem arz etmektedir. Çünkü fotovoltaik güneş pillerinin akım ve gerilim dolayısıyla güç çıkışları ile verimleri, güneş ışınımının şiddeti, çalışma sıcaklığı, iklim şartları gibi pek çok değişkenlere bağlıdır. Güneş pillerinin verimlerini Güneş panellerinden yüksek verim ile elektrik enerjisi elde etmek için fotovoltaik panel yüzeylerinin, daha etkili güneş ışığı emilimi için temiz bırakılması gerekmektedir. Kirlilik faktörü, fotovoltaik panellerin üzerinde toz ve toz benzeri maddelerin birikmesi olayıdır. Panel üzerinde biriken toz, güneş panelinin etkin elektrik enerjisi üretimine ciddi oranlarda etki etmektedir.

Fotovoltaik sektörünün geçmişte ciddi bir pazara ait olduğu ülkeler, yağış bol alan bir coğrafyaya sahiptirler. Bu sayede toz ve tozun türevlerinin neden olabileceği verim kayıplarının daha az oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’de ise, coğrafi konumu itibariyle panel yüzeylerinin kirlenmesine bağlı verim kayıplarının çok büyük oranlarda olduğu gözlemlenmiştir. Toz ve toz benzeri taneciklere bağlı verim kayıplarının belirlenmesi için Türkiye’de yer alan fotovoltaik güneş santrallerinde herhangi bir ekipmanın bulunması çok zayıf bir ihtimaldir. Yağış miktarının çok az olduğu veya yağışın hiç olmadığı mevsimlerde kısa süreli olarak ölçülebilen toza bağlı kirlilik oranları % 20-30 seviyelerindedir.

Güneş panellerinde enerji dönüşüm verimliliği panel yapısına göre değişkenlik göstermesine rağmen ortalama verimleri %20 civarında seyretmektedir. Bu verim oranı da zamanla panelin üzerinde toz, kir, polen ve çeşitli toz taneciklerinin birikmesiyle azalmaktadır. Kirli ve tozlu bir coğrafyada bulunan özellikle çöllerde kurulan güneş enerjisi santrallerinde toza bağlı verim düşümü %30 civarı bir oranda azalma göstermektedir. Güneş panellerinden maksimum oranda verim almak için her hafta temizlik ve bakımlarının yapılması gerekmektedir. Fakat bu durum çok büyük alanlara yayılmış olan güneş santralleri için oldukça zahmetli bir işlem olmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmenin en önemli yollarından bir tanesi otomatik panel yüzeyi temizleme sistemleridir.

Yapılan bu tez çalışması ile güneş panellerinin panel yüzeylerinin kirlenmesine bağlı olarak meydana gelen verim kayıplarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmada bulanık mantık tabanlı olarak hareket edebilen otomatik panel yüzeyi

temizleme tasarımı sayesinde toza bağılı kayıpların %15 civarlarında olduğu tespit edilmiştir. Bulanık mantık esasına dayalı otomatik sistem, panelin kirli olmasına bağılı olarak meydana gelen verim düşümünü algılaması ile harekete geçmektedir. Yapılan çalışmada sistemin harekete geçmesinden sonra panel yüzeyinin temizlendiği ve panel yüzeyinin temizlenmesinin ardından panel veriminde %15 civarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

## 6.2. Öneriler

Bu tez çalışması arduino mikrodeneleyici ve bulanık mantık tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu proje güneş panellerinin yüzeylerinin temizlenmesine olanak tanınması açısından model olarak tasarlanmıştır. Bu model sayesinde güneş panellerinin yüzeylerinin otomatik olarak temizlenebilmesi sağlanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda da güneş panellerinin yüzeylerinin kirlenmesine bağılı verim düşümlerinin % 15 civarlarında olduğu tespit edilmiştir.

Protatip olarak tasarlanan bu model endüstriyel olarak da tasarlanmalıdır. Güneş enerjisi santrallerinin büyüklüğü ve yayılma alanları düşünöldüğünde, bu tip bir modelin endüstriyel olarak tasarlanıp güneş enerjisi santrallerinde kullanılması ile verim noktasında çok ciddi kazanımlar elde edilcektir.

Gerçekleştiren bu projenin mimarisinde arduino mikrodeneleyici ve bulanık mantık sistemleri yer almaktadır. Bu proje, benzer bir şekilde başka denetleyici ve endüstriyel programalar (PLC,DCS vb. programlar) kullanılarak da tasarlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1]. Piliouline, M., Carretero, J., Sidrach-de-Cardona, M., Montiel, D., Sanchez-Friera, P., 2008, “Comparative Analysis of the Dust Losses in Photovoltaic Modules with Different Cover Glasses”, Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference.
- [2]. Erkul, A., “Monokristal, polikristal, amorf silisyum güneş panellerinin verimliliğın incelenmesi ve aydınlatma sistemine uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).
- [3].[http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx)Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, GüneşPilleri (Fotovoltaik Piller). 03 Şubat 2018.
- [4].Wolf, M., “Historical development of solar cells”, *Power Sources Symposium 25 th*, England, (1972).
- [5].Ismael, A., “Monokristal güneş pili sistemlerinde elektrik enerji analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2012).
- [6].Haouari, M. M., Belhamel, M., Tobias, I., and Ruiz, J. M., “Extraction and analysis of solar cell parameters from the illuminated current–voltage curve”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 87: 225-233 (2005).
- [7].Köse, S., “Yarıiletken güneş pilleri ve verimlilikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (1986).
- [8].Küpeli, A.Ö., “Güneş pilleri ve verimleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2005).
- [9].Öztürk ,Doç.Dr.H.Hüseyin,. “Güneş enerjileri ve uygulamaları”, *Birsen Yayınevi* (2008).
- [10].Engin, R., “Güneş Pilleri”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları*, 8 (3): 151 (1995).

- [11].Kavcar, N., ”Uygulamalı fizik 2 ders notları”, (*Dokuz Eylül Üniversitesi Fizik Eğitimi Bölümü*), 130 (2001).
- [12].Boz, O..“Günümüzün alternatif enerji kaynağı güneş pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir (2011).
- [13].Beyaoğlu, F. “Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli pv sistemin verimlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 10-33 (2011).
- [14].Demirci, F., “Fotovoltaik güneş pillerinin çalışmasını etkileyen dış faktörlerin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 58 (1996).
- [15].Çabuk, S., “İnce film  $\text{SnO}_2/\text{CO}_2$  güneş pilleri”,Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı*, 46 (1992).
- [16]. Keçel, S., Yavuzcan, H.G., ”Türkiye“deki bölgesel sıcaklık değişimlerinin güneş panellerinin verimliliğine etkisi”, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 12-20 (2008).
- [17].Tercan, M.B.,“Güneş pili karakterizasyon yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 129(2000).
- [18]. Detrick, A., Kimber, A. and Mitchell, L., “Performance Evaluation Standards for Photovoltaic Modules and Systems”, 2005, Proceedings of the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference, ISBN 0-7803-8707-4, pp. 1581-1586.
- [19]. Hermann, J., Slamova, K., Glaser, R., Köhl, M., 2014, “Modeling the Soiling of Glazing Materials in Arid Regions with Geographic Information Systems (GIS)”, *Energy Procedia*, Vol. 48, pp. 715-720.
- [20]. Dietrich et al., 2016, “PV Days”, Fraunhofer Center for Silicon Photovoltaics (CSP)

- [21]. Dunn, L., Gostein, M., 2013, "PV Module Soiling Measurement Uncertainty Analysis", 39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC).
- [22]. Ghazi, S., 2014, "Dust Effect on Flat Surfaces – A Review Paper", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, pp. 742–751.
- [23]. Ilse, K., 2016, "PV DAYS" , Fraunhofer CSP.
- [24]. Ilse, K., 2016, "Microstructural Analysis of the Cementation Process during Soiling on Glass Surfaces in Arid and Semi-Arid Climates", *Rapid Research Letters* 10.7 , pp. 525-52.
- [25]. Gostein, M., 2015, "Accurately Measuring PV Soiling Losses With Soiling Station Employing Module Power Measurements", 42th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)
- [26]. <http://www.atonometrics.com/>, Erişim Tarihi: 11 Mayıs 2018.
- [27]. <http://www.kippzonen.com/Product/419/DustIQ-Soiling-Monitoring-System#.WZoqFFJaUI>, Erişim Tarihi: 11 Mayıs 2018.
- [28]. M. Piliouline, J. Carretero, M. Sidrachde- Cardona, D. Montiel, P. Sánchez-Friera. Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses. *Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference*, 2008, pp. 2698-2700.
- [29]. Kymakis, E.; Kalykakis, S. & Papazoglou, T.M. (2009). Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. *Energy Conversion and Management*, Vol. 50, No. 3, March 2009, pp. 433–438
- [30]. Detrick, A.; Kimber, A. & Mitchell, L. (2005). Performance Evaluation Standards for Photovoltaic Modules and Systems, *Proceedings of the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference*, pp. 1581-1586, ISBN 0-7803-8707-4, Lake Buena Vista, USA, January 2005

- [31]. Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.
- [32]. Kushner, D. (2011). The Making of Arduino. IEEE Spectrum. <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino> (Erişim, 10 Mayıs 2018)
- [33]. Quer, C. J. (2014). The Arduino Uno. Allied Electronics Publications. [digital.csic.es/bitstream/10261/127788/7/D-c-%20Arduino%20uno.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/127788/7/D-c-%20Arduino%20uno.pdf)
- [34]. Ali, A. (2013). All about Arduino Simulation. Creative Common V.3. <https://drive.google.com>
- [35]. Muñoz, F. B. (2015). Arduino based laser control. A degree thesis in Science and Telecommunication Technologies Engineering. University at Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- [36]. Bakbak, A. Adım Motorunun Sensörsüz Pozisyon Kontrolü. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Makinaları Bilim Dalı Manisa, 2016, 4 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [37]. Milli Eğitim Bakanlığı. Elektrik Elektronik Teknolojisi: Step ve Servo Motorlar Modülü. 522EE0096, Ankara, 2011, 46 s.
- [38]. Adım motorunun temel hareket gösterimi, <https://www.pc-control.co.uk/images/step-motor1.gif>, 10 Mayıs 2018.
- [39]. Step motor nedir? Nasıl çalışır?, <http://www.mcu-turkey.com/step-motor-nedir-nasil-calisir>, 10 Mayıs 2018.
- [40]. <https://impremedia.net/stepper-motor-pole-pairs/> (Erişim, 11 Mayıs 2018)
- [41]. Gökmen, Ü. Bir Eğitim Simülatöründeki Çok Sayıda Adım Motorunun PC ile Hız ve Konum Kontrolünün Gerçekleştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2008, 65 s. (Yüksek Lisans Tezi)

[42].Tuş Işık, Ayşegül (2011). Bütünleşik Üretim Planlamasında Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama. Doktora tezi. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

[43]. Aslangiray, Alev (2011). İstatistiksel Süreç Kontrolünde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

[44]. Eryılmaz, Hüseyin Ensari (2015). Fuzzy (Bulanık) Mantık Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

[45].İşbilen Yücel, Leyla (2005). Bulanık Regresyon: Türkiye’de 1980-2004 Döneminde Kayıt Dışı Ekonominin Bulanık Yöntemlerle Tahminine İlişkin Bir Uygulama.Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

[46].Bark, Nuray (2015). Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Mobilya Sektöründe Tedarikçi Seçimi. Onaylanmış Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[47]. Şenol, Ali (2013). Veritabanlarında Genetik Algoritma ve Bulanık Mantık Tabanlı Esnek Sorgulama. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[48].Jang, J. S. R., Sun, C. T. ve Mizutani, E., Neuro-Fuzzy And Soft Computing: A Computational Approach To Learning And Machine Itelligence, Prentice Hall, A. B. D., 1996.

[49].Sarıdemir, M.,2008. Farklı Agregalarla Üretilmiş Beton Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Ve Bulanık Mantık Ğle Tahmin Edilmesi.

[50].Akkurt, S., Tayfur, G. ve Can, S., 2004, Fuzzy Logic Model For The Prediction Of Cement Compressive Strength, Cement And Concrete Research, 34(8), 1429-1433.

[51].Jantzen, J.,Design Of Fuzzy Controllers, Technical University Of Denmark: Dept. Of Automation, Technical Report No 98-E-864, 27 P.

[52].Çiftçi, H.,Fuzzy Logic Function Approximation For Some Mathematical Functions,Lisanstezi, Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Eskişehir, 2002

[53].Pehlivan, Ş.,2001. Bulanık Mantık Kontrolörler Ve Klasik Pid Kontrolörlerin Karşılaştırılması Ve Bir Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı. 2001. Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2003.

[54].Özkan, A. O.,1997. Sıcaklık Ve Nemin Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü. 1997.

## EKLER

### EK-1: Projenin Yazılım Kodu

```

//*****
*****

// Arduino tabanlı Fuzzy Logic Analizi ile PV Panel yüzeyi Tasarımı Projesi
//***

//                               Abdurrahim ERAT                               //***
//*****
*****

#include "fis_header.h"
// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 4;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 1;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 7;

const int motor1Pin1 = 2;
const int motor1Pin2 = 3;
const int motor1Pin3 = 4;
const int motor1Pin4 = 5;

int baslama = 0;
int yon;

int on_sensor;
int arka_sensor;

const int motor2Pin1 = 11;
const int motor2Pin2 = 10;
const int motor2Pin3 = 9;
const int motor2Pin4 = 8;

```

```
float Akimdegeri = 0.0; //acs 712 akim sensoründen alınan deger islenerek bu  
degiskene akim olarak atanir
```

```
float Sicaklikdegeri = 0; //LM 35 sicaklik sensoründen alınan deger islenerek  
bu degişkene sicaklik olarak atanir
```

```
float Golgedegeri = 0; // LDR den gelen bilgi bu degere atanir
```

```
float Kirlilikdegeri = 0; // Toz sensöründen (gp2y10) gelen bilgi bu degere  
atanir
```

```
int bekleme = 2;
```

```
FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];  
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];
```

```
void adim1() {  
    digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);  
    digitalWrite(motor1Pin2, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin3, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin4, LOW);  
    delay(bekleme);
```

```
    digitalWrite(motor2Pin1, HIGH);  
    digitalWrite(motor2Pin2, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin3, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin4, LOW);  
    delay(bekleme);  
}
```

```
void adim2() {  
    digitalWrite(motor1Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin2, HIGH);  
    digitalWrite(motor1Pin3, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin4, LOW);  
    delay(bekleme);
```

```
digitalWrite(motor2Pin1, LOW);  
digitalWrite(motor2Pin2, HIGH);  
digitalWrite(motor2Pin3, LOW);  
digitalWrite(motor2Pin4, LOW);  
delay(bekleme);  
}
```

```
void adim3() {  
    digitalWrite(motor1Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin2, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin3, HIGH);  
    digitalWrite(motor1Pin4, LOW);  
    delay(bekleme);
```

```
    digitalWrite(motor2Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin2, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin3, HIGH);  
    digitalWrite(motor2Pin4, LOW);  
    delay(bekleme);  
}
```

```
void adim4() {  
    digitalWrite(motor1Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin2, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin3, LOW);  
    digitalWrite(motor1Pin4, HIGH);  
    delay(bekleme);
```

```
    digitalWrite(motor2Pin1, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin2, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin3, LOW);  
    digitalWrite(motor2Pin4, HIGH);  
    delay(bekleme);
```

```

}

void calis() {

    int baslama = 1; // baslama degiskeni 1 olursa motorlara yol verir, motorların
yol alması için başlangıç degeri atanir

    yon = 1;        // yon degiskeni 1 olursa motorlarileri hareket eder, motorların
yol alması için başlangıç degeri atanir

    if (baslama == 1) {

        on_sensor = analogRead(A3); // Sensor bilgileri okunur
        arka_sensor = analogRead(A2); // Sensor bilgileri okunur

        while (on_sensor < 100 & yon == 1) { // Onsensor 100 den küçük ise ve de
yon degeri 1 ise motorlar ileri yönde hareket eder.
            adim1();
            adim2();
            adim3();
            adim4();
            on_sensor = analogRead(A3); // sensör bilgileri okunur ve değişiklik
olup olmadığı kontrol edilir.
            arka_sensor = analogRead(A2);
            if (on_sensor > 100) {
                if (arka_sensor < 100) {
yon = 0;
                }
            }

            // Serial.print("arka sensor ");
            // Serial.println(arka_sensor);
            // Serial.print("arka sensor ");
            // Serial.println(arka_sensor);

```

```
}

```

```
while (arka_sensor< 100 & yon == 0) { // Onsensor 100 den büyük ise ve
de yon degeri 0 ise motorlar geri yönde hareket eder.
```

```
    adim4();
    adim3();
    adim2();
    adim1();
    on_sensor = analogRead(A3);
    arka_sensor = analogRead(A2);
    if (on_sensor> 100) {
        if (arka_sensor< 100) {
            baslama = 0;
        }
    }
}

// Serial.print("on sensor ");
// Serial.println(on_sensor);
// Serial.print("arka sensor ");
// Serial.println(arka_sensor);
// Serial.print("baslama ");
// Serial.println(baslama);
// Serial.println("*****");
}

```

```
}

```

```
void akimOku() {
    unsigned int x = 0;
    float AcsValue = 0.0, Samples = 0.0, AvgAcs = 0.0, AcsValueF = 0.0;
```

```

for (int x = 0; x < 150; x++) {
  AcsValue = analogRead(A5);
  Samples = Samples + AcsValue;
  delay(3);
}
AvgAcs = Samples / 150.0;
AcsValueF = (2.5 - (AvgAcs * (5.0 / 1024.0))) / 0.185;
// Serial.println(AvgAcs);
Akimdegeri = AcsValueF;
}
void sicaklikOku() {
  int deger = 0;
  float a, analoggerilim;
  for (int i = 0; i < 10; i++) {

    analoggerilim = analogRead(A0); //A1'den degeri ölç
    deger = deger + analoggerilim;
    //delay(3);
  }
  a = deger / 10.0;

  analoggerilim = (a / 1023) * 5000; //degeri mV'a donüstr
  Sicaklikdegeri = (analoggerilim / 10.0); // mV'u sicakliga donüştür
}

// Setup routine runs once when you press reset:
void setup()
{
  pinMode(motor1Pin1, OUTPUT);
  pinMode(motor1Pin2, OUTPUT);
  pinMode(motor1Pin3, OUTPUT);
  pinMode(motor1Pin4, OUTPUT);

  pinMode(motor2Pin1, OUTPUT);

```

```
pinMode(motor2Pin2, OUTPUT);  
pinMode(motor2Pin3, OUTPUT);  
pinMode(motor2Pin4, OUTPUT);
```

```
// initialize the Analog pins for input.  
// Pin mode for input: Sicaklik  
pinMode(A0 , INPUT);  
// Pin mode for input: Golgelenme  
pinMode(A1 , INPUT);  
// Pin mode for input: Kirlilik  
pinMode(A4 , INPUT);  
// Pin mode for input: Akim  
pinMode(A5 , INPUT);
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
// initialize the Analog pins for output.  
// Pin mode for Output: output1
```

```
}
```

```
// Loop routine runs over and over again forever:
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  akimOku();
```

```
  sicaklikOku();
```

```
  Golgedegeri = analogRead(A1);
```

```
  Kirlilikdegeri = analogRead(A4);
```

```
  // // Read input: Sicaklik
```

```
  // g_FISinput[0] = analogRead(0);
```

```
  // // Read input: Golgelenme
```

```
  // g_FISinput[1] = analogRead(1);
```

```
// // Read input: Kirlilik
// g_FISinput[2] = analogRead(2);
// // Read input: Akim
// g_FISinput[3] = analogRead(3);
g_fisInput[0] = Sicaklikdegeri;
// Read input: Golgelenme
g_fisInput[1] = Golgedegeri;
// Read input: Kirlilik
g_fisInput[2] = Kirlilikdegeri;
// Read input: Akim
g_fisInput[3] = Akimdegeri;

g_fisOutput[0] = 0;

fis_evaluate();

// Set output vlaue: output1
Serial.print("** Fuzzy Çikiş Degeri ");
Serial.print(g_fisOutput[0]);
Serial.println(" **");
Serial.println("*****");
Serial.print("Akim Degeri ");
Serial.println(Akimdegeri);
Serial.print("Kirlilik Degeri ");
Serial.println(Kirlilikdegeri);
Serial.print("Golgelenme Degeri ");
Serial.println(Golgedegeri);
Serial.print("Sicaklik Degeri ");
Serial.println(Sicaklikdegeri);
Serial.println("*****");

delay (50);
```

```

    if (g_fisOutput[0] < 100) {
        calis();
    }
}

//*****
*****

// Support functions for Fuzzy inference System
//*****
*****

// Triangular Member Function
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
    t1 = min(t1, t2);
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}

FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return min(a, b);
}

FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return max(a, b);
}

```

```

FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size, _FIS_ARR_OP
pfnOp)
{
    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;

    if (size == 0) return ret;
    if (size == 1) return array[0];

    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    {
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
    }

    return ret;
}

/*****
*****
// Data for Fuzzy Inference System
/*****
*****
// Pointers to the implementations of member functions
_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trimf
};

// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 2, 2, 2, 2 };

// Count of member function for each Output

```

```

int fis_gOMFCount[] = { 2 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { 22.86, 28.56, 34.28 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { 34.28, 50, 50 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1, fis_gMFI0Coeff2 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { 0, 200, 300 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { 300, 500, 1023 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1, fis_gMFI1Coeff2 };
FIS_TYPE fis_gMFI2Coeff1[] = { 512, 614.2, 716.4 };
FIS_TYPE fis_gMFI2Coeff2[] = { 716.4, 920.8, 1023 };
FIS_TYPE* fis_gMFI2Coeff[] = { fis_gMFI2Coeff1, fis_gMFI2Coeff2 };
FIS_TYPE fis_gMFI3Coeff1[] = { 0, 0.05, 0.12 };
FIS_TYPE fis_gMFI3Coeff2[] = { 0.12, 0.3, 0.5 };
FIS_TYPE* fis_gMFI3Coeff[] = { fis_gMFI3Coeff1, fis_gMFI3Coeff2 };
FIS_TYPE** fis_gMFICoeff[] = { fis_gMFI0Coeff, fis_gMFI1Coeff,
fis_gMFI2Coeff, fis_gMFI3Coeff };

// Coefficients for the Output Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { 0, 50, 100 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { 100, 150, 200 };
FIS_TYPE* fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff1, fis_gMFO0Coeff2 };
FIS_TYPE** fis_gMFOCoeff[] = { fis_gMFO0Coeff };

// Input membership function set
int fis_gMFI0[] = { 0, 0 };
int fis_gMFI1[] = { 0, 0 };
int fis_gMFI2[] = { 0, 0 };
int fis_gMFI3[] = { 0, 0 };
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1, fis_gMFI2, fis_gMFI3 };

// Output membership function set
int fis_gMFO0[] = { 0, 0 };
int* fis_gMFO[] = { fis_gMFO0 };

```

```

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int fis_gRI0[] = { 1, 1, 1, 1 };
int fis_gRI1[] = { 2, 1, 1, 1 };
int fis_gRI2[] = { 1, 2, 1, 1 };
int fis_gRI3[] = { 1, 2, 1, 2 };
int fis_gRI4[] = { 1, 2, 2, 1 };
int fis_gRI5[] = { 1, 1, 2, 1 };
int fis_gRI6[] = { 2, 1, 2, 1 };
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3, fis_gRI4, fis_gRI5,
fis_gRI6 };

// Rule Outputs
int fis_gRO0[] = { 1 };
int fis_gRO1[] = { 1 };
int fis_gRO2[] = { 1 };
int fis_gRO3[] = { 1 };
int fis_gRO4[] = { 2 };
int fis_gRO5[] = { 2 };
int fis_gRO6[] = { 2 };
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3, fis_gRO4,
fis_gRO5, fis_gRO6 };

// Input range Min
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { 0, 0, 512, 0 };

// Input range Max
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 50, 1023, 1023, 0.5 };

```

```

// Output range Min
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0 };

// Output range Max
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 300 };

//*****
*****
// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
//*****
*****
FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x, int o)
{
    FIS_TYPE mfOut;
    int r;

    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        int index = fis_gRO[r][o];
        if (index > 0)
        {
            index = index - 1;
            mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x, fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else if (index < 0)
        {
            index = -index - 1;
            mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else
        {
            mfOut = 0;
        }
    }
}

```

```

    }

    fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut, fuzzyRuleSet[1][r]);
}
return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR, fis_max);
}

FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int o)
{
    FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) / (FIS_RESOLUTION - 1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;

    // calculate the area under the curve formed by the MF outputs
    for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i){
        dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
        slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
        area += slice;
        momentum += slice*dist;
    }

    return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2) : (momentum /
area));
}

/*****
// Fuzzy Inference System
/*****

void fis_evaluate()
{

```

```

FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0 };
FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0 };
FIS_TYPE fuzzyInput2[] = { 0, 0 };
FIS_TYPE fuzzyInput3[] = { 0, 0 };
FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1, fuzzyInput2,
fuzzyInput3, };
FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0 };
FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, };
FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
FIS_TYPE sW = 0;

// Transforming input to fuzzy Input
int i, j, r, o;
for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
{
    for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
    {
        fuzzyInput[i][j] =
            (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i], fis_gMFICoeff[i][j]);
    }
}

int index = 0;
for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
{
    if (fis_gRType[r] == 1)
    {
        fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)

```

```

        fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
else if (index < 0)
        fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
else
        fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
}
}
else
{
        fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
                index = fis_gRI[r][i];
                if (index > 0)
                        fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
else if (index < 0)
                        fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
else
                        fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
        }
}

        fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
        sW += fuzzyFires[r];
}

        if (sW == 0)
        {
                for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
                {
                        g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);
                }
        }
else

```

```
{  
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)  
    {  
        g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);  
    }  
}
```



## EK-228BYJ-48-Redüktörlü Step Motor Datasheet

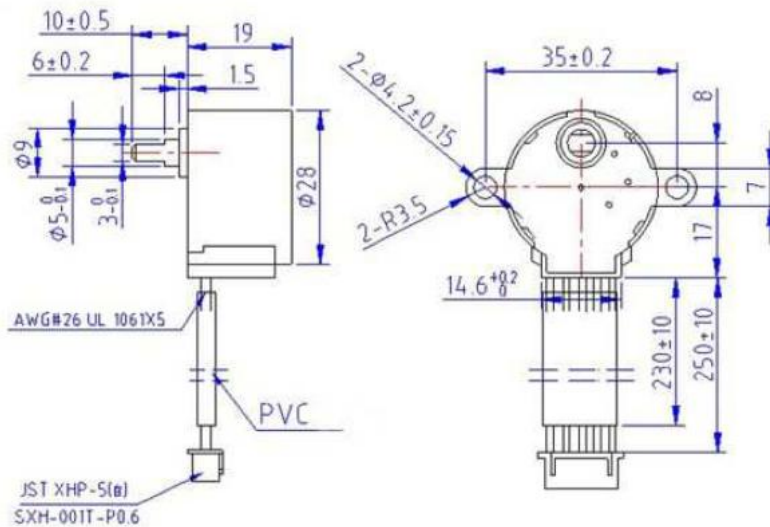
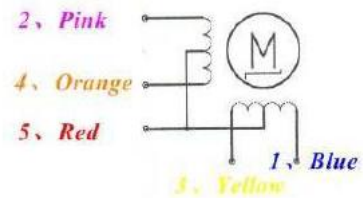


### 28BYJ-48 – 5V Stepper Motor

The 28BYJ-48 is a small stepper motor suitable for a large range of applications.



Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz, No load, 10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V



## EK-3ACS712 Akım Sensörü Datasheet

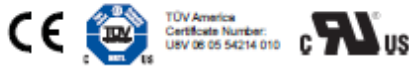


## ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

### Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



### Description

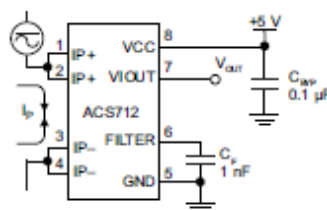
The Allegro<sup>®</sup> ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{IOUT(O)}$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

*Continued on the next page...*

### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{OUT}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current,  $I_p$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

## ACS712

### Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

#### Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

#### Selection Guide

Part Number	Packing*	T <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>P</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

\*Contact Allegro for additional packing options.

#### Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RCC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>IOUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>RIOUT</sub>		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V <sub>ISO</sub>	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T <sub>A</sub> =25°C	2100	VAC
		Maximum working voltage according to UL60950-1	184	V <sub>peak</sub>
Basic Isolation Voltage	V <sub>ISO(bsc)</sub>	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T <sub>A</sub> =25°C	1500	VAC
		Maximum working voltage according to UL60950-1	354	V <sub>peak</sub>
Output Current Source	I <sub>IOUT(Source)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>IOUT(Sink)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>P</sub>	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(max)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

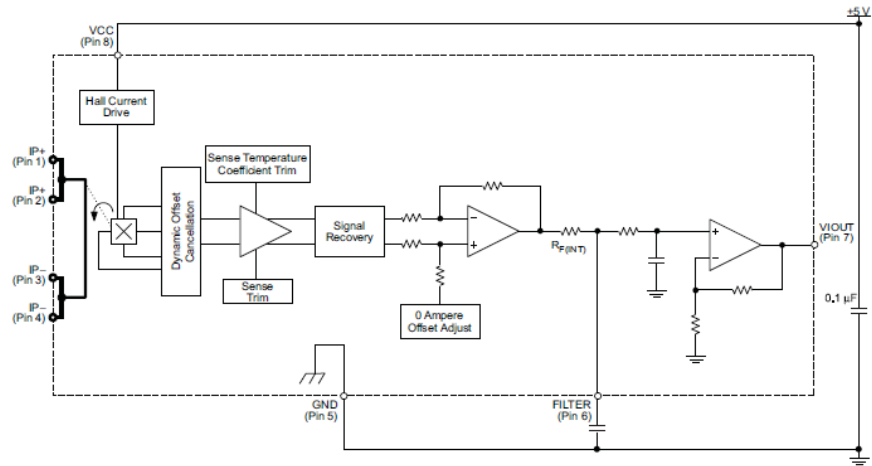


Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.6000; www.allegromicro.com

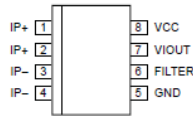
# ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



Allegro MicroSystems, Inc.  
 115 Northeast Cutoff  
 Worcester, Massachusetts 01815-0036 U.S.A.  
 1.508.853.5000; www.allegromicro.com

**ACS712***Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*COMMON OPERATING CHARACTERISTICS<sup>1</sup> over full range of  $T_A$ ,  $C_F = 1$  nF, and  $V_{CC} = 5$  V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	V <sub>IOUT</sub> to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	V <sub>IOUT</sub> to GND	4.7	–	–	kΩ
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	mΩ
Rise Time	$t_r$	$I_P = I_P(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	$f$	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; $I_P$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	$t_{PO}$	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling <sup>2</sup>			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance <sup>3</sup>	$R_{F(INT)}$			1.7		kΩ

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>1G = 0.1 mT.

<sup>3</sup> $R_{F(INT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

**COMMON THERMAL CHARACTERISTICS<sup>1</sup>**

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	°C
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance <sup>2</sup>	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	°C/W
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	°C/W

<sup>1</sup>Additional thermal information is available on the Allegro website.

<sup>2</sup>The Allegro evaluation board has 1500 mm<sup>2</sup> of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

## ACS712

### Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

#### x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.26	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.054	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.008	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 5\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 5\text{ A}$ . Output filtered.

#### x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.34	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.07	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.017	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.004	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 20\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 20\text{ A}$ . Output filtered.

#### x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.35	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.007	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.002	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 30\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 30\text{ A}$ . Output filtered.



Allegro Microsystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

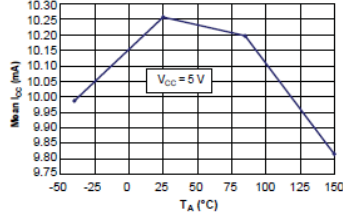
# ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

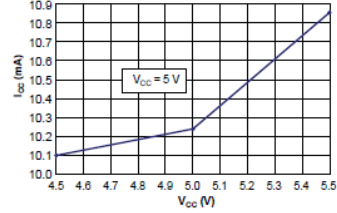
## Characteristic Performance

$I_p = 5\text{ A}$ , unless otherwise specified

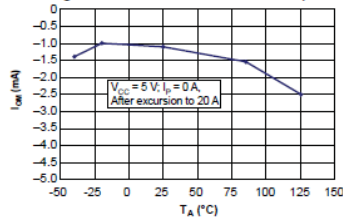
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



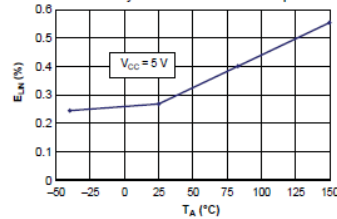
Supply Current versus Supply Voltage



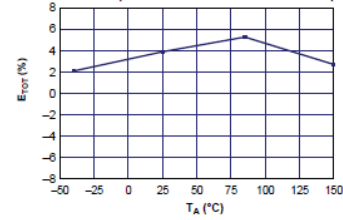
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



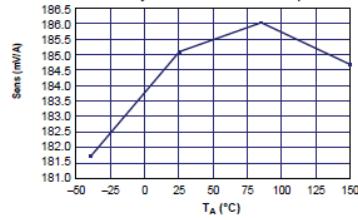
Nonlinearity versus Ambient Temperature



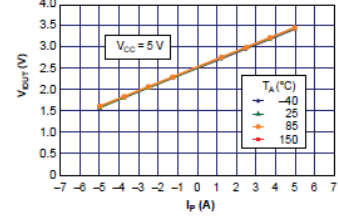
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



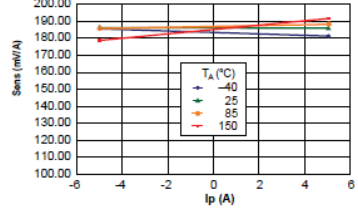
Sensitivity versus Ambient Temperature



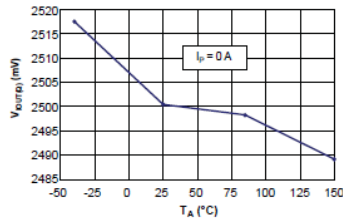
Output Voltage versus Sensed Current



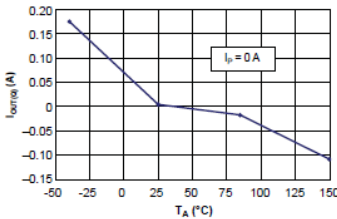
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

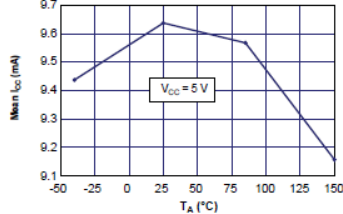
**ACS712**

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

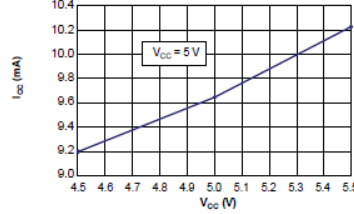
**Characteristic Performance**

$I_p = 20$  A, unless otherwise specified

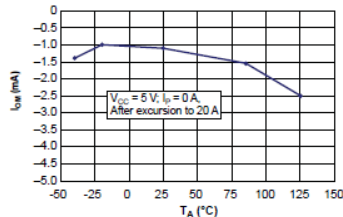
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



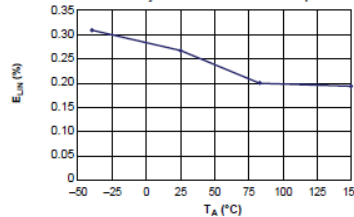
Supply Current versus Supply Voltage



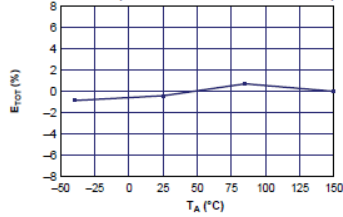
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



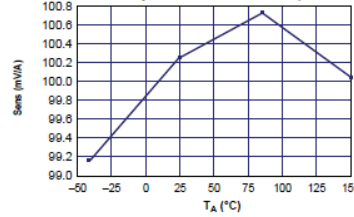
Nonlinearity versus Ambient Temperature



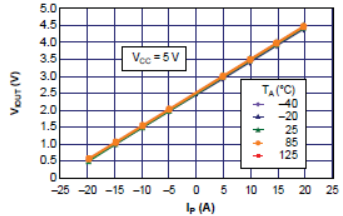
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



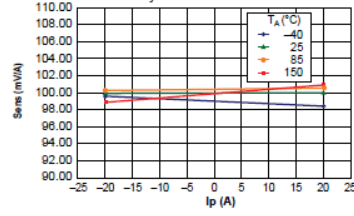
Sensitivity versus Ambient Temperature



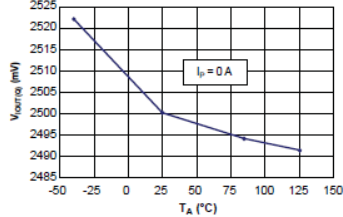
Output Voltage versus Sensed Current



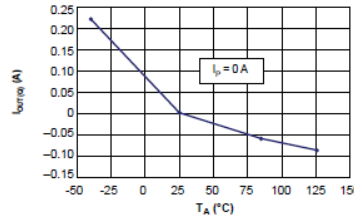
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

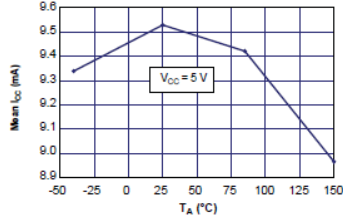
# ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

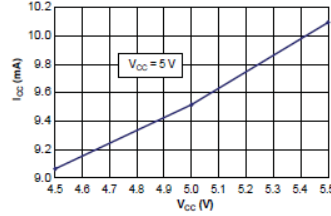
## Characteristic Performance

$I_p = 30$  A, unless otherwise specified

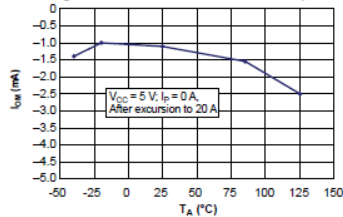
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



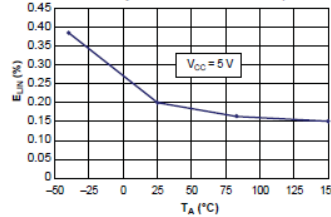
Supply Current versus Supply Voltage



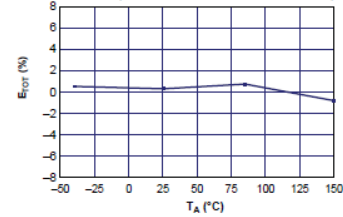
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



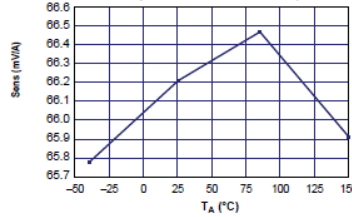
Nonlinearity versus Ambient Temperature



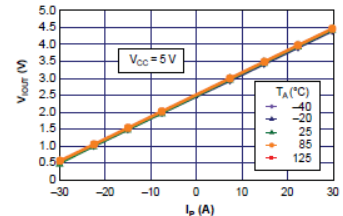
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



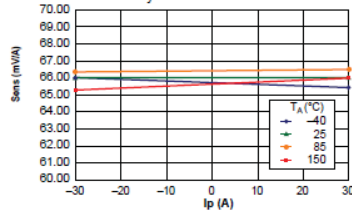
Sensitivity versus Ambient Temperature



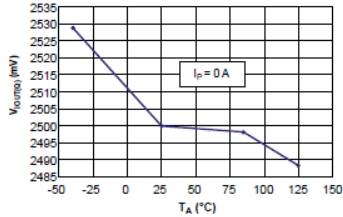
Output Voltage versus Sensed Current



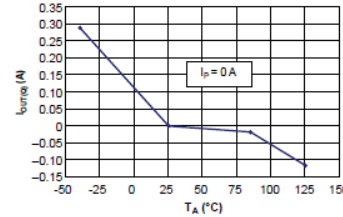
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

## ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Definitions of Accuracy Characteristics

**Sensitivity (Sens).** The change in device output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

**Noise ( $V_{NOISE}$ ).** The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC ( $\approx 1$  G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

**Linearity ( $E_{LIN}$ ).** The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[ \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (V_{IOUT\_full-scale \text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)})}{2 (V_{IOUT\_half-scale \text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)})} \right] \right\}$$

where  $V_{IOUT\_full-scale \text{ amperes}}$  = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale  $\pm I_P$ .

**Symmetry ( $E_{SYM}$ ).** The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left( \frac{V_{IOUT\_+full-scale \text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)}}{V_{IOUT(Q)} - V_{IOUT\_full-scale \text{ amperes}}} \right)$$

**Quiescent output voltage ( $V_{IOUT(Q)}$ ).** The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at  $V_{CC}/2$ . Thus,  $V_{CC} = 5$  V translates into  $V_{IOUT(Q)} = 2.5$  V. Variation in  $V_{IOUT(Q)}$  can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

**Electrical offset voltage ( $V_{OE}$ ).** The deviation of the device output from its ideal quiescent value of  $V_{CC}/2$  due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

**Accuracy ( $E_{TOT}$ ).** The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

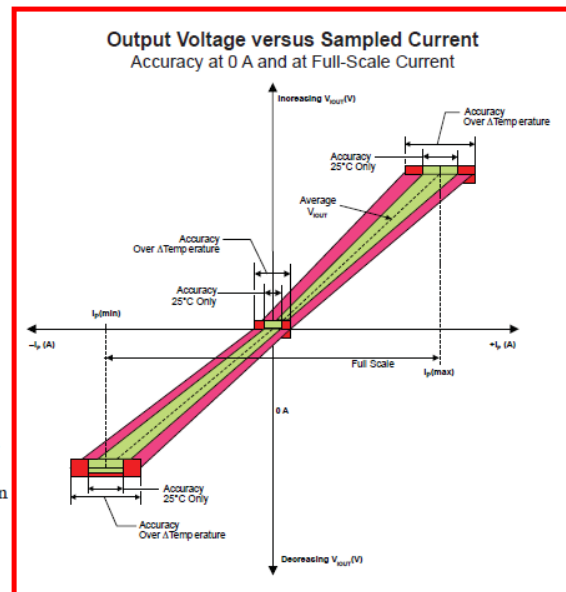
- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over  $\Delta$  temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over  $\Delta$  temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

**Ratiometry.** The ratiometric feature means that its 0 A output,  $V_{IOUT(Q)}$ , (nominally equal to  $V_{CC}/2$ ) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage,  $V_{CC}$ . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage,  $\Delta V_{IOUT(Q)RAT}$  (%).

$$100 \left( \frac{V_{IOUT(Q)VCC} / V_{IOUT(Q)5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity,  $\Delta \text{Sens}_{RAT}$  (%), is defined as:

$$100 \left( \frac{\text{Sens}_{VCC} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

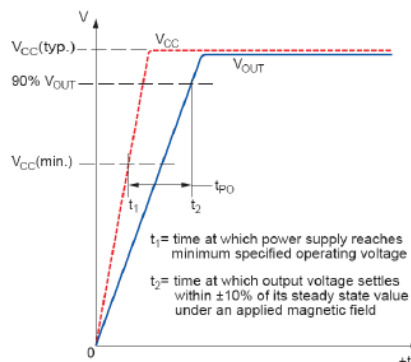


# ACS712

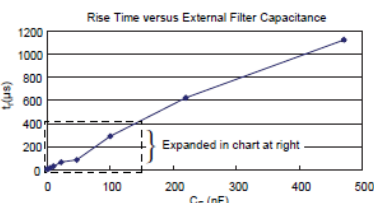
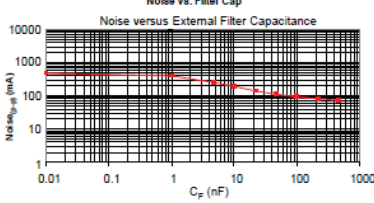
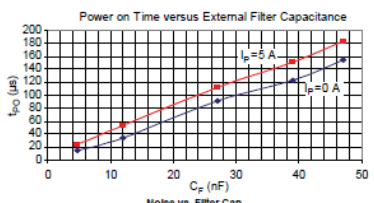
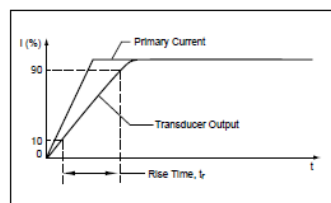
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

## Definitions of Dynamic Response Characteristics

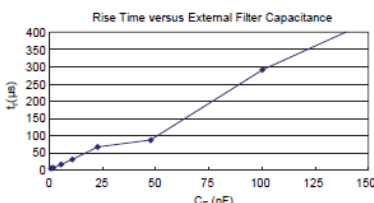
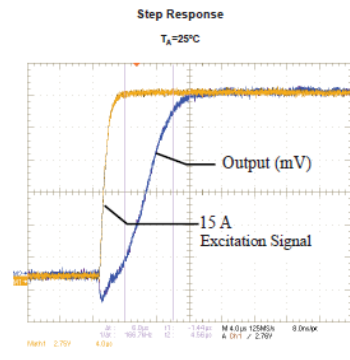
**Power-On Time ( $t_{PO}$ ).** When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time,  $t_{PO}$ , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within  $\pm 10\%$  of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage,  $V_{CC(min)}$ , as shown in the chart at right.



**Rise time ( $t_r$ ).** The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which  $f(-3 \text{ dB}) = 0.35 / t_r$ . Both  $t_r$  and  $t_{RESPONSE}$  are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



$C_F$ (nF)	$t_r$ (µs)
0	6.6
1	7.7
4.7	17.4
10	32.1
22	68.2
47	68.2
100	281.3
220	623.0
470	1120.0



Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

## ACS712

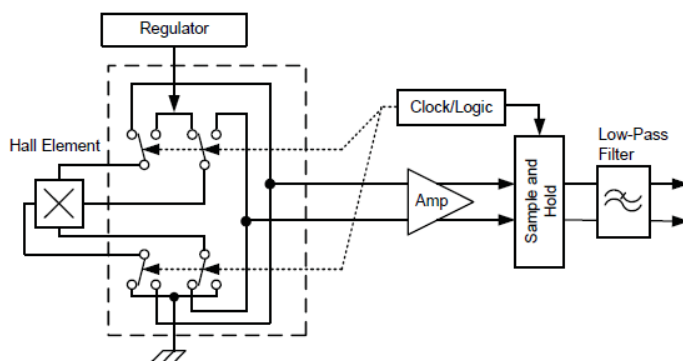
*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

### Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired DC offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated DC offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through

the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.



Concept of Chopper Stabilization Technique

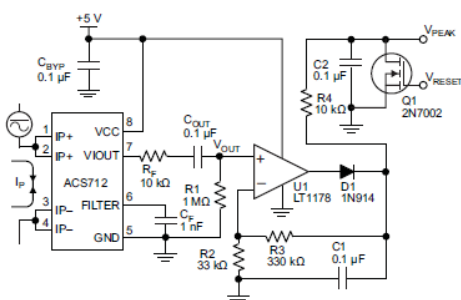


Allegro Microsystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

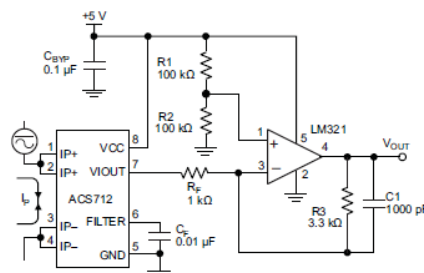
# ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

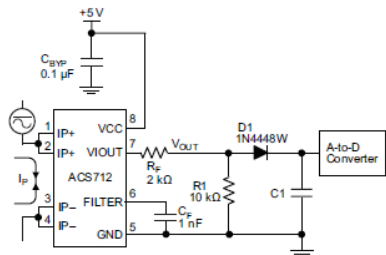
## Typical Applications



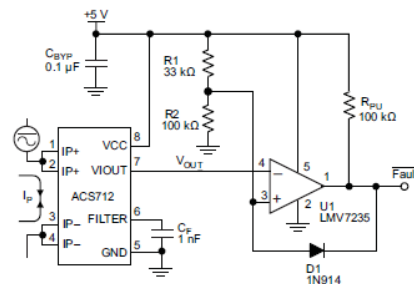
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.



Allegro Microsystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

# ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

## Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the device. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the device output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable device output attenuation — even for DC signals.

Signal attenuation,  $\Delta V_{ATT}$ , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter,  $R_F$  (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit,  $R_{INTFC}$ . The transfer function of this resistive divider is given by:

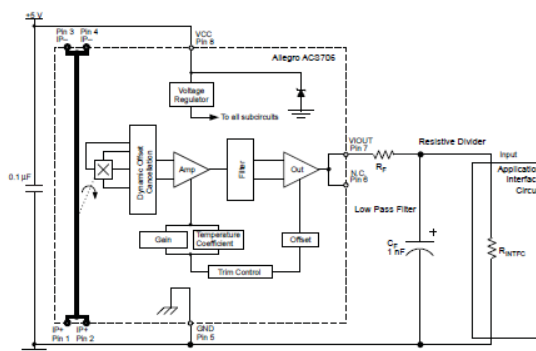
$$\Delta V_{ATT} = V_{OUT} \left( \frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if  $R_F$  and  $R_{INTFC}$  are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

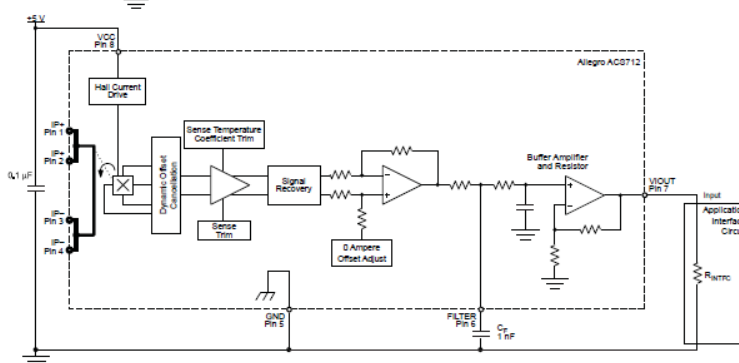
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance,  $R_{INTFC}$ , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k $\Omega$ .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor,  $C_F$  (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for  $\Delta V_{ATT}$ . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor,  $R_F$  and the resistance of the customer interface circuit,  $R_{INTFC}$ . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for  $\Delta V_{ATT}$ .



Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between  $R_F$  and  $R_{INTFC}$ , shown in Application 6.

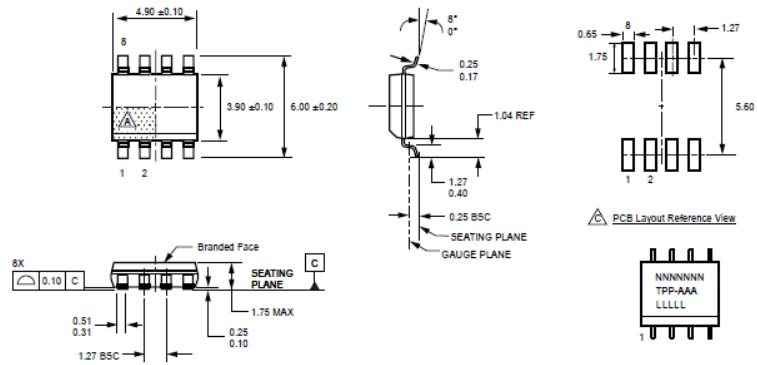


Allegro Microsystems, Inc.  
115 Northeast Outoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

**ACS712**

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

**Package LC, 8-pin SOIC**



- For Reference Only; not for tooling use (reference MS-012AA)  
 Dimensions in millimeters  
 Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and dambar protrusions  
 Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown
- △ Terminal #1 mark area
  - △ Branding scale and appearance at supplier discretion
  - △ Reference land pattern layout (reference IPC7351 SOIC127P600X175-8M); all pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances

- △ PCB Layout Reference View
- △ Standard Branding Reference View
- N = Device part number
  - T = Device temperature range
  - P = Package Designator
  - A = Amperage
  - L = Lot number
  - Belly Brand = Country of Origin



Allegro MicroSystems, Inc.  
 115 Northeast Cutoff  
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
 1.508.853.5000; www.allegromicro.com

**ACS712**

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

**Revision History**

Revision	Revision Date	Description of Revision
Rev. 14	October 12, 2011	Update branding specifications

Copyright ©2006-2011, Allegro MicroSystems, Inc.

The products described herein are protected by U.S. patents: 5,621,319; 7,598,601; and patent pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

[www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)



Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; [www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)

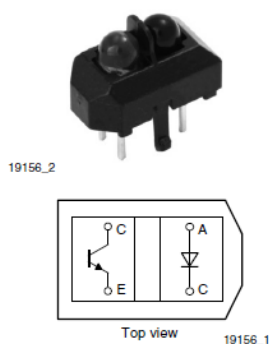
## EK-4 TCRT5000 Kızılötesi Sensörü Datasheet



## TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

## Reflective Optical Sensor with Transistor Output



## FEATURES

- Package type: leaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 10.2 x 5.8 x 7
- Peak operating distance: 2.5 mm
- Operating range within > 20 % relative collector current: 0.2 mm to 15 mm
- Typical output current under test:  $I_C = 1$  mA
- Daylight blocking filter
- Emitter wavelength: 950 nm
- Lead (Pb)-free soldering released
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC

RoHS  
COMPLIANT

## DESCRIPTION

The TCRT5000 and TCRT5000L are reflective sensors which include an infrared emitter and phototransistor in a leaded package which blocks visible light. The package includes two mounting clips. TCRT5000L is the long lead version.

## APPLICATIONS

- Position sensor for shaft encoder
- Detection of reflective material such as paper, IBM cards, magnetic tapes etc.
- Limit switch for mechanical motions in VCR
- General purpose - wherever the space is limited

## PRODUCT SUMMARY

PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM CTR <sub>rel</sub> (1) (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE $I_{out} > 20\%$ (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST (2) (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
TCRT5000	2.5	0.2 to 15	1	Yes
TCRT5000L	2.5	0.2 to 15	1	Yes

## Notes

- (1) CTR: current transference ratio,  $I_{out}/I_{in}$   
 (2) Conditions like in table basic characteristics/sensors

## ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME (1)	REMARKS
TCRT5000	Tube	MOQ: 4500 pcs, 50 pcs/tube	3.5 mm lead length
TCRT5000L	Tube	MOQ: 2400 pcs, 48 pcs/tube	15 mm lead length

## Note

- (1) MOQ: minimum order quantity

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT (EMITTER)</b>				
Reverse voltage		$V_R$	5	V
Forward current		$I_F$	60	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10 \mu s$	$I_{FSM}$	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_j$	100	$^\circ C$

# TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

Reflective Optical Sensor with  
Transistor Output

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup>				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>OUTPUT (DETECTOR)</b>				
Collector emitter voltage		$V_{CEO}$	70	V
Emitter collector voltage		$V_{ECO}$	5	V
Collector current		$I_C$	100	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 55^\circ\text{C}$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_j$	100	$^\circ\text{C}$
<b>SENSOR</b>				
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	$P_{tot}$	200	mW
Ambient temperature range		$T_{amb}$	- 25 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 25 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	2 mm from case, $t \leq 10$ s	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$

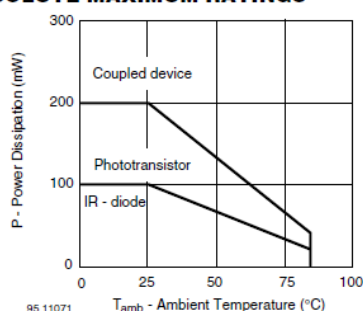
**Note**<sup>(1)</sup>  $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Fig. 1 - Power Dissipation Limit vs. Ambient Temperature

BASIC CHARACTERISTICS <sup>(1)</sup>						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT (EMITTER)</b>						
Forward voltage	$I_F = 60$ mA	$V_F$		1.25	1.5	V
Junction capacitance	$V_R = 0$ V, $f = 1$ MHz	$C_j$		17		pF
Radiant intensity	$I_F = 60$ mA, $t_p = 20$ ms	$I_e$			21	mW/sr
Peak wavelength	$I_F = 100$ mA	$\lambda_p$	940			nm
Virtual source diameter	Method: 63 % encircled energy	$d$		2.1		mm
<b>OUTPUT (DETECTOR)</b>						
Collector emitter voltage	$I_C = 1$ mA	$V_{CEO}$	70			V
Emitter collector voltage	$I_e = 100$ $\mu\text{A}$	$V_{ECO}$	7			V
Collector dark current	$V_{CE} = 20$ V, $I_F = 0$ A, $E = 0$ lx	$I_{CEO}$		10	200	nA
<b>SENSOR</b>						
Collector current	$V_{CE} = 5$ V, $I_F = 10$ mA, $D = 12$ mm	$I_C$ <sup>(2) (3)</sup>	0.5	1	2.1	mA
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 10$ mA, $I_C = 0.1$ mA, $D = 12$ mm	$V_{CEsat}$ <sup>(2) (3)</sup>			0.4	V

**Note**<sup>(1)</sup>  $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified<sup>(2)</sup> See figure 3<sup>(3)</sup> Test surface: mirror (Mfr. Spindler a. Hoyer, Part No. 340005)



**TCRT5000, TCRT5000L**

Reflective Optical Sensor with Transistor Output

Vishay Semiconductors

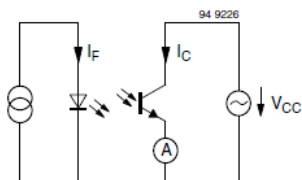


Fig. 2 - Test Circuit

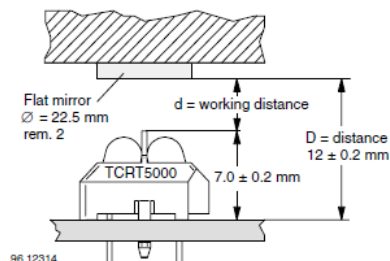


Fig. 3 - Test Circuit

**BASIC CHARACTERISTICS**

T<sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified

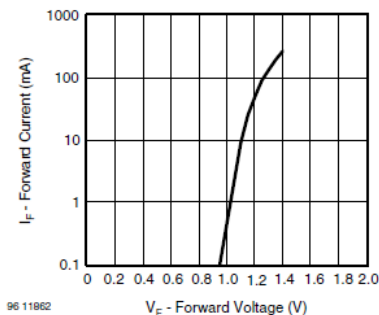


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

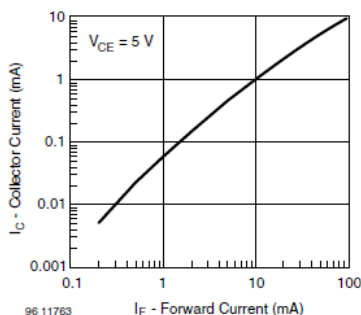


Fig. 6 - Collector Current vs. Forward Current

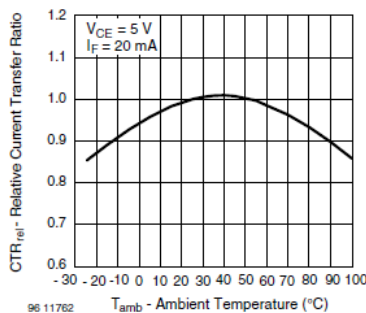


Fig. 5 - Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

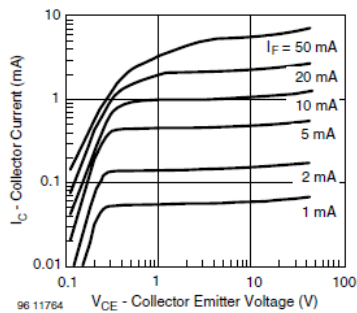


Fig. 7 - Collector Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current

# TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors Reflective Optical Sensor with Transistor Output

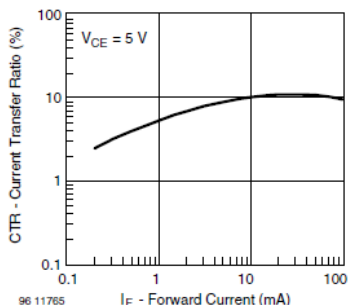


Fig. 8 - Current Transfer Ratio vs. Forward Current

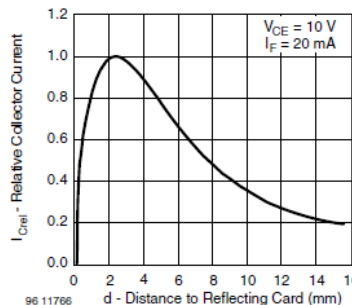
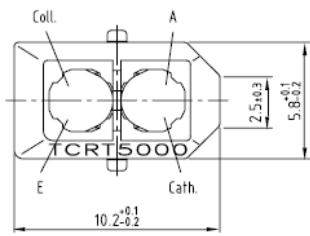
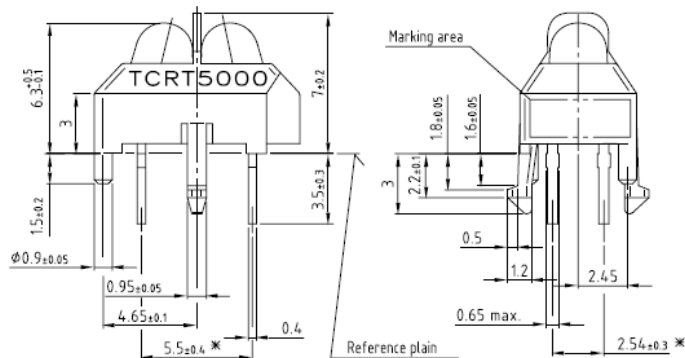


Fig. 9 - Relative Collector Current vs. Distance

## PACKAGE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000

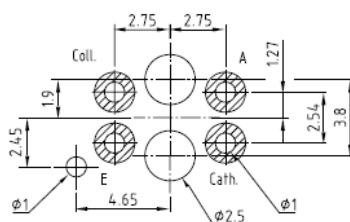


\* Tolerances related to reference plain

weight: ca. 0.23g



Footprint Top View



Drawing-No.: 6.550-5096.01-4

Issue: 4; 11.04.02

96 12073

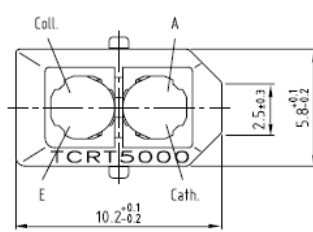
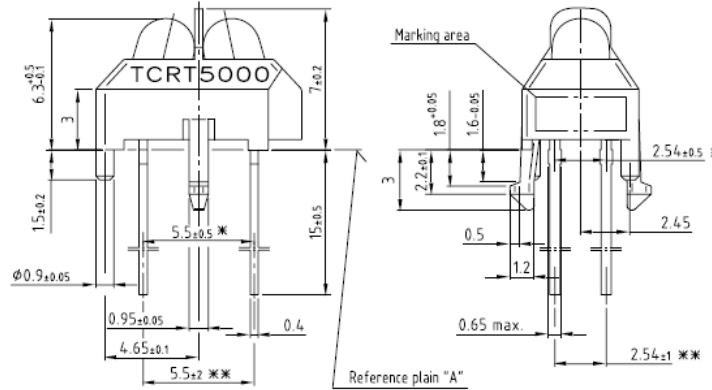


# TCRT5000, TCRT5000L

Reflective Optical Sensor with Transistor Output

Vishay Semiconductors

## PACKAGE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000L



weight: ca. 0.23g

Drawing-No: 6.550-5146.01-4  
 Issue: 4; 11.04.02  
 95 11267

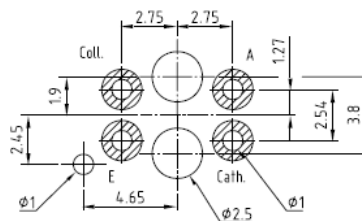
\* Tolerances related to reference plain "A"

\*\* Tolerances related on lead end



Technical drawings according to DIN specifications

Footprint Top View



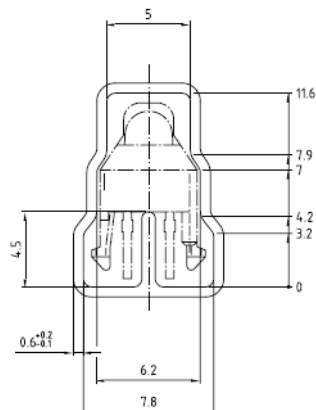
# TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

Reflective Optical Sensor with Transistor Output



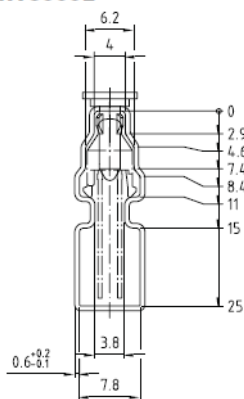
## TUBE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000



With rubber stopper  
Tolerance:  $\pm 0.5\text{mm}$   
Length:  $575 \pm 1\text{mm}$

Drawing-No: 9.700-5139.01-4  
Issue: 1, 10.05.00  
200909

## TUBE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000L



With stopper pins  
Tolerance:  $\pm 0.5\text{mm}$   
Length:  $575 \pm 1\text{mm}$

Drawing-No: 9.700-5178.01-4  
Issue: 1, 25.02.00  
200909



## Packaging and Ordering Information

Vishay Semiconductors

### Packaging and Ordering Information

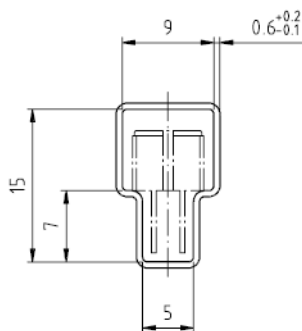
PART NUMBER	MOQ <sup>(1)</sup>	PCS PER TUBE	TUBE SPEC. (FIGURE)	CONSTITUENTS (FORMS)
CNY70	4000	80	1	28
TCPT1300X01	2000	Reel	<sup>(2)</sup>	29
TCRT1000	1000	Bulk	-	26
TCRT1010	1000	Bulk	-	26
TCRT5000	4500	50	2	27
TCRT5000L	2400	48	3	27
TCST1030	5200	65	5	24
TCST1030L	2600	65	6	24
TCST1103	1020	85	4	24
TCST1202	1020	85	4	24
TCST1230	4800	60	7	24
TCST1300	1020	85	4	24
TCST2103	1020	85	4	24
TCST2202	1020	85	4	24
TCST2300	1020	85	4	24
TCST5250	4860	30	8	24
TCUT1300X01	2000	Reel	<sup>(2)</sup>	29
TCZT8020-PAER	2500	Bulk	-	22

#### Notes

<sup>(1)</sup> MOQ: minimum order quantity

<sup>(2)</sup> Please refer to datasheets

#### TUBE SPECIFICATION FIGURES



With rubber stopper

Tolerance:  $\pm 0.5\text{mm}$

Length:  $575 \pm 1\text{mm}$

Drawing-No.: 9.700-5097.01-4

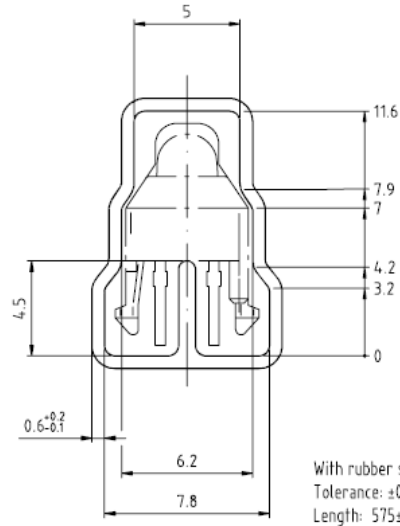
Issue: 1; 25.02.00

15198

Fig. 1

**Packaging and Ordering Information**

Vishay Semiconductors Packaging and Ordering Information



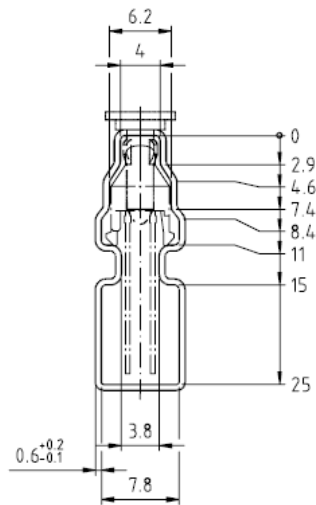
Drawing-No.: 9.700-5139.01-4  
Issue: 1; 10.05.00

Drawing refers to following types: TCRT 5000

With rubber stopper  
Tolerance: ±0.5mm  
Length: 575±1mm

15210

Fig. 2



With stopper pins  
Tolerance: ±0.5mm  
Length: 575±1mm

Drawing-No.: 9.700-5178.01-4  
Issue: 1; 25.02.00

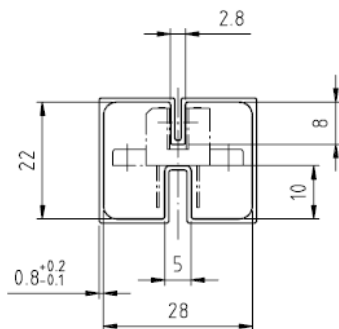
15201

Fig. 3



## Packaging and Ordering Information

Packaging and Ordering Information Vishay Semiconductors

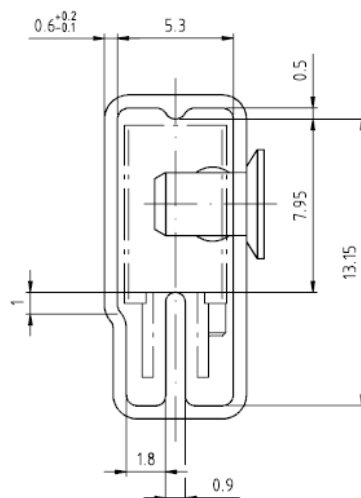


With rubber stopper  
Tolerance: ±0.5mm  
Length: 575±1mm

Drawing-No.: 9.700-5100.01-4  
Issue: 1; 25.02.00

15199

Fig. 4



With stopper pins  
Tolerance: ±0.5mm  
Length: 575±1mm

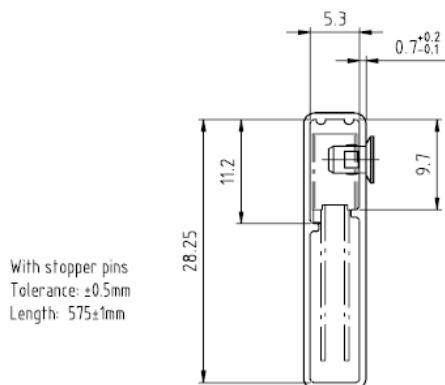
Drawing-No.: 9.700-5140.01-4  
Issue: 1; 25.02.00

15202

Fig. 5

## Packaging and Ordering Information

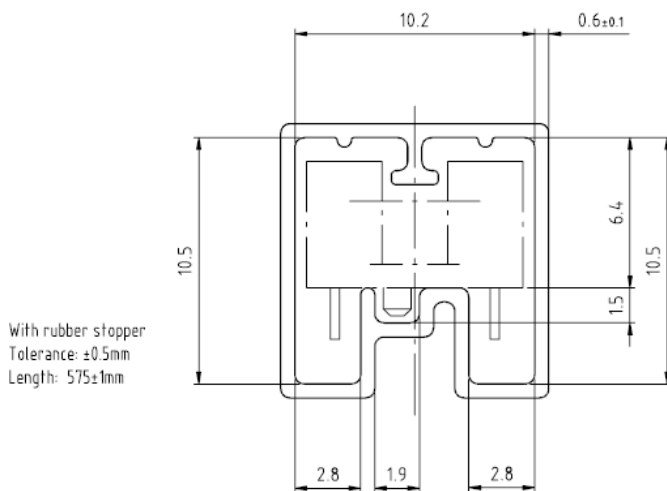
Vishay Semiconductors Packaging and Ordering Information



Drawing-No.: 9.700-5205.01-4  
Issue: 1; 25.02.00

15196

Fig. 6



Drawing-No.: 9.700-5245.01-4  
Issue: 1; 25.02.00

15196

Fig. 7



## Packaging and Ordering Information

Packaging and Ordering Information Vishay Semiconductors

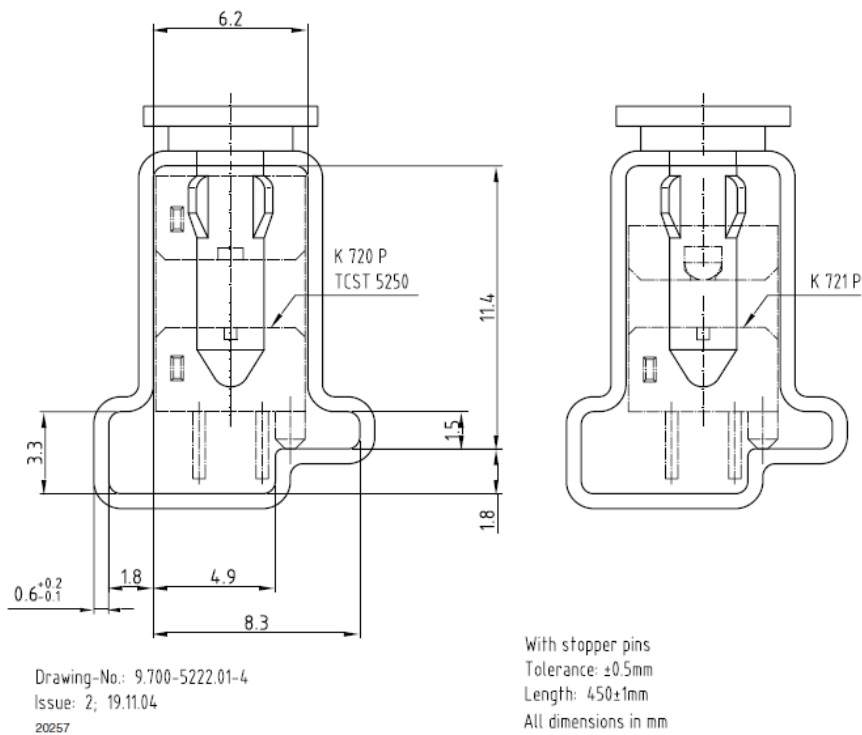


Fig. 8



## Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

## EK-5 ULN2003 Step Motor Sürücüsü Datasheet


**ULN2001A-ULN2002A**  
**ULN2003A-ULN2004A**

## SEVEN DARLINGTON ARRAYS

- SEVEN DARLINGTONS PER PACKAGE
- OUTPUT CURRENT 500mA PER DRIVER (600mA PEAK)
- OUTPUT VOLTAGE 50V
- INTEGRATED SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- OUTPUTS CAN BE PARALLELED FOR HIGHER CURRENT
- TTL/CMOS/PMOS/DTL COMPATIBLE INPUTS
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY LAYOUT

**DESCRIPTION**

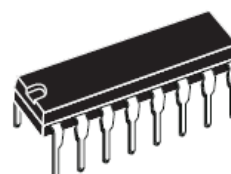
The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003 and ULN2004A are high voltage, high current darlington arrays each containing seven open collector darlington pairs with common emitters. Each channel rated at 500mA and can withstand peak currents of 600mA. Suppression diodes are included for inductive load driving and the inputs are pinned opposite the outputs to simplify board layout.

The four versions interface to all common logic families :

ULN2001A	General Purpose, DTL, TTL, PMOS, CMOS
ULN2002A	14-25V PMOS
ULN2003A	5V TTL, CMOS
ULN2004A	6-15V CMOS, PMOS

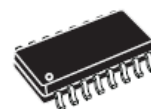
These versatile devices are useful for driving a wide range of loads including solenoids, relays DC motors, LED displays filament lamps, thermal print-heads and high power buffers.

The ULN2001A/2002A/2003A and 2004A are supplied in 16 pin plastic DIP packages with a copper leadframe to reduce thermal resistance. They are available also in small outline package (SO-16) as ULN2001D/2002D/2003D/2004D.



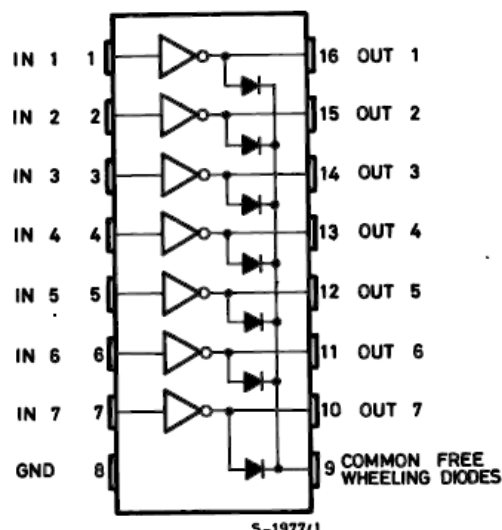
DIP16

ORDERING NUMBERS: ULN2001A/2A/3A/4A



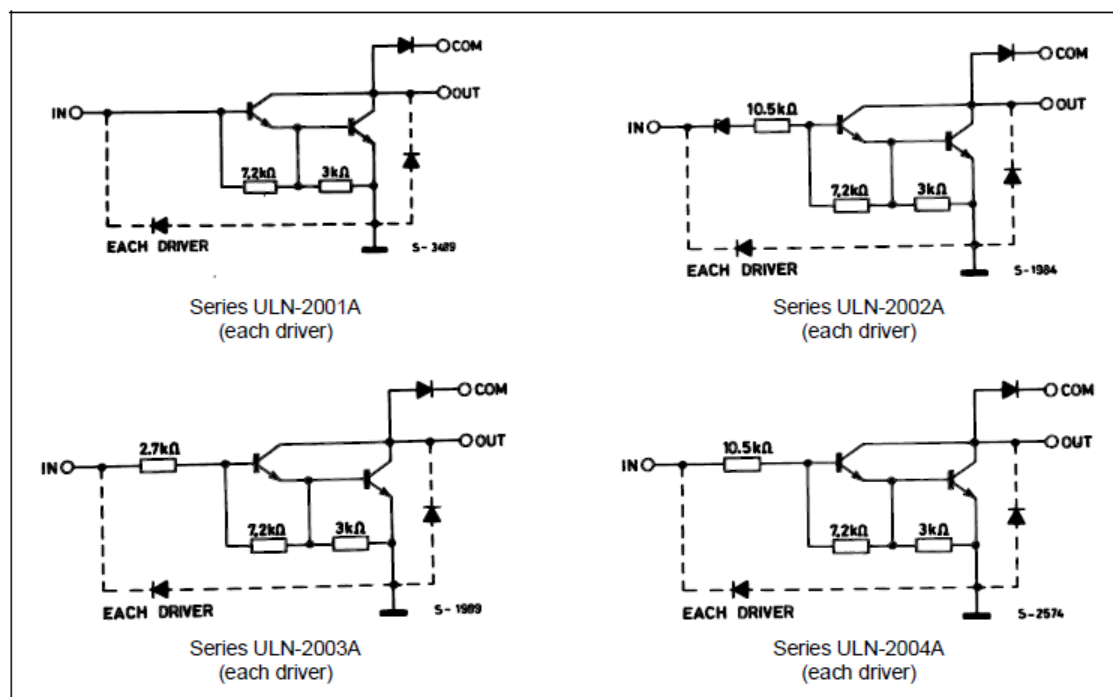
SO16

ORDERING NUMBERS: ULN2001D/2D/3D/4D

**PIN CONNECTION**

## ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

## SCHEMATIC DIAGRAM



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_o$	Output Voltage	50	V
$V_{in}$	Input Voltage (for ULN2002A/D - 2003A/D - 2004A/D)	30	V
$I_c$	Continuous Collector Current	500	mA
$I_b$	Continuous Base Current	25	mA
$T_{amb}$	Operating Ambient Temperature Range	- 20 to 85	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	- 55 to 150	°C
$T_j$	Junction Temperature	150	°C

## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP16	SO16	Unit
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 70	120	°C/W

## ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$  unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.	
$I_{CEX}$	Output Leakage Current	$V_{CE} = 50\text{V}$ $T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}$ , $V_{CE} = 50\text{V}$			50 100	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$	1a 1a	
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}$ for ULN2002A $V_{CE} = 50\text{V}$ , $V_i = 6\text{V}$			500	$\mu\text{A}$	1b	
		for ULN2004A $V_{CE} = 50\text{V}$ , $V_i = 1\text{V}$			500	$\mu\text{A}$	1b	
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 100\text{mA}$ , $I_B = 250\mu\text{A}$		0.9	1.1	V	2	
		$I_C = 200\text{mA}$ , $I_B = 350\mu\text{A}$		1.1	1.3	V	2	
		$I_C = 350\text{mA}$ , $I_B = 500\mu\text{A}$		1.3	1.6	V	2	
$I_{i(on)}$	Input Current	for ULN2002A, $V_i = 17\text{V}$		0.82	1.25	mA	3	
		for ULN2003A, $V_i = 3.85\text{V}$		0.93	1.35	mA	3	
		for ULN2004A, $V_i = 5\text{V}$		0.35	0.5	mA	3	
		$V_i = 12\text{V}$		1	1.45	mA	3	
$I_{i(off)}$	Input Current	$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}$ , $I_C = 500\mu\text{A}$	50	65		$\mu\text{A}$	4	
$V_{i(on)}$	Input Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}$ for ULN2002A $I_C = 300\text{mA}$			13		V	5
		for ULN2003A $I_C = 200\text{mA}$			2.4			
		$I_C = 250\text{mA}$			2.7			
		$I_C = 300\text{mA}$			3			
		for ULN2004A $I_C = 125\text{mA}$			5			
		$I_C = 200\text{mA}$			6			
$I_C = 275\text{mA}$			7					
$I_C = 350\text{mA}$			8					
$h_{FE}$	DC Forward Current Gain	for ULN2001A $V_{CE} = 2\text{V}$ , $I_C = 350\text{mA}$	1000					
$C_i$	Input Capacitance			15	25	pF		
$t_{PLH}$	Turn-on Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	$\mu\text{s}$		
$t_{PHL}$	Turn-off Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	$\mu\text{s}$		
$I_R$	Clamp Diode Leakage Current	$V_R = 50\text{V}$ $T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}$ , $V_R = 50\text{V}$			50 100	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$	6 6	
$V_F$	Clamp Diode Forward Voltage	$I_F = 350\text{mA}$		1.7	2	V	7	

ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

TEST CIRCUITS

Figure 1a.

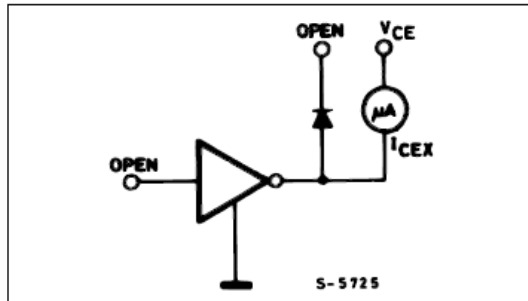


Figure 1b.

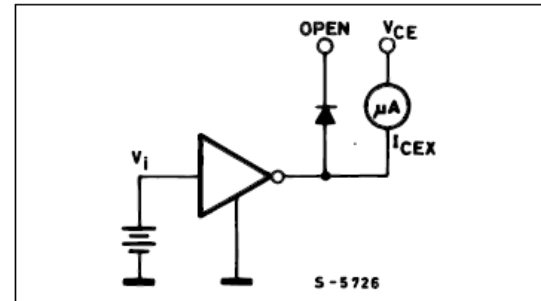


Figure 2.

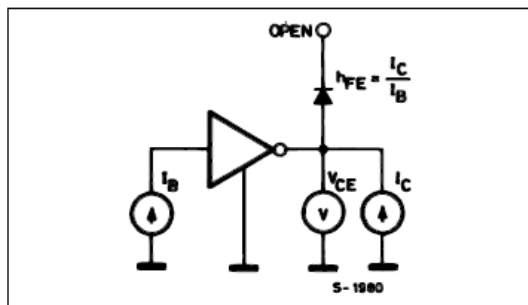


Figure 3.

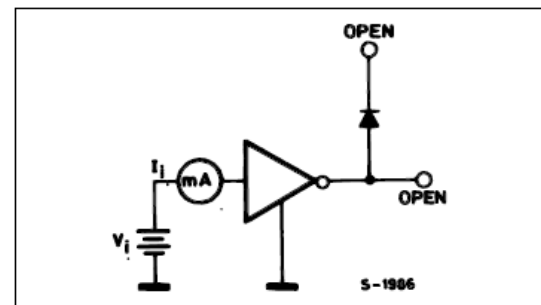


Figure 4.

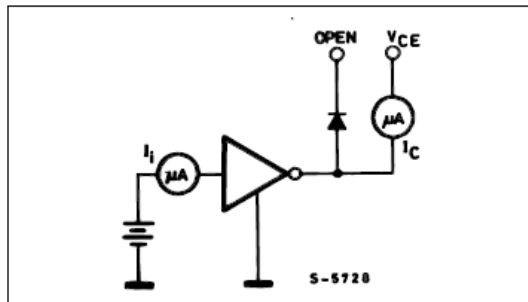


Figure 5.

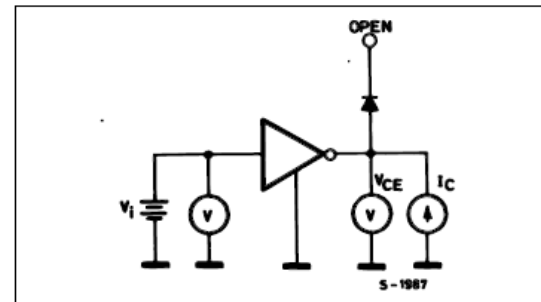


Figure 6.

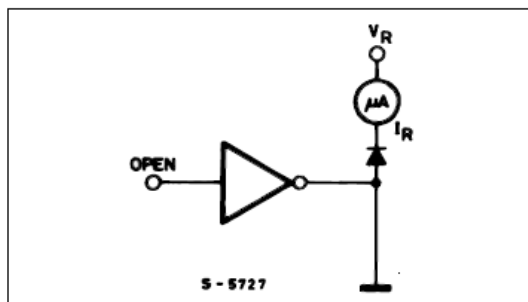
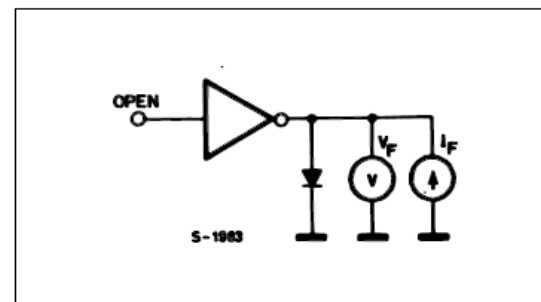


Figure 7.



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

Figure 8: Collector Current versus Input Current

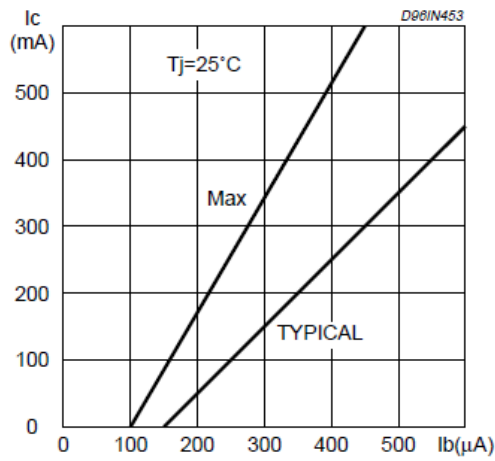


Figure 9: Collector Current versus Saturation Voltage

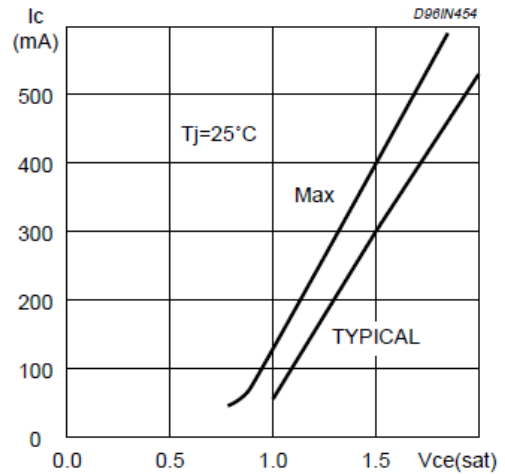


Figure 10: Peak Collector Current versus Duty Cycle

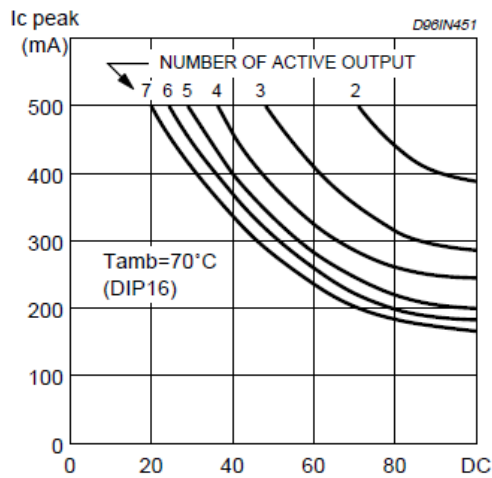
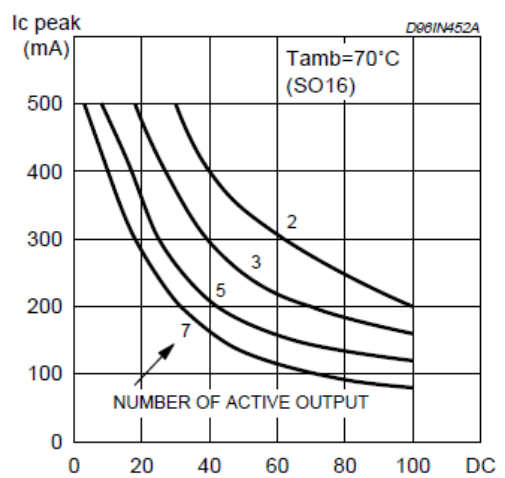
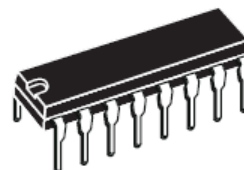


Figure 11: Peak Collector Current versus Duty Cycle

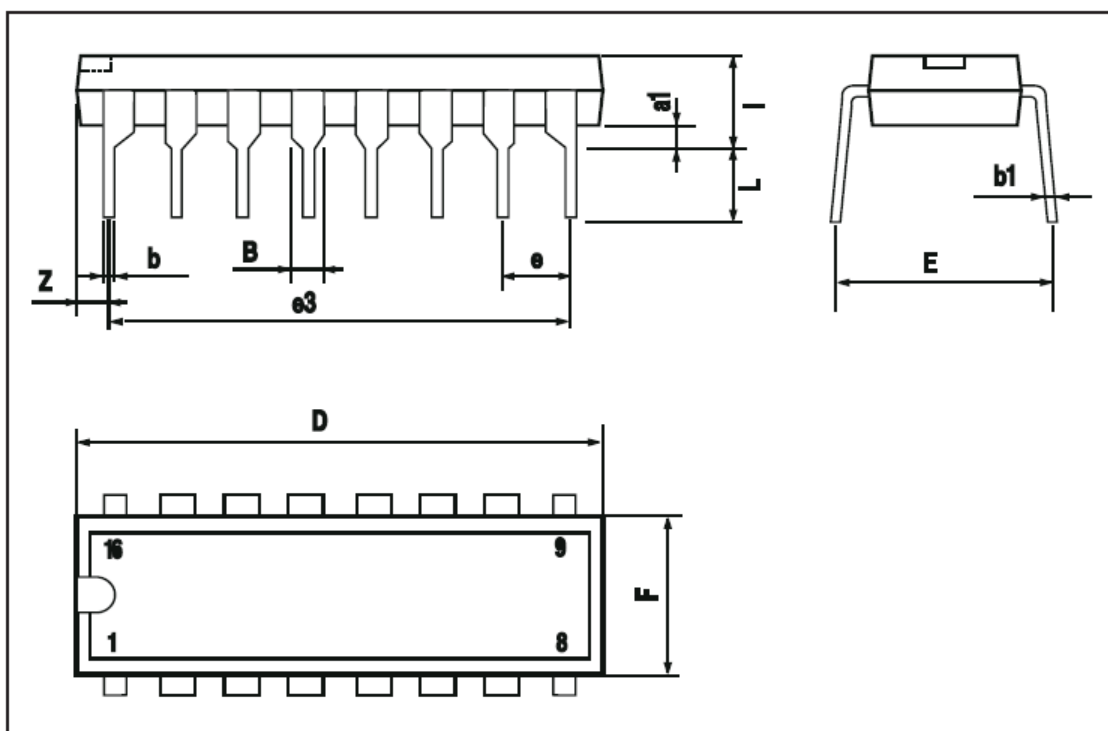


## ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050

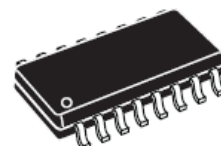
OUTLINE AND  
MECHANICAL DATA

DIP16



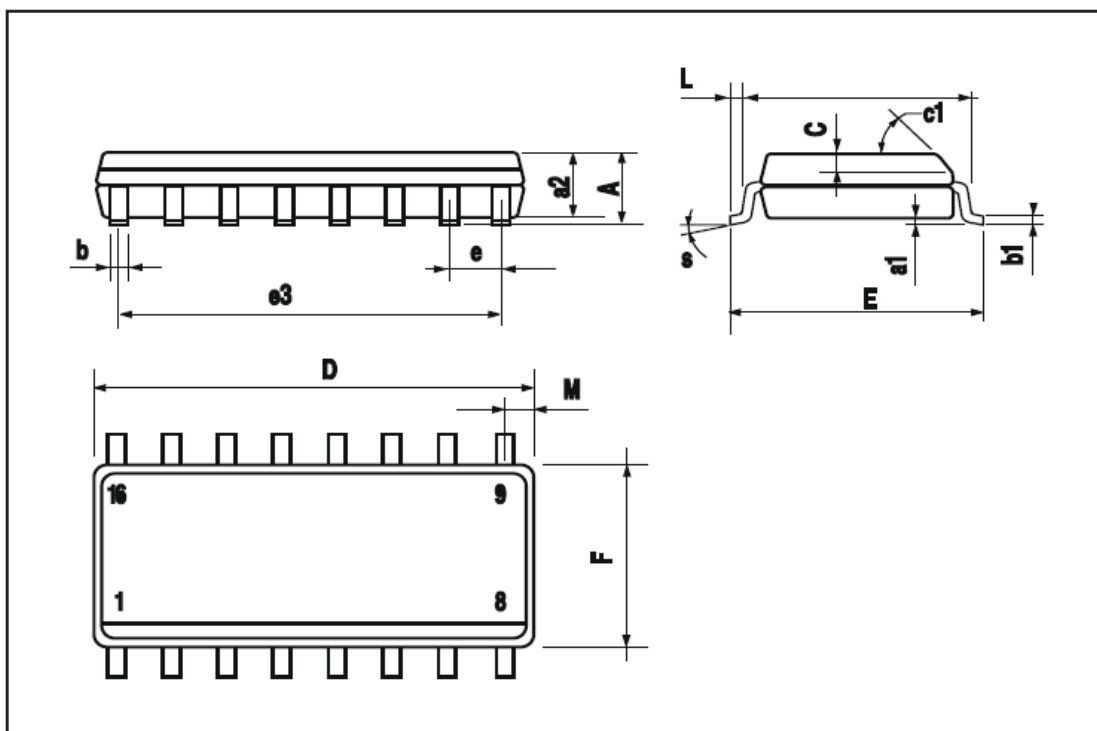
## ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.009
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45° (typ.)					
D (1)	9.8		10	0.386		0.394
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F (1)	3.8		4	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.209
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.62			0.024
S	8°(max.)					

OUTLINE AND  
MECHANICAL DATA

## SO16 Narrow

(1) D and F do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.006inch).



**ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A**

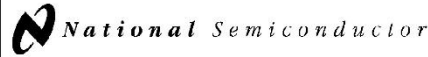
---

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics  
© 2002 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved  
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -  
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.  
<http://www.st.com>

# EK-6 LM 35 Sıcaklık Sensörü



December 1994

## LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^\circ$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10^\circ$  with improved accuracy). The LM35 series is

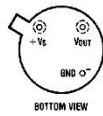
available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

### Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for 1 mA load

### Connection Diagrams

**TO-46  
Metal Can Package\***

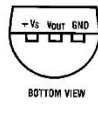


TL/H/5516-1

\*Case is connected to negative pin (GND).

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH  
See NS Package Number H03H

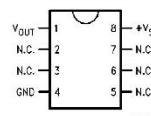
**TO-92  
Plastic Package**



TL/H/5516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ  
See NS Package Number Z03A

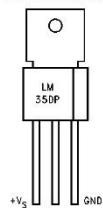
**SO-8  
Small Outline Molded Package**



TL/H/5516-21

Top View  
N.C. = No Connection  
Order Number LM35DM  
See NS Package Number M08A

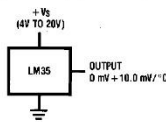
**TO-202  
Plastic Package**



TL/H/5516-24

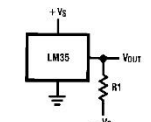
Order Number LM35DP  
See NS Package Number P03A

### Typical Applications



TL/H/5516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ( $+2^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ )



TL/H/5516-4

Choose  $R_1 = -V_S/60\ \mu\text{A}$   
 $V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$   
FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D  
Precision Centigrade Temperature Sensors

<b>Absolute Maximum Ratings</b> (Note 10)									
<b>If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.</b>									
Supply Voltage		+35V to -0.2V		SO Package (Note 12):					
Output Voltage		+6V to -1.0V		Vapor Phase (60 seconds)				215°C	
Output Current		10 mA		Infrared (15 seconds)				220°C	
Storage Temp., TO-46 Package,		-60°C to +180°C		ESD Susceptibility (Note 11)				2500V	
TO-92 Package,		-60°C to +150°C		Specified Operating Temperature Range: $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$					
SO-8 Package,		-65°C to +150°C		(Note 2)					
TO-202 Package,		-65°C to +150°C		LM35, LM35A				-55°C to +150°C	
				LM35C, LM35CA				-40°C to +110°C	
				LM35D				0°C to +100°C	
Lead Temp.:									
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)		300°C							
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)		260°C							
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)		+230°C							
<b>Electrical Characteristics</b> (Note 1) (Note 6)									
Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)	
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)		
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		°C	
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$			$\pm 0.3$			°C	
	$T_A = T_{MAX}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		°C	
	$T_A = T_{MIN}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.5$		°C	
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.18$		$\pm 0.35$	$\pm 0.15$			°C	
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C	
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		mV/mA	
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	mV/mA	
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		mV/V	
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	mV/V	
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		$\mu\text{A}$	
	$V_S = +5\text{V}$	<b>105</b>		<b>131</b>	<b>91</b>		<b>114</b>	$\mu\text{A}$	
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		$\mu\text{A}$	
	$V_S = +30\text{V}$	<b>105.5</b>		<b>133</b>	<b>91.5</b>		<b>116</b>	$\mu\text{A}$	
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		$\mu\text{A}$	
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	<b>0.5</b>		<b>2.0</b>	<b>0.5</b>		<b>2.0</b>	$\mu\text{A}$	
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$	
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C	
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			°C	
<p><b>Note 1:</b> Unless otherwise noted, these specifications apply: <math>-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}</math> for the LM35 and LM35A; <math>-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}</math> for the LM35C and LM35CA; and <math>0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}</math> for the LM35D. <math>V_S = +5\text{Vdc}</math> and <math>I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}</math>, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from <math>-2^\circ\text{C}</math> to <math>T_{MAX}</math> in the circuit of Figure 1. Specifications in <b>boldface</b> apply over the full rated temperature range.</p> <p><b>Note 2:</b> Thermal resistance of the TO-46 package is <math>400^\circ\text{C}/\text{W}</math>, junction to ambient, and <math>24^\circ\text{C}/\text{W}</math> junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is <math>180^\circ\text{C}/\text{W}</math> junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is <math>220^\circ\text{C}/\text{W}</math> junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is <math>85^\circ\text{C}/\text{W}</math> junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.</p>									

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6) (Continued)								
Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.5$			$\pm 0.5$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.8$	$\pm 1.5$		$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$\pm 0.8$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				$\pm 0.6$	$\pm 1.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.3$		$\pm 0.5$	$\pm 0.2$		$\pm 0.5$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+ 10.0$	$+ 9.8,$ $+ 10.2$		$+ 10.0$		$+ 9.8,$ $+ 10.2$	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$			$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		$\mu\text{A}$
	$V_S = +5\text{V}$	<b>105</b>		<b>158</b>	<b>91</b>		<b>138</b>	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}$	<b>105.5</b>		<b>161</b>	<b>91.5</b>		<b>141</b>	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		$\mu\text{A}$
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	<b>0.5</b>		<b>3.0</b>	<b>0.5</b>		<b>3.0</b>	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+ 0.39$		$+ 0.7$	$+ 0.39$		$+ 0.7$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	$+ 1.5$		$+ 2.0$	$+ 1.5$		$+ 2.0$	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$

**Note 3:** Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

**Note 4:** Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

**Note 5:** Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

**Note 6:** Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

**Note 7:** Accuracy is defined as the error between the output voltage and  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in  $^\circ\text{C}$ ).

**Note 8:** Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

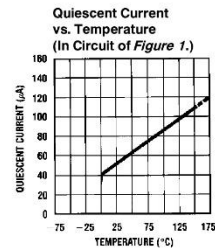
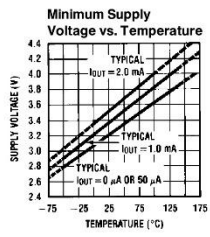
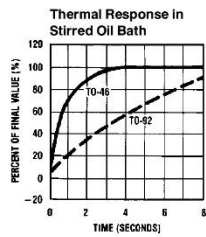
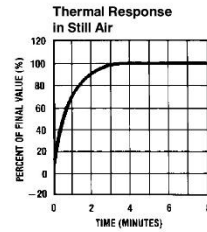
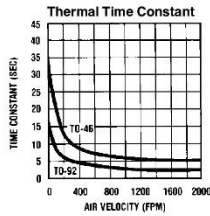
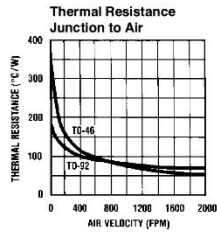
**Note 9:** Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

**Note 10:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

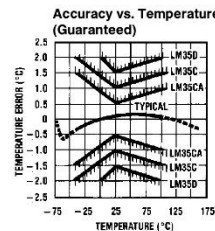
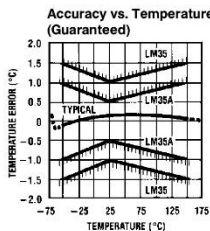
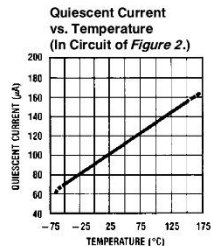
**Note 11:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

**Note 12:** See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

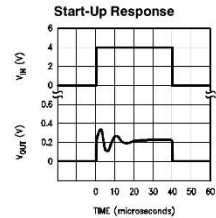
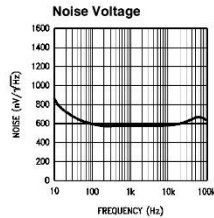
**Typical Performance Characteristics**



TL/H/5516-17



TL/H/5516-18



TL/H/5516-22

### Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance)

	TO-46 no heat sink	TO-46 small heat fin*	TO-92 no heat sink	TO-92 small heat fin**	SO-8 no heat sink	SO-8 small heat fin**	TO-202 no heat sink	TO-202*** small heat fin
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	85°C/W	60°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	25°C/W	40°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W				
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W				
(Clamped to metal, Infinite heat sink)	(24°C/W)				(55°C/W)		(23°C/W)	

\* Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

\*\* TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

### Typical Applications (Continued)

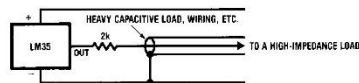


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

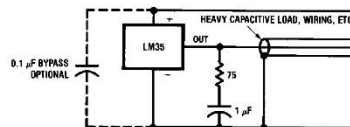


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

#### CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, 6, or 8, it is relatively immune to wiring

capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V<sub>IN</sub> to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figures 13, 14, and 16.

Typical Applications (Continued)

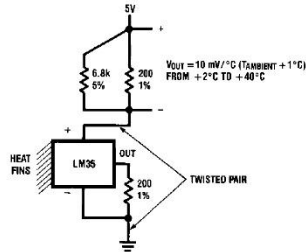


FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)

TL/H/5516-5

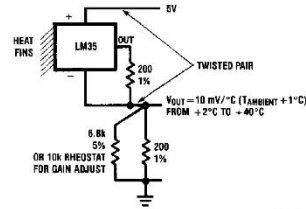


FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

TL/H/5516-6

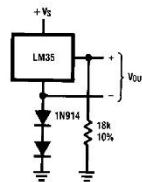


FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55°C to +150°C

TL/H/5516-7

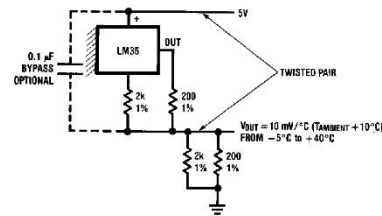


FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

TL/H/5516-8

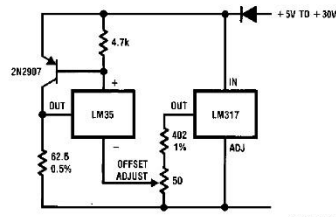


FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

TL/H/5516-9

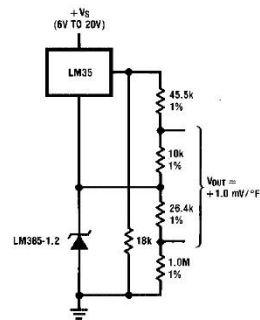


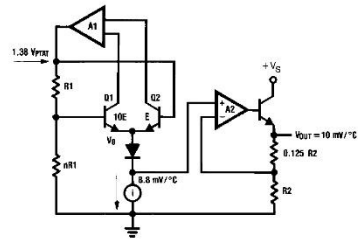
FIGURE 10. Fahrenheit Thermometer

TL/H/5516-10



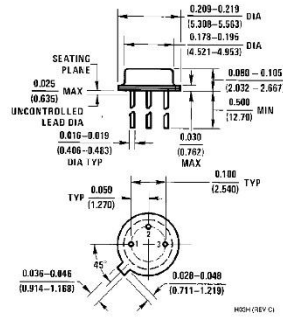


## Block Diagram

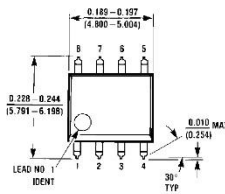


TL/H/5516-23

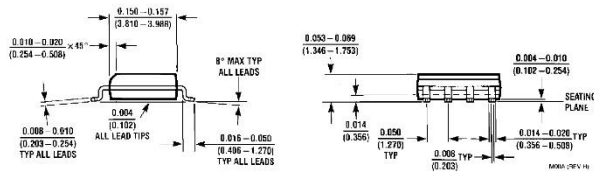
**Physical Dimensions** inches (millimeters)



**TO-46 Metal Can Package (H)**  
**Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,**  
**LM35CAH, or LM35DH**  
**NS Package Number H03H**



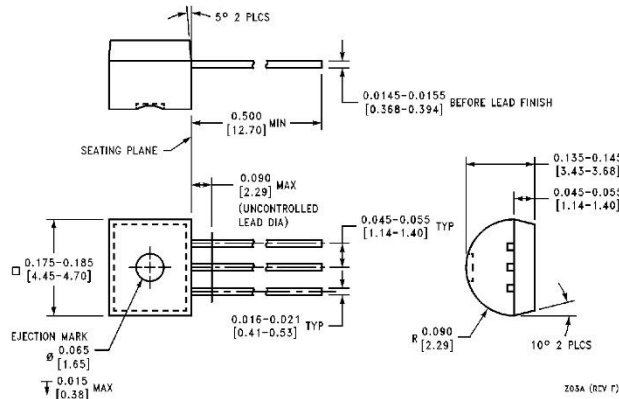
**SO-8 Molded Small Outline Package (M)**  
**Order Number LM35DM**  
**NS Package Number M08A**





LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D  
Precision Centigrade Temperature Sensors

**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



**TO-92 Plastic Package (Z)**  
**Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ**  
**NS Package Number Z03A**

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

<p><b>National Semiconductor Corporation</b>                  2500 Semiconductor Drive                  P.O. Box 58090                  Santa Clara, CA 95052-8090                  Tel: (800) 272-9959                  TWX: (910) 339-8240</p>	<p><b>National Semiconductor GmbH</b>                  Leiny-Gargan-Str. 10                  D-82256 Fürstenfeldbruck                  Germany                  Tel: (81-41) 35-0                  Telex: 527649                  Fax: (81-41) 95-1</p>	<p><b>National Semiconductor Japan Ltd.</b>                  Sumitomo Chemical Engineering Center                  Bldg. 7F                  1-7-1, Nakase, Mihama-Ku                  Chiba-City,                  Chiba Prefecture 261                  Tel: (043) 239-2300                  Fax: (043) 239-2500</p>	<p><b>National Semiconductor Hong Kong Ltd.</b>                  13th Floor, Straight Block,                  Ocean Centre, 8 Canton Rd.                  Tsimshatsui, Kowloon                  Hong Kong                  Tel: (852) 2737-1600                  Fax: (852) 2738-9900</p>	<p><b>National Semiconductores Do Brazil Ltda.</b>                  Rua Depuado Laporda Franco                  120-3A                  São Paulo-sp                  Brazil 05418-000                  Tel: (55-11) 212-5699                  Telex: 3911121921 NSBR BR                  Fax: (55-11) 212-1181</p>	<p><b>National Semiconductor (Australia) Pty. Ltd.</b>                  Building 10                  Business Park Drive                  Monash Business Park                  Nottingham, Melbourne                  Victoria 3168 Australia                  Tel: (61) 568-9999                  Fax: (3) 568-9998</p>
--	---	--	---	---	---

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

<b>Adı Soyadı</b>	:	Abdurrahim ERAT
<b>Uyruğu</b>	:	TC.
<b>Doğum Yeri ve Tarihi</b>	:	İdil / 15.11.1987
<b>Telefon</b>	:	0542 201 3173
<b>Faks</b>	:	
<b>e-mail</b>	:	<a href="mailto:a.rahim_erat@outlook.com">a.rahim_erat@outlook.com</a>

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Nigar Ertürk Lisesi, Şehitkamil, Gaziantep	2007
Üniversite	: Ömer Halisdemir Üniversitesi, Merkez, Niğde	2013
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	2018
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018	Ünilever A.Ş. (CEE Elektrik A.Ş.)	Elektrik Elektronik Mühendisi (Bakım Mühendisi)
2016	Ünilever A.Ş. (CEE Elektrik A.Ş.)	Elektrik Elektronik Mühendisi (Proje Mühendisi)
2013	Cihan Asansör San. Tic. A.Ş.	Elektrik Elektronik Mühendisi (Son Kontrol Mühendisi-Yönetim Temsilcisi)

### UZMANLIK ALANI

• Engineering	• Process Automation
• Continuous Improvement	• Emerson DeltaV
• Project Management	• Profibus
• Quality Management	• SCADA
• Project Planning	• PLC Siemens
• Microsoft Office	• AutoCAD
• Commissioning	• Electricians
• TPM	• Product Development
• Quality System	• Project Engineering
• Automation	• Process Engineering

• PLC	• Manufacturing
• Management	• Electronics
• Instrument Calibration	• E-Plan
Factory	• PLC Allen Bradley
• PLC Hitachi	• Industrial
• Instrumentation	• Solar Drivers
• Industrial Drivers	• Solar

### **YABANCI DİLLER**

İngilizce (YDS): 72.5

### **BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER**

### **SERTİFİKALAR**

• <b>2013</b> TS EN ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Temel Eğitimi, Konya, TSE
• <b>2013</b> TS EN ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi İç Tetkik Eğitimi, Konya, TSE
• <b>2013</b> TS EN ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Dökümantasyon Eğitimi, Konya, TSE
• <b>2012</b> Web Tasarım Sertifikası, Niğde, NÜSEM (Niğde Üniversitesi Sürekli Eğitim Merkezi).
• <b>2011</b> Bilgisayar Kullanım Sertifikası, Niğde, MEB.

### **STAJ DENEYİMLERİ**

• <b>2012</b> ULTAŞ, Niğde, İplik Fabrikası.
• <b>2011</b> ÇİMSA Çimento Fabrikası, Niğde, Sabancı Holding.