



T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

**RASPBERRY Pİ 3 İLE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ
(RPIGTS)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MUHAMMED AVCU
166301134

Danışman :Prof. Dr. Osman YILDIRIM

İstanbul, 2018



T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

RASPBERRY Pİ 3 İLE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ
(RPIGTS)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed AVCU

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Raspberry Pi 3 ile Güneş Takip Sistemi (RPIGTS) ” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

07.08.2018

MUHAMMED AVCU

ONAY

Tezimin/ kağıt ve elektronik kopyalarının İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece İstanbul Arel yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumun 5 yıl erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

07.08.2018

Muhammed AVCU

ÖZET

RASPBERRY Pİ 3 İLE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ (RPIGTS)

Muhammed AVCU

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIRIM

Ağustos, 2018 - Sayfa

Günümüz gelişen toplumlarında en büyük ihtiyaç enerjidir. Bu ihtiyaç insanların bir takım çözüm yolları bulmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmelerine yol açmıştır. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri ise güneştir. Gün içerisinde uygun koşullar sağlandığında güneş enerjisi, sürekli ve yüksek bir enerji kaynağıdır. Bizlerin ise bu enerji kaynağını maksimum seviyede kullanması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, Raspberry Pi 3 kullanılarak Güneş Takip Sistemi (RPIGTS) tasarlanmıştır. RPIGTS ile anılan sistemin prototipi denenmiş ve kurulmuştur. Bu prototip ile en yüksek verim elde edilmiştir. Python kodlarından yararlanılarak RPIGTS'ye en üst seviyede erişim sağlanmıştır. Sistemin uzaktan kontrolü, bakım müdahaleleri kolaylığı sağlanmıştır. Raspberry Pi 3 ile bunun başarılı bir şekilde yapıldığı, RPIGTS'nin en üst seviyede verim ile çalıştığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Raspberry Pi 3, Güneş Takip Sistemi, Güneş Enerjisi, Python

ABSTRACT

SOLAR FOLLOW-UP SYSTEM WITH RASPBERRY PI 3

Muhammed AVCU

Master Thesis, Department of Electric-Electronic Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Osman YILDIRIM

August, 2018- xxx Pages

The greatest need in today's developing societies is energy. This has led people to turn to renewable energy sources to find some solutions. One of the most important renewable energy sources is the sun. When appropriate conditions are met throughout the day, it is a continuous and high energy source. We need to use this energy source at the maximum level.

In this thesis, Raspberry Pi 3 is designed together with Solar Tracking System (RPIGTS). Prototype of system installed. Maximum efficiency is achieved. Maximum intervention to the Solar Tracking System is provided by using Python codes. The remote control of the system, maintenance interventions have been facilitated. With the Raspberry Pi 3, it has been successfully demonstrated that the Solar Tracking System works with maximum efficiency.

Key Words: Raspberry Pi 3, Solar Tracking System, Solar Energy, Python

ÖNSÖZ

Öncelikle tez konusunu seçerken bana yardımcı olan ve çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman YILDIRIM' a, ayrıca lisans ve lisansüstü öğrenim süresince bilgi ve tecrübelerini paylaşan diğer hocalarıma çok teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak beni hep destekleyen ve hep yanımda olan babam Ali AVCU'ya ve annem Ayşe AVCU'ya kardeşlerim Furkan AVCU, Ahmet AVCU, Erkam AVCU'ya ve tez çalışmama destek olan büyüklerim ve arkadaşlarıma yürekten teşekkür ederim.

İstanbul, 2018
Muhammed AVCU

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ.....	III
ONAY	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
ÖNSÖZ.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	3
TABLolar LİSTESİ.....	4
BİRİNCİ BÖLÜM	5
1 GİRİŞ.....	5
1.1 Problemin Tespiti.....	6
1.2 Çalışmanın Hedefi	6
1.3 Araştırmanın Yöntem Bilimi	7
Raspberry Pi 3 ile Güneş Takip Sisteminin yapılması amacı ;.....	7
1.4 Aşamaların Planı	7
İKİNCİ BÖLÜM	8
2 GÜNEŞ VE GÜNEŞ ENERJİSİ ÜRETİM SİSTEMLERİ.....	8
2.1 Güneş Enerjisi	8
2.2 Işınım	8
2.3 Fotovoltaik Hücre	10
2.4 Güneş Pili.....	11
2.5 Güneş Enerjisi Sistemi Modül ve Panel Düzenegi	13
2.6 Fotovoltaik Sistem Tasarımları.....	13
2.7 Güneş Takip Sistemi:.....	14
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	16
3 RASPBERRY Pİ (RPİ)	16
3.1 RASPBERRY Pİ.....	16

3.2	ARM	18
3.2.1	ARM Firması	18
3.2.2	ARM Ailesi.....	19
3.3	RASPBERRY Pİ 3	21
3.4	DEBİAN TABANLI RASPBİAN KURULUMU	23
3.5	Servo Motor Nedir?	24
3.5.1	Servo Motor Çalışma Prensibi.....	24
3.5.2	Servo Motorun Yapısı.....	25
3.5.3	Servo Motor Çeşitleri	26
3.6	Arduino	27
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM		28
4	RASPBERRY Pİ İLE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ	28
4.1	Algoritma Yapısı.....	28
4.1.1	Sabit Değişken Değerli Algoritma.....	28
4.1.2	LDR'li Algoritma	33
4.2	Sistemin Bakımı.....	34
4.3	Raspberry Pi 3 Uzak Bağlantı.....	34
4.4	Prototip Maliyeti	35
SONUÇ DEĞERLENDİRME.....		36
KAYNAKLAR		37
EKLER		41
ÖZGEÇMİŞ		42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2-1. Işınımın şematik gösterimi (Kaynak:WHO, 1996).....	9
Şekil 2-2. Tek Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücre	11
Şekil 2-3. Çok Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücre	11
Şekil 2-4. Güneş Pili Kesiti	12
Şekil 2-5. Güneş Pili Elektriksel Eşdeğeri	12
Şekil 2-6. FV Sistemlerdeki Hücre, Modül ve Panel Yapısı.....	13
Şekil 3-1. Raspberry Pi 3 Görseli	22
Şekil 3-2. Servo Motorların Sinyal-Açısal Hareket Durumu	26



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3-1. Raspberry Pi Model Karşılaştırılması	17
Tablo 3-2. ARM Ailesi Tablosu	19
Tablo 4-1. Enlem-Güneş Açısı- Tarih Tablosu.....	29
Tablo 4-2. İstanbul ili Enlem-Güneş Açısı- Tarih Tablosu	30
Tablo 4-3. İstanbul ili Güneş Paneli Dikey Konum Açıları (Kuzey-Güney)...	30
Tablo 4-4. İstanbul İli Güneş Doğuş ve Batış Saatleri (Aynı 20. Gün).....	31
Tablo 4-5. İstanbul ili Güneş Paneli Yatay Konum Açıları (Doğu-Batı)	31
Tablo 4-6. RPIGTS Birinci Algoritma Çalışma Değerleri	32

BİRİNCİ BÖLÜM

1 GİRİŞ

Günümüzde en önemli ihtiyaçlardan birisi enerjidir. Gelişen teknoloji ile birlikte elektrikli araçlar, sanayi de makineleşme, robot teknoloji en çok elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Kısıtlı imkanların olduğu dünyamızda her zaman yeni enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Mevcut kullanılan enerji kaynakları fosil yakıtlar, hidroenerji santralleri, nükleer santrallerin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları gündeme gelmiş ve daha fazla tercih edilmeye başlanılmıştır.

Tükenmeye başlayan enerji kaynaklarının yerini dolduracak olan ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Süresiz ve kesintisiz doğal koşullar kullanılarak üretilen enerji her zaman daha iyi olmuştur. Gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir dünya bırakılması gerekmektedir. Bunun için üretimi yapılan enerji için en doğru seçim yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji denildiğinde aklımıza gelmesi gereken başlıklar şu şekildedir.

Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir. Mevcut şartlarda ise en çok kullanılan yenilenebilir enerji tipleri güneş enerjisi ve rüzgar enerjisidir.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemine güneş enerjisi panel sistemi ya da güneş paneli sistemi adı verilir. Güneşten dünyaya gelen fotonların güneş panelleri sayesinde toplanmasıyla fotonların taşıdığı enerjinin elektrik ve ısı enerjisine çevrilmesine dayanır. Fotonların güneş piline çarpmasıyla elektronlar panel yüzeyine çekilir. Bu durum, güneş panelinin üst ve alt katmanları arasında voltaj oluşmasını sağlar. Panelin üstü ve alt kısmı boyunca oluşan elektrik devresi, elektrik ekipmanlarına güç akışını sağlar.

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi iki ana başlıkta inceleyebiliriz. Bunlar; (a) Sabit güneş panelli üretim sistemi, (b) hareketli güneş panelli elektrik

sistemidir. Hareketli sistemi genel olarak güneş takip sistemi olarak adlandırılır. Güneş takip sistemi güneşten maksimum enerji elde etmek için tasarlanmıştır.

Gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayarlar, kontrol kartları, cep telefonları çok küçük formlara girmiştir. Yeni teknolojilerden birisi olan Raspberry Pi geliştirme kartları ise fazlaca talep edilmeye başlanmıştır. Hem kullanım kolaylığı, birden fazla işletim sistemi ile birlikte çalışması tercih nedenlerinden birisidir.

Raspberry Pi ile güneş takip sisteminin tasarladık. Maksimum düzeyde enerji elde edilmiştir. Elde edilen enerjinin küçük bir kısmı güneş takip sistemini beslemiş, geri kalanı ise kullanılmak üzere depolanmıştır. Sisteme uzak bağlantı yapılarak kolay erişim ve bakım kolaylığı sağlanmıştır. Sistem veri depolama ve işleme yaparak daha sonra gerçekleşecek adımda ise daha verimli ve daha sağlıklı çalışması planlanmıştır.

1.1 Problemin Tespiti

Güneş paneli ile enerji üretimi yaparken önemli konulardan birisi verimdir. Tasarlanacak güneş enerjisi sistemi ile verimin en yüksek seviyede gerçekleşmesi arzulanır. Bunun için Güneş Takip Sistemini kullanmaktayız. Güneş takip sisteminin maliyetini minimuma indirip, daha kullanılır hale getirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda arıza durumunda elektrik üretimin aksamaması için uzak bağlantılar ve sistemin devamlı çalışması için çözümler gerekmektedir. Bakım esnasında sistemin minimum sürede tekrar devreye alınması gerekmektedir.

1.2 Çalışmanın Hedefi

Raspberry Pi 3 ile Güneş Takip Sisteminin kontrolü, bakımı, uzaktan erişimi, veriminin en yüksek düzeyde tutulmuştur. Üretimin sorunsuz geçmesi, maliyetlerin düşürülmesi ve Raspberry Pi 3'ün sisteme adaptasyonunu adımları gerçekleştirilmiştir.

1.3 Araştırmanın Yöntem Bilimi

Raspberry Pi 3 ile Güneş Takip Sisteminin yapılması amacı ;

1. Güneş Takip sistemlerinin araştırılması,
2. Raspberry Pi 3 devre kartının araştırılması,
3. Güneş Takip Sisteminin Raspberry Pi 3 yardımıyla kurulması,
4. RPIGTS'nin veriminin ölçümü, geri bildirim alınması,
5. RPIGTS kurularak geri bildirim, uzaktan bağlantı yapılmış, bakım kolaylığı ve en yüksek verim elde edilmesi gerçekleştirilmiştir.

1.4 Aşamaların Planı

Tezin ilk bölümünde, tez ana konusunda yer alan problemin tespiti, hedefi, yöntem bilimine yer verilmiştir. Tezin ikinci bölümünde, Güneş Paneli ile enerji üretim sistemi, Güneş Takip Sistemine yer verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde, Raspberry Pi devre kartına ve kullanımına yer verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde Raspberry Pi 3 ile Güneş Takip Sisteminin kurulumu alıştırılmasına yer verilmiştir. Tezin son bölümünde ise, Raspberry Pi 3 ile Güneş Takip Sisteminin (RPIGTS) verimi ve sistemin analizine yer verilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

2 GÜNEŞ VE GÜNEŞ ENERJİSİ ÜRETİM SİSTEMLERİ

2.1 Güneş Enerjisi

Güneş ışınları, elektriksel büyüklüklerine dönüşebilmektedir. Bu dönüşümü yapan düzenekler fotovoltaik sistem adını alır. Başka bir deyişle, güneş enerjisinin direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemler fotovoltaik sistemler adını almaktadır (Townsend, 1989; Muntasser vd., 2000). Günümüzde fotovoltaik sistemlerindeki en büyük problem, diğer enerji sistemleri ile rekabet edebilecek verimliliğe ulaşamamış olmasıdır (Durisch vd., 2000). Başka bir ifade ile, fotovoltaik sistemlerdeki performans problemi (Kou, 1996; Durisch vd., 2000; Gxasheka vd., 2005).

Sistem performansına etki eden ışınım şiddeti geliş açısı değişir. Işınım şiddetinden maksimum şekilde yararlanabilmek için sistemin mekanik tasarımına gerek duyulmaktadır (Fıratoğlu, 2003; Aydın ve Yeşilata, 2004; Yakup vd., 2001; Tang ve Wu, 2004; Hussein ve ark., 2004). Farklı bölgelerin meteorolojik verileri ile, en fazla ışınımın geldiği saatlik, aylık ve yıllık eğim açısının tespit edilmektedir (Sariah vd., 2002; Asl-Soleimani vd., 2001; Abdallah, 2004; Abdallah ve Nijmeh, 2004; Karimov vd., 2005).

2.2 Işınım

Bu bölümde, ışınımın iklimsel şartlar ile değişimi ve PV panellerden elde edilen DC güç değişimi incelenmiştir. Atmosferik şartlarda dikkate alınan önemli parametreler, nem, sıcaklık ve rüzgar değeridir.

Nem:

Atmosfer içindeki su buharına nem denir. Nem ölçümü hipometre ile yapılır. Atmosferdeki nem ile ilgili olarak üç ayrı tanım yapılmaktadır. Bunlar;

- Nem Mutlak nem,
- Maksimum nem
- Bağlı nem.

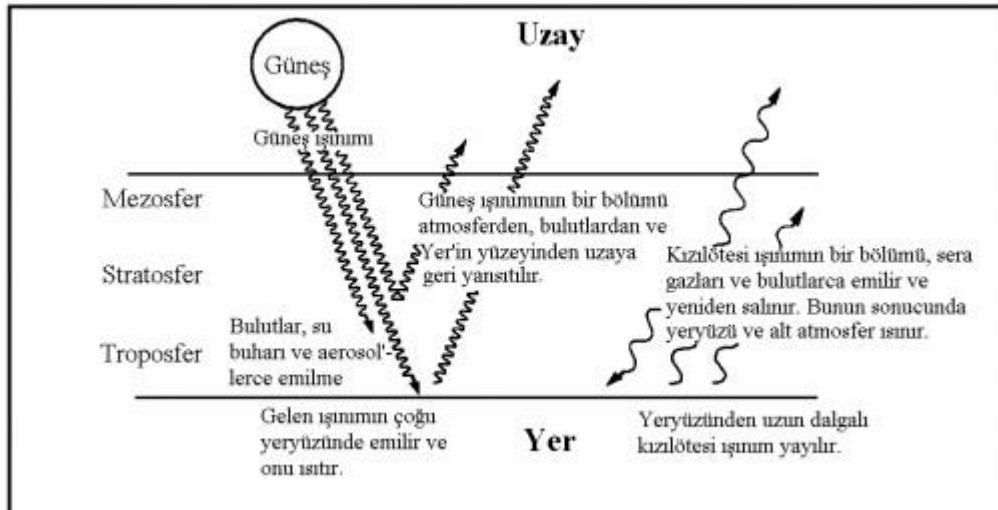
Hava içindeki 1 m³ hacim başına düşen su buharının gr olarak ağırlığına mutlak nem denir. Diğer yandan, 1 m³ havanın belirli sıcaklıkta taşıyabileceği en fazla nem miktarına maksimum nem denir. Maksimum nem sıcaklığa bağlı olarak değişir. Sıcaklıkla maksimum nem doğru orantılı olarak değişir. Mutlak nemin, maksimum neme oranına ise bağıl nem denir.

Sıcaklık:

Güneş enerjisi için önemli parametrelerden bir tanesi sıcaklıktır. Ölçümün yapıldığı andaki hava sıcaklığı sıcaklık değişkeni olarak alınır.

Işınım:

Işınım denince ilk akla gelen güneşin yayınladığı ışık ışıınımlarıdır. İlk olarak Maxwell tarafından enerji yayılımı için ileri sürülen elektromagnetik ışınım daha sonra nerede ise tüm titreşimler halinde gerçekleşen enerjiler için kullanıldı. Güneşten, dünyaya ulaşan ve kimine göre elektromagnetik dalgalar halinde kimine göre büyük enerji hüzmeleri (fotonlar) halindeki güneş enerjisi, bir kısmı dünya yüzeyi tarafından soğrulan, bir kısmı dünyaya çarparak yansıyan enerji parçalarına dönüşmektedir. Şekil 2.1'de ışınım ile ilişkin şematik gösterim verilmektedir.



Şekil 2-1. Işınımın şematik gösterimi (Kaynak:WHO, 1996)

2.3 Fotovoltaik Hücre

Fotovoltaik hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren birimlerdir. İlk olarak 1839 yılında Edmond Becquerel tarafından fotovoltaik yapı ile fikir ortaya atıldı (Angrist, 1976; Sayigh, 1991). Daha sonra, 1876 yılında W.G. Adams ve R.E. Day, ilk defa bir katı yarı iletken malzemenin fotovoltaik özelliğini ortaya koymuştur (Nelson, 2003; Adams ve Day 1977). 1894 yılında ise, Charles Fritts, ilk olarak fotovoltaik paneli tasarlamıştır (Nelson, 2003).

Mott ve Schottky yarı iletken diyodu keşfetti ve bunu takiben 1949 yılında Bardeen, Brattain ve Shockley bipolar transistörü keşfettiler [4]. 1954 yılında Chapin, Fuller ve Pearson, %6 verimle çalışan silikon bazlı fotovoltaik hücreyi üretti. Nihayet, bundan sonra güneş panelleri ilk defa Vanguard-I orbittin uydusunda kullanıldı (Messenger ve Ventre, 2004; Marti, ve Luque, 2004). 1960'lı yıllarda galyum arsenit hücreler üretilmiştir. Geliştirilen paneller, 1965 yılında Venüs'e inen Rus uzay araçları 'Venera-2' ve 'Venera-3' de kullanılmış, 1970 ve 1972 yıllarında Ay'a inen 'Lunohod-I' ve 'Lunohod-II' uzay araçlarında kullanılmışlardır (Marti, ve Luque, 2004; Bilgin, 2006).

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan en yaygın fotovoltaik hücreler (PV Hücreler) tek kristalli hücre ve çok kristalli silisyumlu fotovoltaik hücredir. Şekil 2.2'de tek kristalli silisyumlu hücre yapısı görülmektedir. Şekil 2.3'te ise çok kristalli silisyumlu fotovoltaik hücre gösterilmektedir.

Bu farklı hücrelerin yapım süreçlerinde de bir miktar farklılıklar vardır. Örneğin, "Czochralski" adı verilen bir yöntem ile üretim yapıldığında modül maliyetleri artacak ama buna karşın modül verimleri yüksek olacaktır. Diğer yandan, çok kristalli silisyumlu hücre üretilmesi "dökme" adı verilen bir yöntem kullanılmaktadır. Aslına bakılırsa, çok kristalli silisyumlu yapının başlangıç malzemesi de tek kristalli silisyumda olduğundan aynı işlem süreçlerini kapsamaktadır.



Şekil 2-2. Tek Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücre

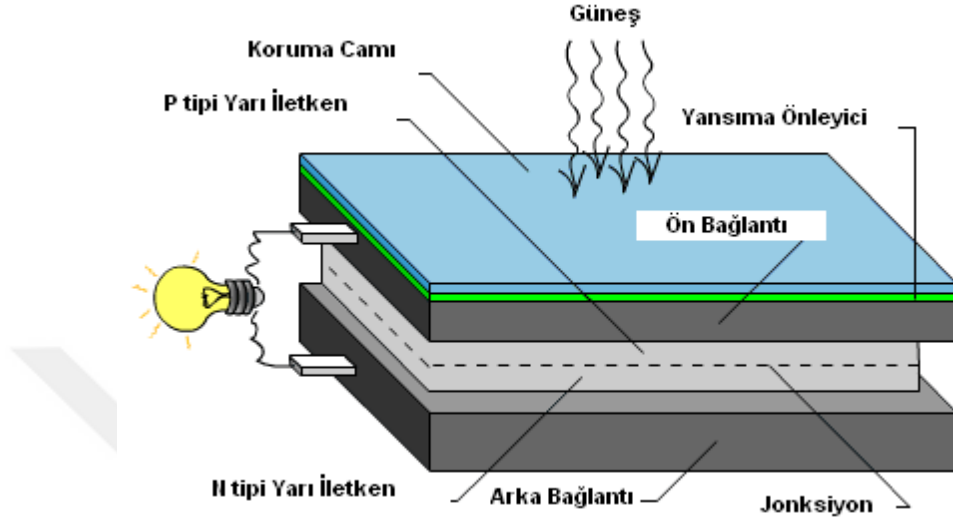


Şekil 2-3. Çok Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücre

2.4 Güneş Pili

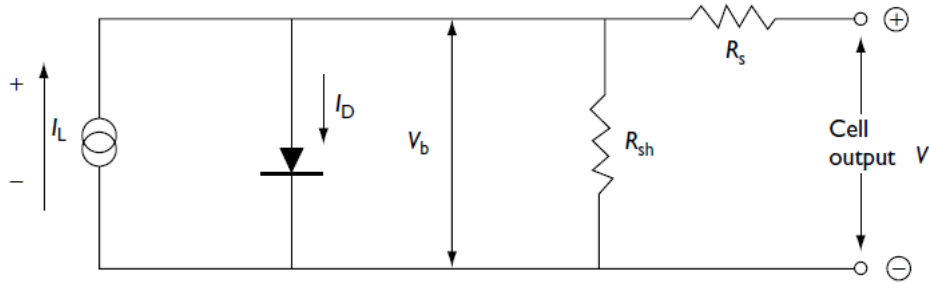
Güneş enerjisini kullanmak amacıyla tasarlanan güneş pillerinin aslında yapısında negatif katkılanmış yarı iletken (N-Tipi yarı iletken) ve pozitif katkılanmış yarı iletken (P-Tipi yarı iletken) yapılar kullanılmıştır. Her iki tip yarı iletken yapılar ile Şekil 2.4'te gösterildiği gibi bir devre oluşturulduğunda güneşten gelen ışınımın yardımıyla elektrik akımı elde edilmektedir. Güneş pili kesit yapısı Şekil 2.4'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Güneş pili kesit görünüşten anlaşıldığı gibi, güneş ışığının en iyi şekilde soğurulması için yansımayı önleyici madde kullanılırken panelin ışınım alan tarafı koruma camı ile kapatılarak yapının zarar görmesi engellenmiştir.



(Kaynak: http://solartechenergysystems.com/About_PV.htm)

Şekil 2-4. Güneş Pili Kesiti



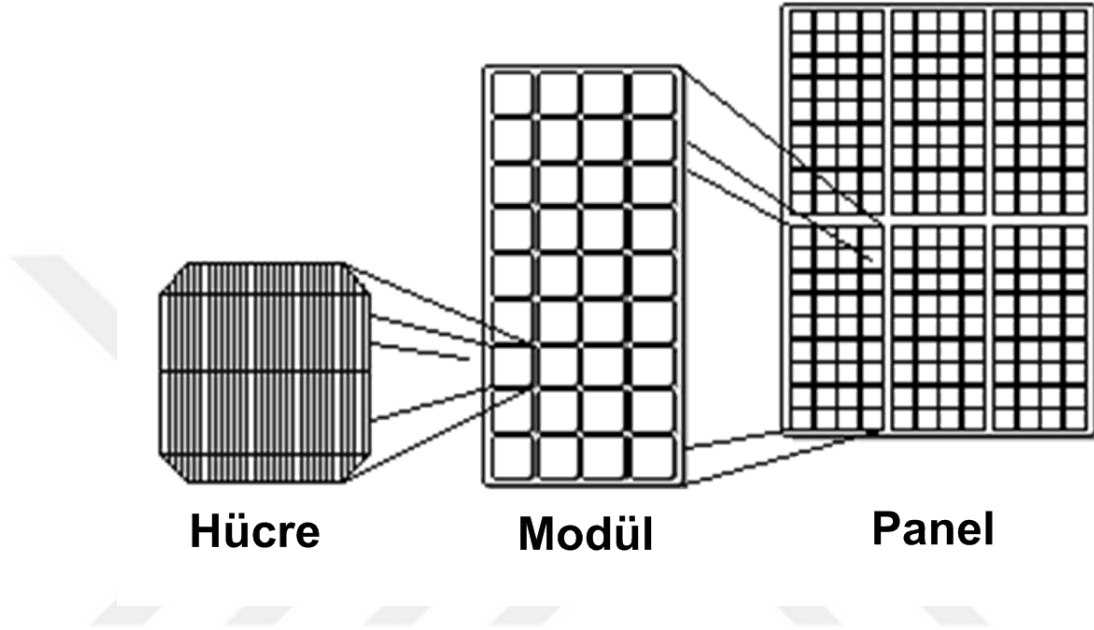
(Kaynak: Twidell J. and Weir T., 2006. Renewable Energy Resources – Second Edition, Taylor & Francis Group, London and New York, p220-226)

Şekil 2-5. Güneş Pili Elektriksel Eşdeğeri

Güneş pili elektriksel eşdeğer devresi Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Eşdeğer devrede, bir akım kaynağı, bu akım kaynağına paralel bağlı bir diyot ve direnç ve tüm bunlara seri bağlı bir direnç ile modellenmiştir (Twidell ve Weir, 2006).

2.5 Güneş Enerjisi Sistemi Modül ve Panel Düzenegi

Güneş hücrelerinin bir araya getirilmesi ile modüller elde edilmektedir. Güneş enerjisi modüllerinin birleştirilmesi ile güneş enerjisi elde etmek amacıyla kullanılan paneller elde edilmektedir. Şekil 2.6'da hücre, modül ve panel sistemi gösterilmiştir.



(Kaynak: Erdiñ, O. (2012))

Şekil 2-6. FV Sistemlerdeki Hücre, Modül ve Panel Yapısı

Şebekeden bağımsız uygulamalar için hibrit bir rüzgâr türbini/fotovoltaik/yakıt hücresi/batarya sisteminin Optimizasyonu, tasarımı ve uygulaması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi)

2.6 Fotovoltaik Sistem Tasarımları

Fotovoltaik sistemler güneş enerjisinden elektrik üretmek amacıyla tasarlanırlar. Tasarım amacına göre sistem bileşenleri bir miktar değişmektedir. Örneğin sadece DC üretmek amacıyla tasarlanan fotovoltaik sistemde invertör ihtiyacı olmayabilir. Ancak genel olarak fotovoltaik sistemler kategorik olarak şebekeye bağlı çalışan ve şebekeden bağımsız çalışan sistemler olarak ikiye ayrılmaktadırlar.

Fotovoltaik sistemler, DC veya AC güç üretmek için şebekeye bağlı olmadan elektrik üretebilirler. Bu tasarımda depolama bileşenleri kullanılırken şebekeye bağlantı sağlayan elemanlara gerek kalmaz.

Şebekeye bağlı sistemde, eğer doğrudan bağlılık söz konusu ise depolama elemanına gerek duyulmaz. Bu tip tasarım, şebekeye bağlılık açısından en basit tasarım demektir. Eğer fotovoltaik sistem hem şebekeye bağlı çalıştırılacak ve hem de evsel ihtiyaçları karşılayacak ise şebekeye bağlantı elemanları ile depolama elemanlarının fotovoltaik sistem içerisinde kullanılması gerekir.

Fotovoltaik enerji sistemi ile üretilen elektriksel DC güç hemen tüketilmeyebilir. Bu durumda akü gruplarında depo edilmesi gerekir. Bu nedenle, depo elemanlarının aşırı şarjdan korunması yani şarj kontrolünün yapılması amacıyla ilave elemanlar tasarıma ilave edilir.

2.7 Güneş Takip Sistemi:

Güneş ışınları çeşitli açılarla gelen ışınlar olduğundan vardıkları yüzeye direkt ve dağınık şekilde çarpabilmektedir. Güneş takip sistemlerinin amacı, bu dağınık şekilde ve çeşitli açılardan gelen güneş ışınlarının yüzeye sürekli dik gelmesini sağlamaktır. Güneş ışınlarının yüzeye dik gelmesi sağlandığı takdirde elde edilen enerji miktarı artacaktır.

Fotovoltaik hücreler hava şartları değiştiği anda verimleri değişmektedir. Fotovoltaik sistemin akımı, gerilimi, gücü ve verimi, güneş ışığının şiddetine ve sıcaklık gibi yerel iklim şartlarına bağlıdır (Carstensen vd., 2003; Li vd., 2005).

Fotovoltaik sistemin meteorolojik parametrelere bağlılığının yanısıra düzeneklerdeki kullanılan yükler, rezistans tipi yükler ile elektronik yükler de etkilidir. Elektronik yükler, sistem parametrelerinin hızlı, kolay, doğru ve istenilen hassasiyette tespit edilmesini sağlamaktadır. Bu mevsimsel parametrelerin izlenebilmesi yine bu elektronik elemanlar ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca, yaz aylarında görülen yüksek çevre sıcaklığı dolayısıyla da panel yüzey sıcaklığının fotovoltaik sistem üzerindeki etkisi dikkate alınmaktadır (Morgan vd., 1994; Hirata vd., 1998; Merten ve Andreu,

1998; Itoh vd., 2001; Nishioka vd., 2003; Nishitani vd., 1998; Hirata ve Tani, 1995).

Halen üzerinde çalışılan ve gerçek sistemlerde kullanılan güneş takip sistemleri kategorilerine bakıldığında aşağıdaki gibi güneş takip sistemlerinin olduğu görülmektedir (Bilgin, 2006);

- Takip eksenine göre; (a) Tek eksen kontrollü ve (b) Çift eksen kontrollü
- Kontrol mekanizmasına göre; (a) Yerçekimini kullanan çözümler, (b) Açık döngü (open loop) sistemler, (c) Kapalı döngü (closed loop) sistemler.

Dünya nüfusunun 2050 yılında 9 milyarı aşacağı (Census Bureau, 2004) ve nüfustaki artış nedeniyle enerji tüketimi ulaşım, yerleşim, sanayi olmak üzere önemli alanlarda giderek artacağı varsayılmaktadır (Energy Information Administration, 2005). Güneş ışığı atmosfere girerken bir kısmı uzaya geri yansır, bir kısmı da hava, su buharı ve toz parçacıklarına çarparak saçılır ve bir kısmı ise hava molekülleri tarafından soğrulur (Goswami, Frank ve Kreider, 2000).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3 RASPBERRY Pİ (RPİ)

3.1 RASPBERRY Pİ

İngiltere de geliştirilen ve İngiltere de üretilen kimlik kartı büyüklüğünde bir bilgisayar ile yapabileceğimiz işlemlerin neredeyse tamamını yapabildiğimiz mini bilgisayardır. Çıkış amaçlarından birisi erken yaşlarda yazılım ve kodlama bilgisinin aşılması olsa da şu an kullanım alanı genişlemiş ve projelerde fazlaca yer etmeye başlamıştır. Ayrıca harici ekranınıza bağlayıp görüntü alabilir, klavye ve fare bağlayabilirsiniz. Minik bir bilgisayar olan RPİ ile normal bilgisayarlarda yaptığımız işleri de (word, excell, müzik dinlemek, sosyal medya ağlarımızda gezinmek) yapabilir, aynı zamanda kurduğunuz oyunları da oynayabilirsiniz. (Kaynak: <https://maker.robotistan.com/raspberry-pi-dersleri-0-raspberry-piyi-taniyalim/>)

RPİ'yi tam donanımlı bir bilgisayar olarak kullanmak için HDMI bağlantılı bir ekran veya televizyon ve ayrıca bir fare-klavye bağlamak gereklidir. Burada kullanılması gereken fare-klavye seti tek USB portundan kontrol edilebilir olması halinde az sayıda bulunan portlardan tasarruf edilmiş olacaktır. Tüm RPİ modelleri, mikro USB formunda bir güç beslemesine sahiptir. Orijinal RPİ adaptörü kullanmamız halinde RPİ'de ve projelerde bir sorun ile karşılaşmayacağız. Aynı zamanda 2A iletimi sağlayan şarj cihazını da kullanabiliriz.

RPİ, GNU/Linux işletim sistemleriyle çalışması için tasarlanmıştır. Kullanım için, en az 4 GB boyutlu bir SD karta ihtiyacınız olacak. Raspberry Pi için özel olarak hazırlanmış bir Debian versiyonu olan Raspbian, en gözde

ve tercih edilen işletim sistemidir. Aynı zamanda RPi için farklı işletim sistemleri de yer almaktadır.

Tablo 3-1. Raspberry Pi Model Karşılaştırılması

***	Raspberry Pi 2	Raspberry Pi 3	Raspberry Pi Zero/W
Mimari	ARMv7 (900 MHz 4 çekirdekli Broadcom BCM2836 ARMv7 işlemci)	ARMv8 (1.2 GHz 4 çekirdekli 64-bit ARM Cortex-A53 işlemci)	ARMv11 (Broadcom BCM2835 SoC, 1 GHz ARM11 işlemci)
Ram	1 GB	1 GB	512 MB
Ev Sinema Sistemleri	LibreELEC	OpenELEC (Stabil) OSMC LibreELEC	LibreELEC OSMC
İşletim Sistemleri	Raspbian (Stabil) Ubuntu Mate (Stabil) Lubuntu Xubuntu Fedora Pidora Arch Linux RaspBSD Debian Pardus ARM Chromium	Raspbian (Stabil) Ubuntu Mate(Stabil) Fedora Pidora Arch Linux RaspBSD Debian Chromium RT Android Kano OS	Raspbian Jessie (Stabil) Risc OS Puppy Linux
Internet Of Things	Windows IoT	Windows IoT Android Things	
Digital Signate		Digital Signate RDS	
Security	Motion Eye OS Upribox Kali Linux	Motion Eye OS Parrot Security Kali Linux Kerberos.io Upribox	
Server/Networking/Cloud	Ubuntu Server Ubuntu Classic Server Ubuntu Core 16 OpenMediaVault	OpenMediaVault Ubuntu Server (Stabil) CentOS Userland 7 (Stabil)	OpenMediaVault

	t CentOS Userland 7 SUSE	SUSE Pardus Cloud	
Gaming	RetroPie Recalbox Lakka	RetroPie Recalbox (Kodi Based) Lakka	RetroPie Lakka Recalbox
Boot Manager	Noobs BerryBoot	Noobs (Stabil) BerryBoot (Stabil) MultiBootPi (Don't Bootloader)	Noobs Berryboot

(Kaynak: <http://serifgungor.com/blogs/94-raspberry-pi-icin-isletim-sistemleri>)

Genel hatlarıyla değindiğimiz Raspberry Pi kartlarından RPi 3 Model B ile projemize devam edeceğiz. Kartın özelliklerini ve kartı daha yakından tanıyalım.

3.2 ARM

Bugün dünyada üretimi yapılan mikroişlemcilerin %2 gibi minik bir kısmı şahsi bilgisayarlarda kullanılmaktadır. Geri kalan %98'lik bölüm günlük yaşamımızda elektronik cihazların içerisinde yer almaktadır. Bu günlerde elektronik yaşam alanındaki gelişmelere alışık olan biri ARM ismini mutlaka duymuştur. ARM mimarisi cep telefonları başta olmak üzere tüm elektronik cihazlarda yer almaktadır.

3.2.1 ARM Firması

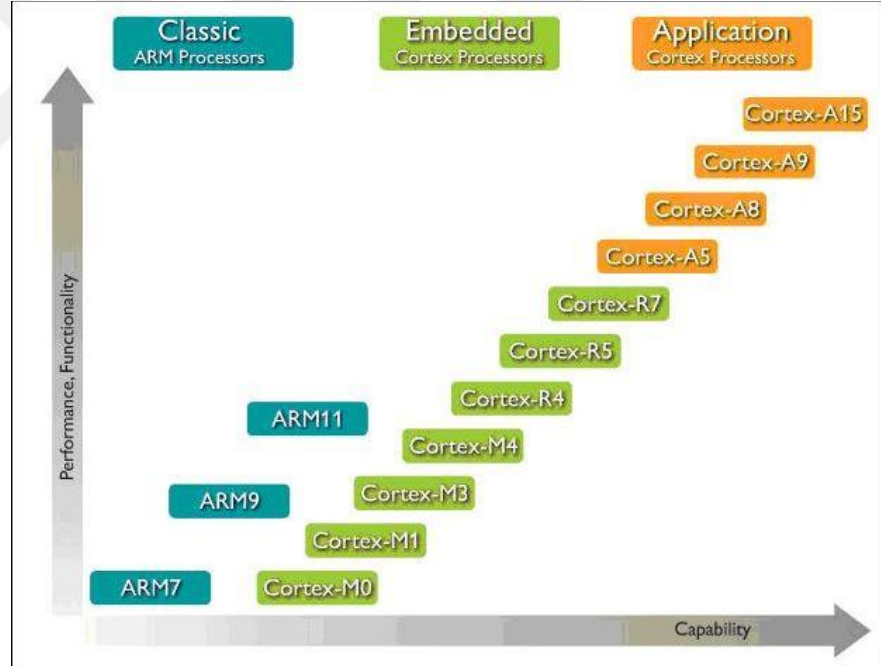
Piyasadaki birçok ürün için ARM işlemcili olarak belirtilse de aslında doğru tanımı "ARM tabanlı işlemci" dir. Aslında kendi başına ARM işlemci diye bir işlemci bulunmuyor. ARM firması çeşitli mimarilerin tasarımını yapıyor ve bu tasarımları işlemci üreten firmalara lisanslıyor. ARM firması bu işlemcilerde fiziki bir üretim yapmıyor (Kaynak: <http://arm.com/products/processors/index.php>)

3.2.2 ARM Ailesi

ARM mimarisinde 3 ana grup bulunmaktadır:

- Klasik ARM işlemciler: ARM7, ARM9, ARM11
- Gömülü sistemlere yönelik ARM işlemciler: Cortex-M0, Cortex-M1, Cortex-M3, Cortex-M4
- Uygulama seviyesindeki ARM işlemciler: Cortex-A5, Cortex-A8, Cortex-A9, Cortex-A15

Tablo 3-2. ARM Ailesi Tablosu



3.2.2.1 Klasik ARM işlemciler:

Bu gruptaki Cortex serisi öncesi grubu oluşturuyor. ARM7 serisi daha çok Motor kontrolü, sinyal işleme gibi mikrodenetleyici uygulamalarında kullanılan mikrodenetleyicilerin çekirdeğini oluştururken, ARM9 ve ARM11 serileri uygulama seviyesinde ve daha çok mobil cihazlarda kullanılıyor. Klasik

ARM çekirdekleri görece daha eski ARM ürünlerinden ve kullanımları giderek azalıyor. Bunların yerine Cortex M, R ve A serisi ARM çekirdeklerinin kullanımı tavsiye ediliyor. (Kaynak: <http://coskuntasdemir.net/platformlar/arm>)

3.2.2.2 ARM Cortex Embedded İşlemciler:

Cortex M ve R serileri

Bu seri, deterministik bir şekilde çalışması gereken gerçek zamanlı ve düşük güç tüketimi gerektiren uygulamalarda kullanılıyor. NXP Semiconductors, STMicroelectronics, Texas Instruments, ve Toshiba gibi işlemci üreticileri bu çekirdeğe sahip mikrodenetleyici ürünleri sunuyorlar.

3.2.2.3 ARM Cortex Uygulama İşlemcileri:

Cortex –A Serisi uygulama işlemcileri

Son dönemde hayatımızda oldukça büyük yer tutan akıllı telefonlar, tablet bilgisayarlar gibi son kullanıcı ürünlerinin birçoğunda bu serideki çekirdeklere sahip işlemciler bulunuyor. Örnek vermek gerekirse iPhone, iPad, Samsung Galaxy Tablet, RIM Playbook gibi ürünlerde Cortex-A serisi ARM tabanlı mikroişlemciler bulunuyor. Bu seri daha çok yüksek performans gerektiren son kullanıcı uygulamalarının üzerinde çalışacağı platformlarda kullanılıyor

Mikroişlemciler genelde sadece işlem ünitesi ve temel birimlerden oluşurlar, harici olarak hafıza ve diğer giriş/çıkış birimine ihtiyaç duyarlar. Mikroişlemcileri daha fazla “uygulama” yazılımlarının çalıştığı sistemlerde görmekteyiz. Mikrodenetleyiciler ise kendi içerisinde giriş-çıkış birimleri, çeşitli donanım birimleri (SPI, I2C, PWM), RAM ve kalıcı bellek (genellikle NOR veya NAND flash) bulunan “komple” sistemlerdir. Mikrodenetleyiciler daha çok elektronik tasarım alanına kadar birçok ürünün içinde ARM tabanlı işlemciler bulunmaktadır. (Kaynak: <http://coskuntasdemir.net/platformlar/arm>)

Eğer elektronik tasarım alanında çalışacaksanız, işin donanım seviyesine yakınsanız, daha önceden 8/16 bit mikrodenetleyiciler çalıştıysanız ARM tabanlı mikrodenetleyici familyasına yönelebilirsiniz.

Eğer uygulama yazılımlarıyla ilgilenecekseniz aslında işlemcinin ARM olması ile ilgilenmenize gerek yoktur. Direkt olarak donanım seviyesinde yazılımlar geliştirmeyecekseniz üzerinde yazılım geliştirmek için ilgilendiğiniz platformun size sunduğu araçlar ve kütüphaneleri kullanabilirsiniz. Örnek verecek olursak akıllı telefon yazılımları geliştirmek için Android, iOS ve Windows Mobile gibi platformları kullanabilmektesiniz. Eğer daha özel uygulamalar geliştirmeyi düşünüyorsanız BeagleBoard, Raspberry Pi, Pandaboard, Mini2440, Beaglebone gibi geliştirme kartlarını kullanabilmektesiniz (Kaynak: <http://coskuntasdemir.net/platformlar/arm>)

3.3 RASPBERRY Pİ 3

RPi 3, Raspberry Pi ailesinin ilk 4 çekirdekli 64 bit işlemcili bilgisayarı olma yeteneğine sahiptir. Raspberry Pi 3'te 1GB RAM ve 400 MHz VideoCore IV grafik işlemci yer almaktadır. RPi 3'ün 64-bit 1.2 GHz ARM Cortex A53 çipi, Raspberry Pi 3'ün performansını ikiye katlamasını sağlamaktadır. En önemli yenilik ise Bluetooth 4.0 ve 802.11n Wi-Fi eklenerek bir bilgisayar ünvanını tamamlamış bulunmaktadır



Şekil 3-1. Raspberry Pi 3 Görşeli

- Broadcom BCM2837 64bit ARMv8 dört çekirdek işlemci
- 1.2GHz
- 1GB RAM
- Dahili WiFi – BCM43143
- Bluetooth 4.1 (Bluetooth Low Energy – BLE)
- 40 Adet GPIO
- 4 Adet USB 2
- 4 uçlu Stereo çıkışı ve karmaşık video çıkışı
- Full HDMI
- RPi Kamera bağlantısı için CSI kamera portu
- RPi 7" dokunmatik ekran için DSI ekran portu
- Micro SD soketi
- Güncellenmiş güç katı (2,5A' e kadar destekliyor.)
- Güç ve aksiyon LED'i

(Kaynak: <https://www.direnc.net/raspberry-pi-3>)

Kullanacağımız RPi 3'ün teknik özelliklerini inceledikten sonra işletim sisteminin seçimine geçebiliriz. Buradaki seçimimiz önemli. Bundan sonra uygulayacağımız adımlarda RPi'ye kalıcı olarak bir yol haritası çizmiş olacağız. Bir mikro SD karta yükleyeceğimiz işletim sisteminde geri kalan işlemlerimizi yapacağız. Bizim seçtiğimiz işletim sistemi RPi üreticisinin de tavsiye ettiği Debian tabanlı Raspbian olacaktır. Windows işletim sistemine sahip bir

bilgisayar yardımıyla aşağıda anlatıldığı şekilde kurulum yapacağız. (Kaynak: <https://www.direnc.net/raspberry-pi-3>)

3.4 DEBİAN TABANLI RASPBİAN KURULUMU

Raspberry Pi, GNU/Linux işletim sistemleriyle birlikte çalışması amaçlı sızayn edilmiştir. Kullanım için minimum 4 GB buyutlu bir mikro SD karta ihtiyacınız vardır. Raspberry Pi için özel olarak hazırlanan ve Debian sürümü olan Raspbian, tercih edilen en popüler işletim sistemidir. Farklı işletim sistemlerine RPi internet sitesinden inceleyebilirsiniz. Projemizde yer alan tüm uygulamaları Raspbian kullanarak yapacağız. Başlangıç seviyesinde olan birisi için de Raspbian en uygun işletim sistemidir. (Kaynak: <https://www.direnc.net/raspberry-pi-3>)

Raspbian kurulumu için RPi internet sitesinde <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/> kısmına gidiyoruz. . Raspbian işletim sisteminin PIXEL masaüstü ortamına sahip tam sürümü ve masaüstü ortamı barındırmayan Lite sürümleri mevcuttur. Projede PIXEL masaüstü ortamına sahip sürümü kullanacağımız için onu anlatacağız. İşletim sistemlerini doğrudan .zip dosyası olarak bilgisayarınıza indirmek için “Download ZIP” seçeneğini kullanabilirsiniz.

Raspbian’ı indirdikten sonra SD karta yazmamız için gerekli olan Win32 Disk Imager programını indiriyoruz (<http://sourceforge.net/projects/win32diskimager/files/Archive/adresinden> **Win32DiskImager-0.9.5-binary.zip**)

İndirmiş olduğumuz bu dosyaların ZIP dosyalarını açıyoruz. Mikro SD kartı bilgisayarımıza takıp ve Win32DiskImager.exe programını çift tıklayarak açıyoruz. Daha sonra ZIP’ten çıkartmış olduğumuz Raspbian görüntü dosyasını seçiyoruz. Seçtiğimiz dosyadan ve yazmak istediğimiz sürücü harfinin

doğruluğundan emin olduktan sonra “Write” a tıklayarak yazdırma işlemi başlatıyoruz.

İşlemin tamamlandığında program “Write Successful” şeklinde bize işletim sisteminin yüklendiğini söyleyen mesajı gönderecek. Bu kısımda mikro SD kartı bilgisayardan çıkarıp RPi’ye takabiliriz. SD kartı RPi’ye taktıktan sonra ilk başlatma için, RPi’ye klavye – fare setini USB portu yardımıyla bağlayıp HDMI bağlantı noktası ile de bir harici ekrana veya harici ekran özellikli televizyona bağlantı yapıyoruz. Mikro USB güç noktasından orijinal adaptörü bağladığımızda RPi açılacaktır. Raspbian’ın PIXEL sürümü doğrudan masaüstüne açılmaktadır (Kaynak: <https://www.direnc.net/raspberry-pi-3>) (Kaynak: <https://www.raspberrypi.org/>)

3.5 Servo Motor Nedir?

Servo, sistemlerdeki açısal-doğrusal pozisyon, hız ve ivme kontrolünü sıfır hatalı şekilde yapan tahrik sistemi olarak bilinir. Burada anlatılmak istenen servonun hareket kontrolü yapılan bir düzenek olduğunu anlıyoruz. Servo motorlar, robot teknolojisinde en fazla tercih edilen motor çeşididir. Aynı zamanda RC (Radio Control) uygulamalarında da kullanılmaktadır. RC Servo Motorlar çıktığında ilk olarak uzaktan kumandalı oyuncak ve model araçlarda kullanılmıştır. Servolar, istenilen pozisyonu alması ve yeni bir istek gelmeden aldığı pozisyonu değiştirmemek niyetiyle yapılmıştır (Kaynak: <https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir/>)

3.5.1 Servo Motor Çalışma Prensipleri

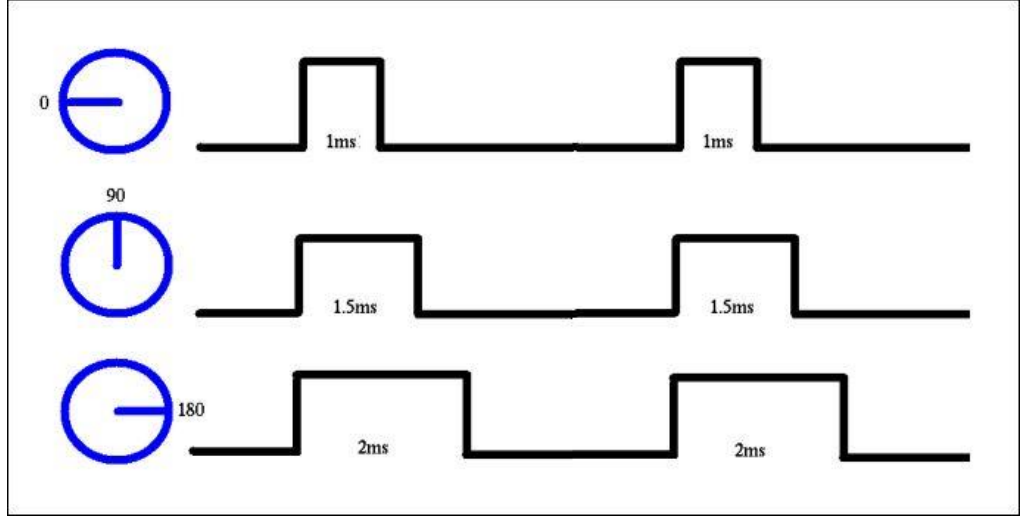
Servo motorların içinde motorun hareket etmesini sağlayan bir DC motor yer almaktadır. Bu motorun haricinde bir dişli yapı, potansiyometre ve bir motor sürücü devresi yer almaktadır. Potansiyometre, motorun dönüş miktarını ölçebilmektedir. Servo içindeki DC motor hareket eylemini gerçekleştirdikçe potansiyometre dönüşünü yapar ve kontrol devresi motorun yer aldığı durum ile istenilen pozisyon arasında karşılaştırma yaparak motorun ilerlemesini sağlar. Burdan anlamamız gereken şu olur ki servo motorlar diğer

motorlar gibi bir sürücüye ihtiyaç duymadan çalışmaktadır. Genelde çalışma açıları 180 derecedir ama 360 derecede çalışan özel üretilmiş servo motorlar da bulunur. Servolar 4.8-6V gerilim ile çalışmaktadır. Bunun yanı sıra 7.4V veya daha yüksek voltajlarda çalışan servo motorlarda bulunmaktadır

3.5.2 Servo Motorun Yapısı

Servo motorlar PWM (Sinyal Genişlik Modülasyonu) sinyal ile çalışmaktadır. Bu PWM sinyaller bir mikro kontrol devresi yardımıyla (Raspberry Pi 3) veya uzaktan kumandadan yapılmaktadır. Servo, her 20 ms içinde bir sinyal değeri okumaktadır. Sinyal uzunluğu motorun dönüşünü belirlemektedir.

Örneğin 1.5 ms'lik bir sinyal, motorun 90 derecede pozisyon almasına neden olacaktır. Servolar buldukları pozisyonda sabit kalırken dışarıdan bir güç geldiğinde bu güce karşı koyarlar. Buldukları konumda uzun süre bekleyemezler, bulunduğu durumu koruması için sinyalin tekrar edilmesi gerekmektedir. Hareket etmeleri için lazım olan sinyalin genişliklerinin minimum ve maksimum noktaları vardır ve bu sinyal değerleri değişkendir. Genelde minimum sinyal genişliği 1 ms iken maksimum sinyal genişliği ise 2 ms'dir (Kaynak: <https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir/>)



Şekil 3-2. Servo Motorların Sinyal-Açısal Hareket Durumu

3.5.3 Servo Motor Çeşitleri

AC-DC Servo: Servo motorlar genelde AC Servo ve DC Servo olarak iki grupta incelenirler. AC Servo Motorlar endüstriye alanlarda kullanılırlar. Bizim yukarıda anlattığımız projemizde kullandığımız RC Servolar, DC Motorlardır.

Dijital-Analog Servo: RC Servolar devre düzenine göre Analog Servo ve Dijital Servo olmak kaydıyla iki grupta incelenir. Dijital servolar, analog servolara göre çok yüksek frekanslarda çalışır. Bu sebepten ötürü dijital servolar komutlara daha hızlı ve kesin tepki verirler, daha iyi bir sabit durma torku yakalarlar. Hızlanmaları hareketleri ise daha yumuşak geçer. Analog servolara göre olumsuz yönleri ise daha fazla enerji tüketimi nedeniyle batarya ve güç besleme ünitesinin çabuk bitmesine neden olurlar.

Çekirdeksiz-Fırçasız Motor: RC Servolar, içlerindeki yapıda bulunan motora göre de farklılık gösterir. Çekirdek olmayan motor yapıları mıknatıs yer almayan kabloların etkisiyle manyetik alan oluştururlar. Bu nedenle hafif ve sinyale daha hızlı tepki verip, daha yumuşak konum alırlar. Bu motorlarda

avantaj ise yüksek verim ve daha çok güç üretmeleridir (Kaynak:
<https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir/>)

3.6 Arduino

Bir giriş çıkış kartı ve Processing/Wiring dilinin bir uygulamasını içeren geliştirme ortamından, İtalyan elektronik mühendisleri tarafından açık kaynak kodlu geliştirilen ve isteyen herkesin baskı devreleri indirerek kendi devrelerini basabilecekleri dilerlerse güzel bir görüntüye sahip hazır basılmış ve bileşenleri yerleştirilmiş halde alabilecekleri, esnek, kolay kullanımlı donanım ve yazılım tabanlı bir fiziksel programlama platformudur.

Arduino tek başına çalışan interaktif nesnelere geliştirmek için kullanılabilir gibi bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlara da bağlanabilir. Hazır üretilmiş kartlar satın alınabilir veya kendileri üretmek isteyenler için donanım tasarımı ile ilgili bilgiler mevcuttur. (Kaynak:
<https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir/>)

Buraya kadar bir RPi'nin elimize geçtikten sonra kullanılabilir hale getirilmesine baktık. İşletim sistemleri, modeller ve diğer özelliklerine değindik. RPi'nin sahip olduğu ARM mimarisinin nasıl bir yapı olduğunu inceledik. Projede kullanacağımız servo motor yapılarına baktık. Çalışma prensiplerini ele aldık. Bundan sonraki bölümde projemizi oluşturacağız.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4 RASPBERRY Pİ İLE GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ

(RPIGTS)

4.1 Algoritma Yapısı

Güneş takip sistemleri verimin en yüksek olması amaçlanan sistemlerdir. Sabit açılı panellerin aksine güneşi takip ederek ışınım açısını korumayı hedeflenmiştir. RPIGTS yapısında iki algoritma yer almaktadır. Bunlardan ilki sabit verilerin olduğu, zaman ve konum değerleri ile hareket eden sistemdir. Diğeri ise güneş panellerinin konum hareketini doğru ayarlamak amacıyla ldr sensör kullanılarak yapılan algoritmadır.

Algoritma bir projede en önemli adımlardan birisidir. Projenin başlangıç kısmı olduğundan dolayı doğru algoritma nihai sonucu verecektir. Bu tez çalışmasında yer alan algoritma yapılarını inceleyelim.

4.1.1 Sabit Değişken Değerli Algoritma

Sabit değişken olan algoritmalarda temel konu, baz alınan verilerin iyi seçilmesi gerekmektedir. RPIGTS çalışırken sabit değişken değerli algortima kullanacaksa aşağıda belirtilen hususlar önemle incelenmeli ve seçilen değerler panelin verimini en yüksek derecede tutulacak şekilde seçilmelidir.

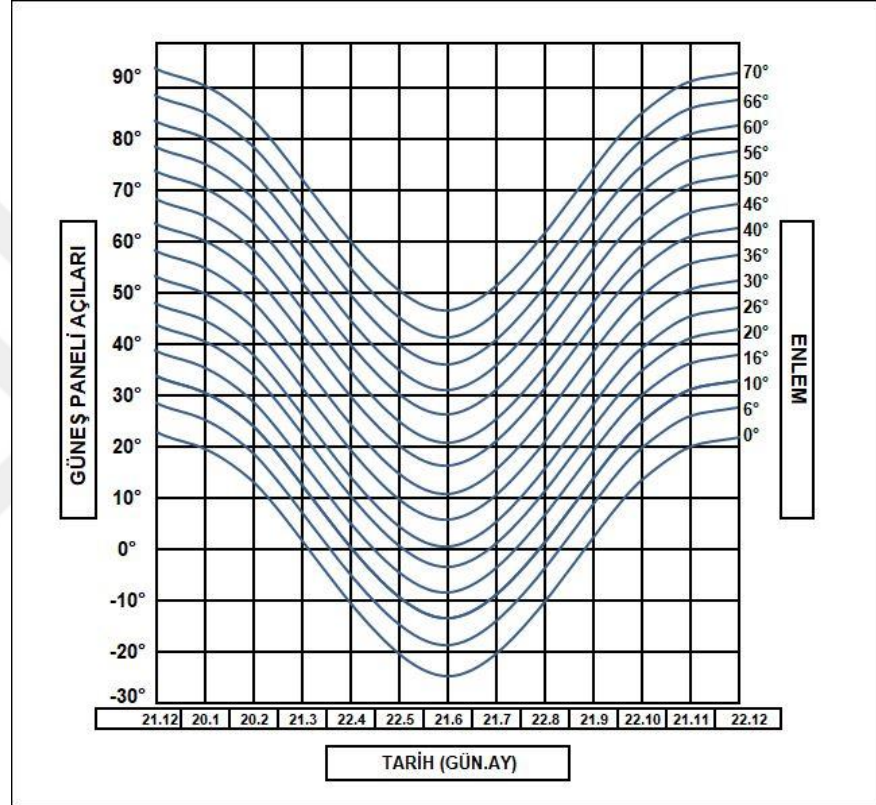
Panelin kurulacağı yerin;

- Enlem-Boylam bilgisi
- Yıl boyu güneşlenme süreleri
- Yıl boyu güneşlenme açıları
- Saat – Açı değerleri

Bu hususlara dikkat edilmesi halinde algoritma sorunsuz işleyecek ve sistem yıl boyu yüksek verim ile çalışacaktır. Günlük, aylık ve yıllık olarak verilerin incelenmesi sistemi daha başarılı hale getirecektir.

Bu tez çalışmasında birinci olarak ele aldığımız algoritma İstanbul ili için değerlendirilmiştir. Güneş her enlemde farklı açılar ile ışınma yaptığından dolayı aşağıdaki grafiği incelemekte fayda olacaktır.

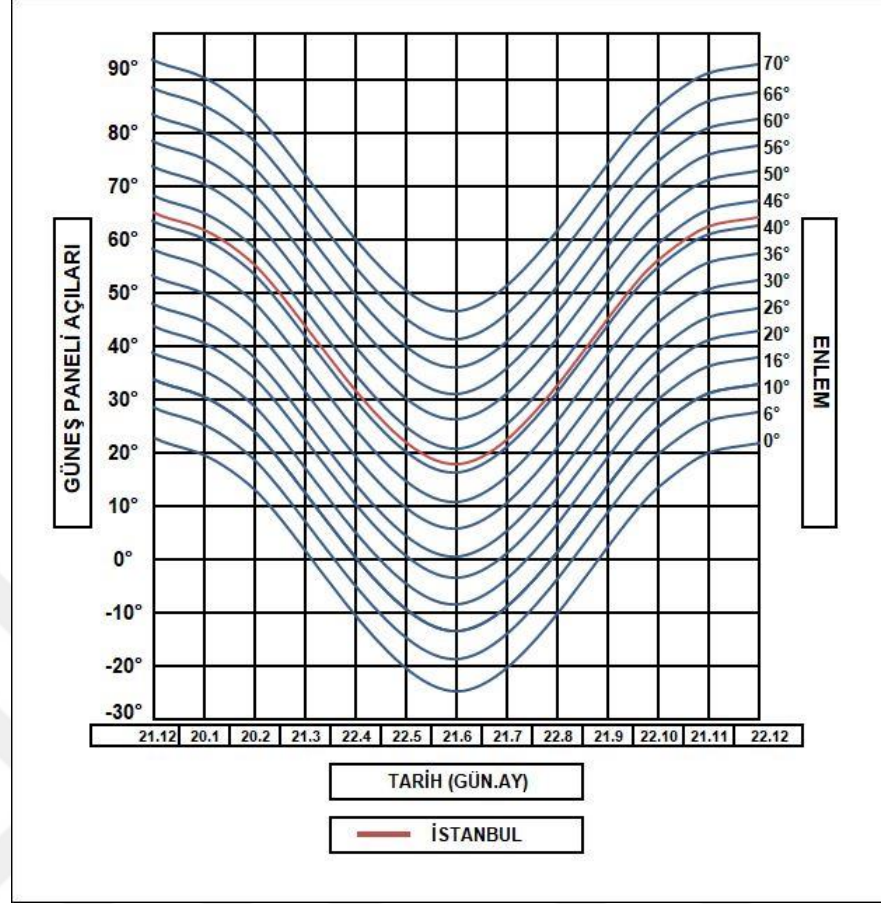
Tablo 4-1. Enlem-Güneş Açısı- Tarih Tablosu



(Kaynak: http://www.emo.org.tr/ekler/c7f5e8dcdf51a49_ek.pdf)

Tablo yakından incelendiğinde. Hangi ayda, hangi enlemlere güneşin hangi açıda düştüğü görülmektedir. Burada temel bakılacak olan paneli koyacağımız yerin enlemi kaç olacaktır. Bilindiği üzere İstanbul ili 41,00527 enlemi 28,97696 boylamında yer almaktadır. Sistemin birinci algoritması İstanbul ilinde kurulacağından dolayı enlem olarak aşağıdaki tabloyu incelememiz gerekmektedir.

Tablo 4-2. İstanbul ili Enlem-Güneş Açısı- Tarih Tablosu



Kırmızı olarak belirtilen yerler İstanbul ili için Güneş panelinin tarihe göre alacağı açılırları anlatmaktadır. Detaylı inceleme yapıldıktan sonra aşağıdaki tabloyu alıyoruz.

Tablo 4-3. İstanbul ili Güneş Paneli Dikey Konum Açılırları (Kuzey-Güney)

AYLAR	20.Oca	20.Şub	21.Mar	22.Nis	22.May	21.Haz	21.Tem	22.Ağu	21.Eyl	22.Eki	21.Kas	21.Ara
PANEL DİKEY AÇISI	62°	57°	45°	33°	24°	19°	24°	33°	45°	57°	62°	64°

PANELİN YIL İÇİNDEKİ DİKEY KONUM AÇILIRI

4 nolu tablodan anlaşılacağı üzere Güneş Panelinin İstanbul ilinde yıl içerisinde Kuzey-Güney yönünde aylara göre alacağı konum yer almaktadır. Daha sonra Güneş Panelinin gün içinde Doğu-Batı yönünde nasıl hareket

edeceğini tespit etmek gerekir. Bunun için ise güneşin doğuş ve batış saatlerine ihtiyacımız var. Aşağıdaki tabloda bunu incelersek;

Tablo 4-4. İstanbul İli Güneş Doğuş ve Batış Saatleri (Aydın 20. Günü)

AYIN 20. GÜNÜ	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	gün doğumu	gün batımı	ORTALAMA DK
	Ocak	Ocak	Şubat	Şubat	Mart	Mart	Nisan	Nisan	Mayıs	Mayıs	Haziran	Haziran	Temmuz	Temmuz	Ağustos	Ağustos	Eylül	Eylül	Ekim	Ekim	Kasım	Kasım	Aralık	Aralık	
	08:20	18:09	07:48	18:47	07:03	19:20	06:13	19:53	05:37	20:24	05:28	20:43	05:45	20:35	06:15	19:59	06:45	19:08	07:17	18:19	07:53	17:45	08:21	17:42	
	9 SAAT 49 DK	10 SAAT 59 DK	12 SAAT 17 DK	13 SAAT 40 DK	14 SAAT 47 DK	15 SAAT 15 DK	14 SAAT 50 DK	13 SAAT 44 DK	12 SAAT 23 DK	11 SAAT 2 DK	9 SAAT 52 DK	9 SAAT 21 DK													
DK	589	659	737	820	887	915	890	824	743	662	592	561	750												

YATAY EKSEN GÜNLÜK HAREKET SÜRESİ

(Kaynak: <http://www.koeri.boun.edu.tr/astronomy/dogus-batis/Istanbul.htm>)

Yukarıdaki tabloyu inceledik ve elimizde olan verilerden ortalama bir değer elde ettik. Bu değer bir güneş panelinin yatay ekseninde yapacağı hareketin günlük ortalama değerini vermektedir. Bu değer panelin bulunduğu enlem ve boylama göre değişkenlik göstermektedir. Bu değerlerden yola çıkarak aşağıdaki tabloyu oluşturuyoruz.

Tablo 4-5. İstanbul ili Güneş Paneli Yatay Konum Açılırları (Doğu-Batı)

DK	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720	750
SAAT	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
PANEL YATAY AÇISI	3,6°	10,8°	18°	25,2°	32,4°	39,6°	46,8°	54°	61,2°	68,4°	75,6°	82,8°	90°	97,2°	104,4°	111,6°	118,8°	126°	133,2°	140,4°	147,6°	154,8°	162°	169,2°	176,4°

YATAY EKSEN SAAT-AÇI TABLOSU

Tabloyu incelediğimizde Güneş panelinin yatay ekseninde bir gün içerisinde ortalama yarım saatlik periyotlarda hareket ederek toplam hareket süresi 12,5 saat olmaktadır. 3,6°'den başlayarak 176,4°'de turunu tamamlamaktadır.

RPIGTS'nin bu tablolardan faydalanılarak birinci algoritması oluşmaktadır. Aşağıda yer alan tablo incelendiğinde sabit değişken değerli algoritma yer almaktadır.

Tablo 4-6. RPIGTS Birinci Algoritma Çalışma Değerleri

AYLAR	20.Oca	20.Şub	21.Mar	22.Nis	22.May	21.Haz	21.Tem	22.Ağu	21.Eyl	22.Eki	21.Kas	21.Ara
PANEL DİKEY AÇISI	62°	57°	45°	33°	24°	19°	24°	33°	45°	57°	62°	64°
SAAT	06:50	3,6°	3,6°	3,6°	3,6°	3,6°	3,6°	3,6°	3,6°	3,6°	3,6°	3,6°
	07:20	10,8°	10,8°	10,8°	10,8°	10,8°	10,8°	10,8°	10,8°	10,8°	10,8°	10,8°
	07:50	18°	18°	18°	18°	18°	18°	18°	18°	18°	18°	18°
	08:20	25,2°	25,2°	25,2°	25,2°	25,2°	25,2°	25,2°	25,2°	25,2°	25,2°	25,2°
	08:50	32,4°	32,4°	32,4°	32,4°	32,4°	32,4°	32,4°	32,4°	32,4°	32,4°	32,4°
	09:20	39,6°	39,6°	39,6°	39,6°	39,6°	39,6°	39,6°	39,6°	39,6°	39,6°	39,6°
	09:50	46,8°	46,8°	46,8°	46,8°	46,8°	46,8°	46,8°	46,8°	46,8°	46,8°	46,8°
	10:20	54°	54°	54°	54°	54°	54°	54°	54°	54°	54°	54°
	10:50	61,2°	61,2°	61,2°	61,2°	61,2°	61,2°	61,2°	61,2°	61,2°	61,2°	61,2°
	11:20	68,4°	68,4°	68,4°	68,4°	68,4°	68,4°	68,4°	68,4°	68,4°	68,4°	68,4°
	11:50	75,6°	75,6°	75,6°	75,6°	75,6°	75,6°	75,6°	75,6°	75,6°	75,6°	75,6°
	12:20	82,8°	82,8°	82,8°	82,8°	82,8°	82,8°	82,8°	82,8°	82,8°	82,8°	82,8°
	12:50	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
	13:20	97,2°	97,2°	97,2°	97,2°	97,2°	97,2°	97,2°	97,2°	97,2°	97,2°	97,2°
	13:50	104,4°	104,4°	104,4°	104,4°	104,4°	104,4°	104,4°	104,4°	104,4°	104,4°	104,4°
	14:20	111,6°	111,6°	111,6°	111,6°	111,6°	111,6°	111,6°	111,6°	111,6°	111,6°	111,6°
	14:50	118,8°	118,8°	118,8°	118,8°	118,8°	118,8°	118,8°	118,8°	118,8°	118,8°	118,8°
	15:20	126°	126°	126°	126°	126°	126°	126°	126°	126°	126°	126°
	15:50	133,2°	133,2°	133,2°	133,2°	133,2°	133,2°	133,2°	133,2°	133,2°	133,2°	133,2°
	16:20	140,4°	140,4°	140,4°	140,4°	140,4°	140,4°	140,4°	140,4°	140,4°	140,4°	140,4°
16:50	147,6°	147,6°	147,6°	147,6°	147,6°	147,6°	147,6°	147,6°	147,6°	147,6°	147,6°	
17:20	154,8°	154,8°	154,8°	154,8°	154,8°	154,8°	154,8°	154,8°	154,8°	154,8°	154,8°	
17:50	162°	162°	162°	162°	162°	162°	162°	162°	162°	162°	162°	
18:20	169,2°	169,2°	169,2°	169,2°	169,2°	169,2°	169,2°	169,2°	169,2°	169,2°	169,2°	
18:50	176,4°	176,4°	176,4°	176,4°	176,4°	176,4°	176,4°	176,4°	176,4°	176,4°	176,4°	

Tablo 4.6 incelendiğinde RPIGTS aylara ve günlük saatlere göre yatayda ve dikeyde konumlanacağı açılar yer almaktadır. Burada tabloda yer alan değer sayısı 300 olarak belirlenmiştir. Yıl içinde 37 değer ile hareket etmektedir. Ancak bu değer sayısı artırılarak sistemin daha fazla değişken ile konum alması sağlanabilir. Burada temel basit bir hesap yaptık.

Bir panel gün içerisinde yaklaşık 12,5 saat çalışırsa ve saniyede bir yer değişimi yaptığını varsaydığımızda,

Yıllık;

$365 * 12,5 \text{ saat} * 60 \text{ dakika} * 60 \text{ saniye} = 16.425.000$ sayısını bulmaktayız. Bu sayı bize bir panelin yıl içerisinde saniyede bir konum değişmesi halinde alacağı değer miktarını vermektedir. Biz ilk algoritmamızda bu kadar değer ile çalışma yapamayacağımızdan dolayı alınan verilerden yola çıkarak doğruya en yakın konumları kullanmaktayız.

Bu algoritma sistemin devamlılığının sağlanması açısından yedek olarak belirlenmiştir. LDR bulunan algoritmanın etkilenmesi halinde sabit değişken değerli algoritma devreye girecektir.

4.1.2 LDR'li Algoritma

Raspberry Pi 3 ile güneş takip sisteminin ikinci algoritması ise ldr sensörleri kullanılarak yapılan algoritmadır. İlk algoritmaya göre daha sağlıklı çalışmaktadır. Temel çalışma prensibi güneş panelinin dört tarafına yerleştirilen ldr sensörler sayesinde alınan veriler işlenerek panelin güneş doğru dönmesini sağlamaktadır. Bu sayede güneş dik açıyla panele geleceğinden verim en yüksek seviyede olacaktır.

Bu algoritma işlerken Raspberry Pi 3 Arduino'dan yardım almaktadır. Bilindiği üzere Raspberry Pi yapısında analog giriş ve çıkışları algılayacak bir pin yapısı bulunmamaktadır. Ancak Arduino yapısı gereği analog sinyalleri algıladığından dolayı ldr sensörlerinden gelen veriyi okuyabilmektedir. Arduino tam bir bilgisayar özelliği taşımadığından dolayı sistemin çalışmasını, kontrolünü, uzak bağlantısını Raspberry Pi yapmaktadır.

Ldr sensörler panelin doğu, batı, kuzey ve güneyi olmak üzere yerleştirilir. Ldr sensör 5V besleme, toprak, analog çıkış ve dijital çıkış olmak üzere dört bacaklıdır. Dijital olan çıkış 0V ve 5V olmak üzere iki çıkış vermektedir. Analog çıkış ise 0-1024 arasında değerler üretmektedir. Bundan dolayı analog çıkışın kullanılması sistemin daha hassas çalışacağını gösterir.

Sensörlerin enerji beslemeleri Arduino'dan alınır. Devre için bir potansiyometre üzerinde gerilim oluşturularak sistem için referans nokta oluşturulur. Ldr sensörlerin analog çıkışları doğu, batı, kuzey ve güney sırasıyla Arduinonun A0, A1, A2, A3 analog girişlerine bağlanır. Aynı zamanda potansiyometrenin ise orta bacağı yine Arduino'nun A5 analog girişine bağlanır. Bu sayede potansiyometre bizim için bir referans voltaj oluşturacaktır.

Sistemimizin temelinde bulunan servo motorlar ise beslemeleri Raspberry Pi üzerinden alınarak yine sinyal uçları Arduino üzerine bağlanmaktadır. Bu sayede sistemi Arduino çalıştırıp Raspberry Pi ile kontrol edilir. Sistem çalışması esnasında güneş paneline bağlanan voltmeter sayesinde panelin voltaj üretimi de izlenmektedir.

Ek1’de Arduino kodları yer almaktadır.

Devrenin kurulumdan sonra Raspberry Pi ile Arduino üzerine kodları yazdırıp sistemin güneşi takip etmesi sağlanır.

4.2 Sistemin Bakımı

Her sistem zamanla sorun çıkarmaktadır. Bunun için belli periyotlarda bakım yapmak gerekir. RPIGTS bakım yapılırken ilk olarak panel temizliği ve sensörlerin temizlenmesi gerekmektedir. Sistemin enerjisi kesilerek bu işlem yapılabilir. Bunun dışında servo motorların çalışmasını görmek, düzgün çalıştığını incelemek gerekmektedir. Bunun için sistemin enerjisini kesmeye gerek yoktur. Mevcut yukarıda çalışan programın durdurulup servo motor kontrol programlarının çalıştırılması gerekmektedir. Bu sayede sistem enerji üretmeye devam edecektir. Aynı zamanda kısa sürede servo motor bakımı da yapılacaktır.

RPIGTS’de iki tane servo motor bulunmaktadır. Biri yukarı-aşağı (kuzey-güney) yönünde hareket eden, diğeri ise sağ-sol (doğu-batı) yönünde hareket eden motordur. İki motorunda kontrol edilmesi gerekmektedir. Aşağıda yazılan programlar Raspberry içerisinde yazılır ve sürekli olarak saklanması için kaydedilir. İki program yer almaktadır ve bunlar iki servo motoru kontrol etmektedir.

Doğu ve batı yönüne hareket eden motoru kontrol etmek için Ek2’deki program Raspberry Pi 3 içerisinde Python’da yazılır.

Kuzey ve güney yönünde hareket eden motoru kontrol etmek için ise yine Python dilinde Raspberry içerisinde Ek3’deki kod yazılır.

4.3 Raspberry Pi 3 Uzak Bağlantı

Raspberry Pi 3 bünyesinde ram, işlemci gibi donanımları bulundurması sebebiyle mini bir bilgisayardır. Bundan dolayı bir internet bağlantısı yardımıyla dünyanın her yerinden ulaşabilirsiniz. Güneş takip sisteminin

alışmasını incelemek, herhangi bir sorun olup olmadığını belirlemek amacıyla büyük fayda sağlamaktadır.

Bunun için teamviewer programından yararlanarak uzak bağlantı yapıyoruz. Teamviewer programı <https://www.teamviewer.com/tr/> adresinden rasbian sürümü için indirilir ve Raspberry Pi 3 içerisinde kurulur. Teamviewer programı yapısı gereği Raspberry için numaralardan oluşan ve sabit olan bir ID üretmektedir. Akıllı telefonlar için ise uygulama indirme platformlarından program indirilerek kurulur. Daha sonra programın Raspberry Pi 3 için ürettiği ID ve şifre girilerek uzak bağlantı sağlanmış olacaktır.

Raspberry Pi 3 her açıldığından uzak bağlantı programı otomatik olarak açılmaktadır ve birebir masaüstü ile işlem yapılmaktadır.

4.4 Prototip Maliyeti

Üretim yapılan ürünlerde maliyet her zaman önemlidir. Maliyetin düşük tutulması çalışmanın başarılı olmasındaki etkenlerden birisidir. Projede yapılan prototip maliyeti aşağıda yer almaktadır.

6V Güneş paneli : 15 TL

Raspberry Pi 3 : 150 TL

Arduino : 49 TL

LDR sensörler : 4 adet toplam 16 TL

Kablolar, Bread Board ve panel zemini: 100 TL

Servo Motor : 2 adet toplam 20 TL

Toplam maliyet 350 TL civarındadır. Prototip maliyeti hem düşük çıkmıştır hem de sistem sorunsuz çalışmaktadır.

SONUÇ DEĞERLENDİRME

Günümüzde en önemli problemlerden birisi enerji kaynaklarının tükenmesidir. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla ihtiyacımız olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi ise güneştir. Fotovoltaik paneller yardımıyla güneşin yaydığı ışınların elektrik enerjisine dönüştürülmesi enerji sorununu büyük ölçüde çözüme kavuşturmaktadır.

Güneş ışınlarının panel üzerine dik geldiği durumlarda en yüksek seviyede enerji üretilmektedir. Bundan dolayı güneş takip sistemleri enerji üretiminde önemli bir yeri almaktadır. Yapılacak olan çalışma ise sistemi düşük maliyet, bakım kolaylığı, uzak bağlantı gibi değerleri göz önüne alarak kurmak gerekmektedir. Bu sistemleri kullanarak güneş panellerinden elde edilen enerji %30-%37 oranında arttırılabilmektedir.

Güneş takip sistemi kurulması, kontrolü ve bakımları için Raspberry Pi 3 ve Arduino kullanıldı. Sistem düşük maliyet ile devreye alındı. Uzak bağlantı sağlanarak sistemin sorunsuz çalışması incelendi. Panele bağlı olan voltmetre yardımıyla sistem çalıştığı sürece panelin kapasitesinin en yüksek seviyede enerji ürettiği görüldü.

Bu tez çalışmada tasarlanan güneş takip sisteminde mekanik tasarımın yanısıra Arduino ve Raspberry Pi3 kullanılmıştır. Benzer güneş takip sistemleri, PLC benzeri otomasyon programları kullanılarak verimlilik artırılabilir.

KAYNAKLAR

Aydın, M. ve Yeşilata, B., 2004. Fotovoltaik Panellerde Eğim Açısı Etkisinin Deneysel Tespiti. *Termodinamik Dergisi*. 148:88-98.

KARIMOV, K. S., SAQIBB, M. A., AKHTERC, P., AHMEDD, M. M., CHATTHAD, J. A. and YOUSAFZAİD, S. A., 2005. A Simple Photo- Voltaic Tracking System. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 87: 49–59.

Kou, Q., 1996. A Method for Estimation the Long-Term Performance of Photovoltaic Pumping System. Master Thesis, The University of Wisconsin-Madison, Solar Energy Laboratory.

MORGAN, M. J., JAKOVIDIS, G., and McLEOD, I., 1994. “An Experiment to Measure The I-V Characteristics of a Silicon Solar Cell *Phys. Educ.* 29:252-254.

Shariah, A., Al-Akhras, M.A. and Al-Omari, I.A., 2002. Optimizing The Tilt Angle Of Solar Collectors. *Renewable Energy*, 26:587–598.

Tang, R. and Wu, T., 2004. Optimal Tilt-Angles For Solar Collectors Used in China. *Applied Energy*, 79: 239–248.

Yakup, M.A.H.M. and Malik, A. Q., 2001. Optimum Tilt Angle And Orientation For Solar Collector İn Brunei Darussalam. *Renewable Energy*, 24:223–234.

Angrist, S.W. (1976). “Direct Energy Conversion 3rd Edition”, Allyn and Bacon Inc., Boston, 5-100.

Adams W.G. ve Day R.E, (1977). *Phil. Trans. R. Soc.*, 167: 313-349.

18. Marti, A. ve Luque, A. (2004). *Next Generation Photovoltaics*, IoP Publishing, Philadelphia, 1-40.

U.S. Census Bureau , (2004). “International Population Reports WP/02”, *Global Population Profile: 2002*, U.S. Government Printing Office, 11.

Zeki Bilgin, (2006). *Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Batman, M. A., (2001), Elektrik Üretimi için Günes Pillerinin Kullanımında Verimi Arttırıcı Yeni Bir Yöntem, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.

Bodur, H., (2005), Güç Elektroniğinin Endüstriyel Uygulamaları 1, Ders Notu, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Esrarn, T., Chapman, P. L., (2007), "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques" IEEE Transactions On Energy Conversion, 22(2): 439-449.

He, W., Markwart, T. ve Arnold, R., (1998) "Islanding of grid-connected PV generators experimantal results", Proc. of 2nd World Conference and Exhibition on PV Solar Energy Conversion, pp. 2772-5, Vienna, Australia.

Lindgren, B., (2002), "Power Generation, Power Electronics and Power Systems Issues of Power Converters for Photovoltaic Applications, Chalmers University Of Technology", Thesis for The Degree of Doctor of Philosophy, Göteborg, Sweden

Markvart, T., (1994), Solar Electricity, J. Wiley and Sons, Chichester, UK.

Mohan, N., Undeland, T. M. ve Robbins, W. P., (1989), Power Electronics; Converters, Applications and Design, John Wiley and Sons Publication, 667p., USA.

Nakir, İ., (2007), "Fotovoltaik Günes Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğinin Arttırılması", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Nema, R.K., Nema, S., ve Agnihotri, G., (2009), “Computer Simulation Based Study of Photovoltaic Cells/Modules and Their Experimental Verification”, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 1, No.3.

Omole, A., (2006), “Analysis, Modeling and Simulation of Optimal Power Tracking of Multiple-Modules of Paralleled Solar Cell Systems”, Master Thesis, The Florida State University College Of Engineering, Florida.

Özgöçmen, A., (2007), “Günes Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Partain, L.D., (1995), Solar Cell and Their Applications, Wiley, New York.

Pressman, A.I., (1998), Switching Power Supply Design, Second Ed. McGraw-Hill, pp. 105-140.

Salameh, Z.M., Mulpur A. ve Fouad D., (1988), "Two-Stage Electrical Array Reconfiguration Controller for PV-Powered Water Pump", IEEE PV Specialists Conference, p. 399-404,19BS.

Salas, V., Olías, E., Barrado, A. ve Lázaro, A., (2006), “Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems”, Solar Energy Materials and Solar Cells, 11: 1555–1578.

Arm Ailesi

<http://arm.com/products/processors/index.php>

<http://coskuntasdemir.net/platformlar/arm>

ARM Inc. <http://www.arm.com>

Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture

Arduino Kodlama

<http://roboturka.com/arduino/arduino-ile-akilli-gunes-takip-sistemi/>

Arduino Nedir?

<https://www.hataverdi.com/arduino-nedir-ozellikleri-nelerdir-ve-nelerelelerde-kullanilir/2014/08/>

Güneş Paneli Dikey Eksen Açıları

http://www.emo.org.tr/ekler/c7f5e8dcaf51a49_ek.pdf

İstanbul için Gün Doğum ve Batımı Saatleri

<http://www.koeri.boun.edu.tr/astronomy/dogus-batis/Istanbul.htm>

RPİ3 Özellikler

<https://www.direnc.net/raspberry-pi-3>

RPİ3 İşletim Sistemleri

<http://serifgungor.com/blogs/94-raspberry-pi-icin-isletim-sistemleri>

RPi Nedir?

<https://maker.robotistan.com/raspberry-pi-dersleri-0-raspberry-piyi-taniyalim/>

Servo Motor Nedir?

<https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir/>

Servo Motor Çalıştırma

<https://maker.robotistan.com/raspberry-pi-dersleri-11-servo-motor-kontrolu/>

EKLER

Ek:1. Arduino Kodları

Ek:2. Servo Motor Doğu-Batı Hareket Programı

Ek:3. Servo Motor Kuzey-Güney Hareket Programı

Ek:4. Sistemin Prototip Fotoğrafları

Ek:5. Raspberry Pi Datasheet

Ek:6. SG90 Servo Motor Datasheet

Ek:7. LDR Sensör Datasheet

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

ADI VE SOYADI: Muhammed AVCU

DOĞUM YERİ VE TARİHİ: MALATYA ,1991

MEDENİ HALİ: BEKAR

E- MAİL: avcumammed@gmail.com

ADRES (İŞ): 15 Temmuz Mah. 1468. Sok. No:5 Bağcılar- İstanbul

EĞİTİM DURUMU

2016 – :İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

2009 - 2014 :Malatya İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

1992 – 1995: Malatya Cumhuriyet Lisesi

YABANCI DİL :İngilizce

İŞ TECRÜBESİ

Haziran 2013 - Ağustos 2013 CMC Call Center

Ağustos 2014 – TORA Petrol

Ek:1 Arduino Kodları

```
#include <Servo.h>

Servo YATAY;

Servo DIKEY;

int pos1 = 90; // servo1 başlangıç konumu
int pos2 = 90; // servo2 başlangıç konumu

const int LDR_SOL = A0; // mor
const int LDR_SAG = A1; // mavi
const int LDR_YUKARI = A2; // yeşil
const int LDR_ASAGI = A3; // sarı

const int pot_pin = A4;

int SOL = 0;

int SAG = 0;

int YUKARI = 0;

int ASAGI = 0;

int pot = 0;

void setup()

{

YATAY.attach(9); //alt motor

DIKEY.attach(10); //ust motor
```

```
Serial.begin(9600);

}

void loop()

{

SOL = analogRead(LDR_SOL);

SAG = analogRead(LDR_SAG);

YUKARI = analogRead(LDR_YUKARI);

ASAGI = analogRead(LDR_ASAGI);

pot = analogRead(pot_pin);

pot = map(pot, 0, 1023, 0, 50);

Serial.print("POT = ");

Serial.print(pot);

Serial.print(" LDR_SAG = ");

Serial.print(SAG);

Serial.print(" LDR_SOL = ");

Serial.print(SOL);

Serial.print(" LDR_UST = ");

Serial.print(YUKARI);

Serial.print(" LDR_ALT = ");

Serial.println(ASAGI);

if (SOL > ( SAG + pot ))

{
```

```
if (pos1 > 0)
pos1 -= 1;
YATAY.write(pos1);
}
if (SAG > ( SOL + pot ))
{
if ( pos1 < 180 )
pos1++;
YATAY.write(pos1);
}
if (YUKARI > ( ASAGI + pot ))
{
if ( pos2 > 0 )
pos2 -= 1;
DIKEY.write(pos2);
}
if (ASAGI > ( YUKARI + pot ))
{
if (pos2 < 180)
pos2++;
DIKEY.write(pos2);
}
delay(60); }
```

(Kaynak: <http://roboturka.com/arduino/arduino-ile-akilli-gunes-takip-sistemi/>)

Ek:2 Servo Motor Doğu-Batı Hareket Programı

```
import RPi.GPIO as GPIO

import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

GPIO.setup(18, GPIO.OUT)

pwm = GPIO.PWM(18, 100)

pwm.start(5)

class App:

    def __init__(self, master):

        frame = Frame(master)

        frame.pack()

        scale = Scale(frame, from_=0, to=180,

                      orient=HORIZONTAL, command=self.update)

        scale.grid(row=0)

    def update(self, angle):

        duty = float(angle) / 10.0 + 2.5

        pwm.ChangeDutyCycle(duty)

root = Tk()

root.wm_title('Servo Control')

app = App(root)

root.geometry("200x50+0+0")

root.mainloop()

(Kaynak: https://maker.robotistan.com/raspberry-pi-dersleri-11-servo-motor-kontrolu/)
```

Ek:3 Servo Motor Kuzey-Güney Hareket Programı

```
import RPi.GPIO as GPIO

import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

GPIO.setup(19, GPIO.OUT)

pwm = GPIO.PWM(19, 100)

pwm.start(5)

class App:

    def __init__(self, master):

        frame = Frame(master)

        frame.pack()

        scale = Scale(frame, from_=0, to=180,

                      orient=HORIZONTAL, command=self.update)

        scale.grid(row=0)

    def update(self, angle):

        duty = float(angle) / 10.0 + 2.5

        pwm.ChangeDutyCycle(duty)

root = Tk()

root.wm_title('Servo Control')

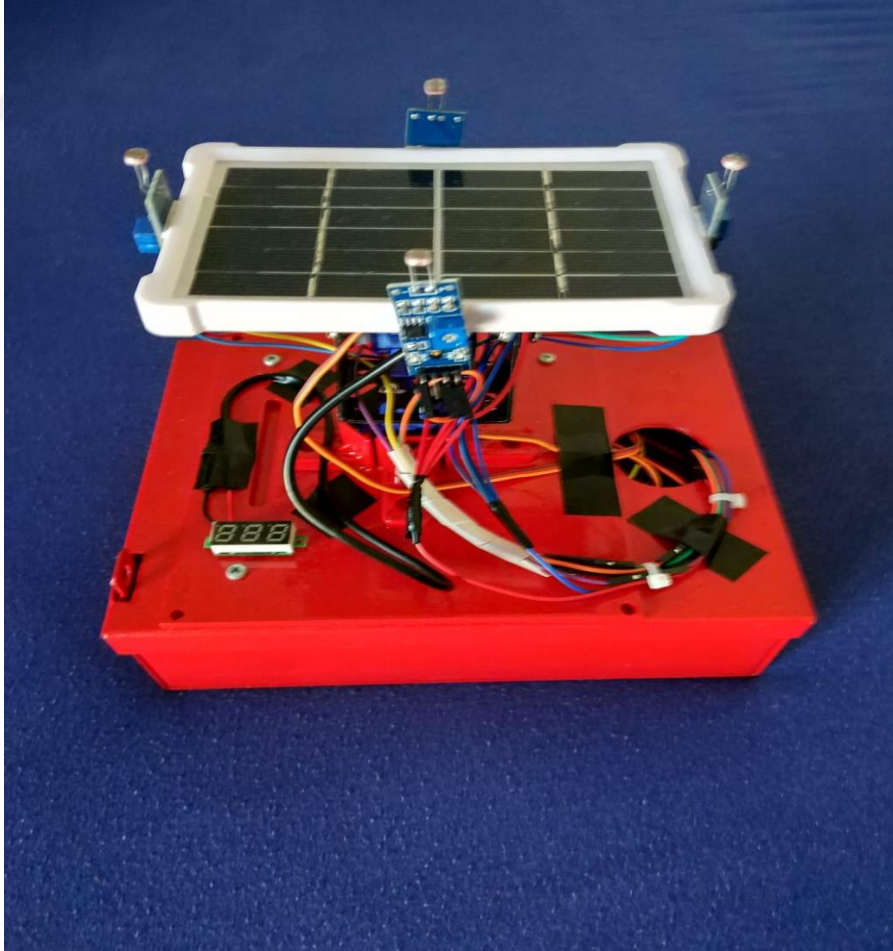
app = App(root)

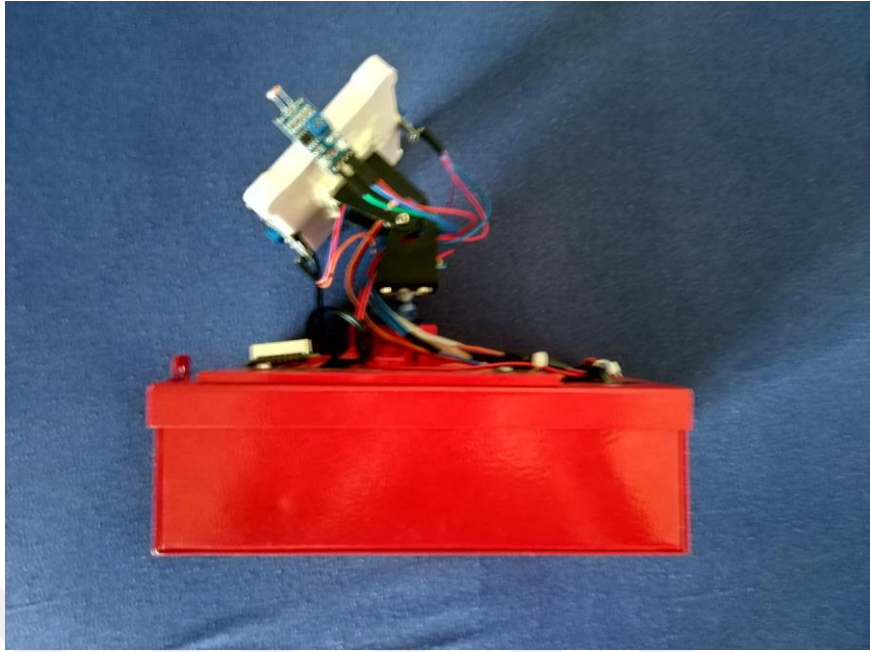
root.geometry("200x50+0+0")

root.mainloop()

(Kaynak:https://maker.robotistan.com/raspberry-pi-dersleri-11-servo-motor-kontrolu/)
```

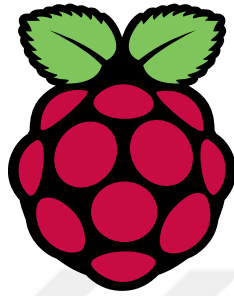
Ek:4. Sistemin Prototip Fotoğrafları





Ek:5. Raspberry Pi Datasheet

DATASHEET



Raspberry Pi Compute Module (CM1)

Raspberry Pi Compute Module 3 (CM3)

Raspberry Pi Compute Module 3 Lite (CM3L)

Version 1.0, October 2016

Copyright 2016 Raspberry Pi (Trading) Ltd. All rights reserved.



Table 1: Revision History

Revision	Date	Description
1.0	13/10/2016	First release





Contents

1	Introduction	5
2	Features	6
2.1	Hardware	6
2.2	Peripherals	6
2.3	Software	6
3	Block Diagram	7
4	Mechanical Specification	9
5	Pin Assignments	11
6	Electrical Specification	13
7	Power Supplies	14
7.1	Supply Sequencing	15
7.2	Power Requirements	15
8	Booting	16
9	Peripherals	17
9.1	GPIO	17
9.1.1	GPIO Alternate Functions	18
9.1.2	Secondary Memory Interface (SMI)	19
9.1.3	Display Parallel Interface (DPI)	19
9.1.4	SD/SDIO Interface	20
9.2	CSI (MIPI Serial Camera)	20
9.3	DSI (MIPI Serial Display)	20
9.4	USB	20
9.5	HDMI	20
9.6	Composite (TV Out)	21
10	Thermals	21
10.1	Temperature Range	21
11	Availability	21
12	Support	21



List of Figures

1	CM1 Block Diagram	7
2	CM3/CM3L Block Diagram	8
3	CM1 Mechanical Dimensions	9
4	CM3 and CM3L Mechanical Dimensions	10
5	Digital IO Characteristics	14





List of Tables

1	Revision History	1
2	Compute Module SODIMM Connector Pinout	11
3	Pin Functions	12
4	Absolute Maximum Ratings	13
5	DC Characteristics	13
6	Digital I/O Pin AC Characteristics	14
7	Power Supply Operating Ranges	15
8	Mimimum Power Supply Requirements	16
9	GPIO Bank0 Alternate Functions	18
10	GPIO Bank1 Alternate Functions	19





1 Introduction

The Raspberry Pi Compute Module (CM1), Compute Module 3 (CM3) and Compute Module 3 Lite (CM3L) are DDR2-SODIMM-mechanically-compatible System on Modules (SoMs) containing processor, memory, eMMC Flash (for CM1 and CM3) and supporting power circuitry. These modules allow a designer to leverage the Raspberry Pi hardware and software stack in their own custom systems and form factors. In addition these module have extra IO interfaces over and above what is available on the Raspberry Pi model A/B boards opening up more options for the designer.

The CM1 contains a BCM2835 processor (as used on the original Raspberry Pi and Raspberry Pi B+ models), 512MByte LPDDR2 RAM and 4Gbytes eMMC Flash. The CM3 contains a BCM2837 processor (as used on the Raspberry Pi 3), 1Gbyte LPDDR2 RAM and 4Gbytes eMMC Flash. Finally the CM3L product is the same as CM3 except the eMMC Flash is not fitted, and the SD/eMMC interface pins are available for the user to connect their own SD/eMMC device.

Note that the BCM2837 processor is an evolution of the BCM2835 processor. The only real differences are that the BCM2837 can address more RAM (up to 1Gbyte) and the ARM CPU complex has been upgraded from a single core ARM11 in BCM2835 to a Quad core Cortex A53 with dedicated 512Kbyte L2 cache in BCM2837. All IO interfaces and peripherals stay the same and hence the two chips are largely software and hardware compatible.

The pinout of CM1 and CM3 are identical. Apart from the CPU upgrade and increase in RAM the other significant hardware differences to be aware of are that CM3 has grown from 30mm to 31mm in height, the VBAT supply can now draw significantly more power under heavy CPU load, and the HDMI_HPD_N_1V8 (GPIO46_1V8 on CM1) and EMMC_EN_N_1V8 (GPIO47_1V8 on CM1) are now driven from an IO expander rather than the processor. If a designer of a CM1 product has a suitably specified VBAT, can accommodate the extra 1mm module height increase and has followed the design rules with respect to GPIO46_1V8 and GPIO47_1V8 then a CM3 should work fine in a board designed for a CM1.



2 Features

2.1 Hardware

- Low cost
- Low power
- High availability
- High reliability
 - Tested over millions of Raspberry Pis Produced to date
 - Module IO pins have 35u hard gold plating

2.2 Peripherals

- 48x GPIO
- 2x I2C
- 2x SPI
- 2x UART
- 2x SD/SDIO
- 1x HDMI 1.3a
- 1x USB2 HOST/OTG
- 1x DPI (Parallel RGB Display)
- 1x NAND interface (SMI)
- 1x 4-lane CSI Camera Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 2-lane CSI Camera Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 4-lane DSI Display Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 2-lane DSI Display Interface (up to 1Gbps per lane)

2.3 Software

- ARMv6 (CM1) or ARMv7 (CM3, CM3L) Instruction Set
- Mature and stable Linux software stack
 - Latest Linux Kernel support
 - Many drivers upstreamed
 - Stable and well supported userland
 - Full availability of GPU functions using standard APIs



3 Block Diagram

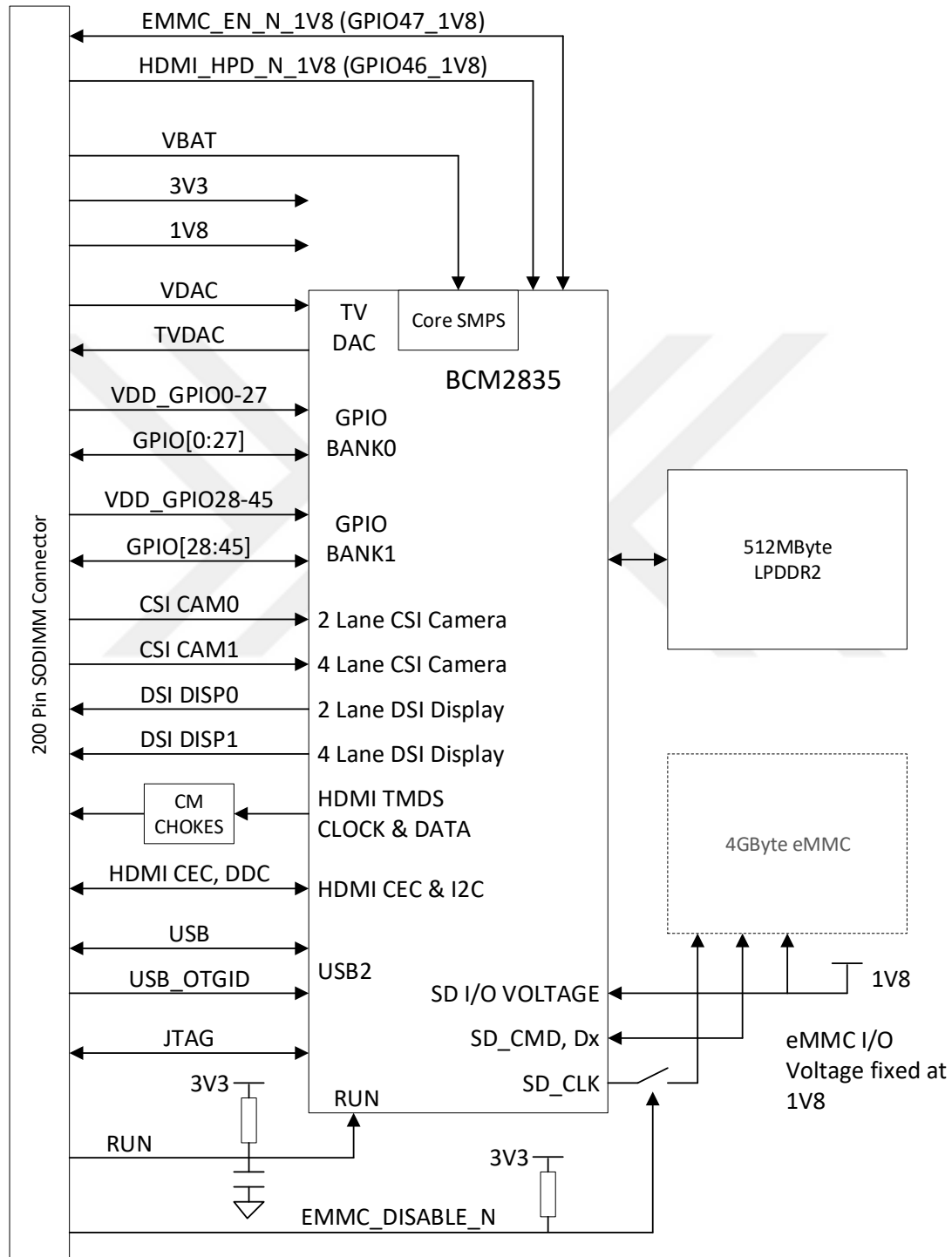


Figure 1: CM1 Block Diagram

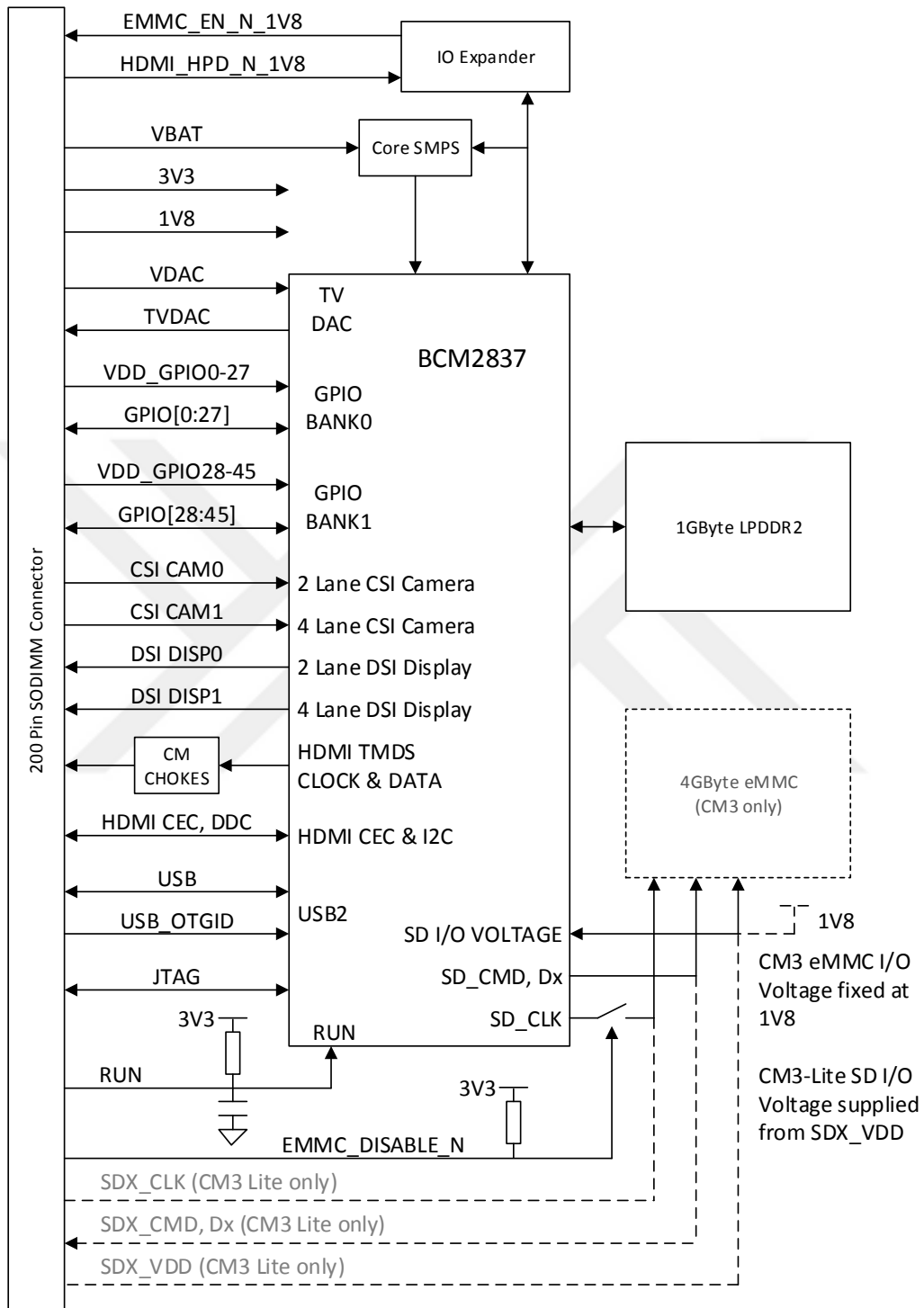


Figure 2: CM3/CM3L Block Diagram



4 Mechanical Specification

The Compute Modules conform to JEDEC MO-224 mechanical specification for 200 pin DDR2 (1.8V) SODIMM modules (with the exception that the CM3, CM3L modules are 31mm in height rather than 30mm of CM1) and therefore should work with the many DDR2 SODIMM sockets available on the market. **(Please note that the pinout of the Compute Module is not the same as a DDR2 SODIMM module; they are not electrically compatible.)**

The SODIMM form factor was chosen as a way to provide the 200 pin connections using a standard, readily available and low cost connector compatible with low cost PCB manufacture.

The maximum component height on the underside of the Compute Module is 1.2mm.

The maximum component height on the top side of the Compute Module is 1.5mm.

The Compute Module PCB thickness is 1.0mm +/- 0.1mm.

Note that the location and arrangement of components on the Compute Module may change slightly over time due to revisions for cost and manufacturing considerations; however, maximum component heights and PCB thickness will be kept as specified.

Figure 3 gives the CM1 mechanical dimensions. Figure 4 gives the CM3 and CM3L mechanical dimensions.

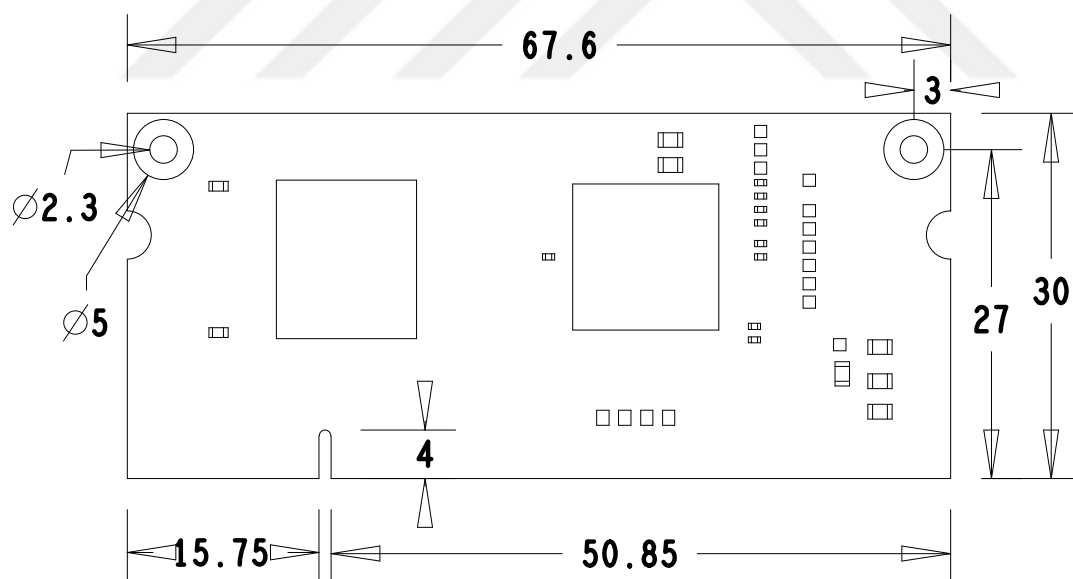


Figure 3: CM1 Mechanical Dimensions

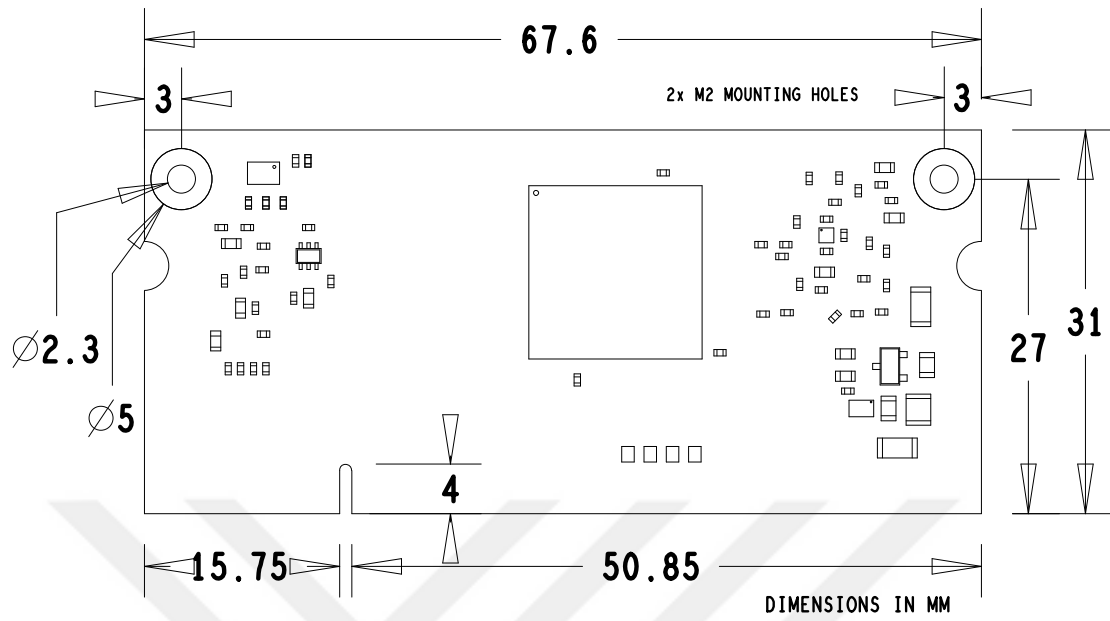


Figure 4: CM3 and CM3L Mechanical Dimensions



5 Pin Assignments

CM1	CM3-Lite	CM3	PIN	PIN	CM3	CM3-Lite	CM1
	GND		1	2	EMMC_DISABLE_N		
	GPIO0		3	4	NC	SDX_VDD	NC
	GPIO1		5	6	NC	SDX_VDD	NC
	GND		7	8	GND		NC
	GPIO2		9	10	NC	SDX_CLK	NC
	GPIO3		11	12	NC	SDX_CMD	NC
	GND		13	14	GND		NC
	GPIO4		15	16	NC	SDX_D0	NC
	GPIO5		17	18	NC	SDX_D1	NC
	GND		19	20	GND		NC
	GPIO6		21	22	NC	SDX_D2	NC
	GPIO7		23	24	NC	SDX_D3	NC
	GND		25	26	GND		
	GPIO8		27	28	GPIO28		
	GPIO9		29	30	GPIO29		
	GND		31	32	GND		
	GPIO10		33	34	GPIO30		
	GPIO11		35	36	GPIO31		
	GND		37	38	GND		
	GPIO0-27_VDD		39	40	GPIO0-27_VDD		
					KEY		
	GPIO28-45_VDD		41	42	GPIO28-45_VDD		
	GND		43	44	GND		
	GPIO12		45	46	GPIO32		
	GPIO13		47	48	GPIO33		
	GND		49	50	GND		
	GPIO14		51	52	GPIO34		
	GPIO15		53	54	GPIO35		
	GND		55	56	GND		
	GPIO16		57	58	GPIO36		
	GPIO17		59	60	GPIO37		
	GND		61	62	GND		
	GPIO18		63	64	GPIO38		
	GPIO19		65	66	GPIO39		
	GND		67	68	GND		
	GPIO20		69	70	GPIO40		
	GPIO21		71	72	GPIO41		
	GND		73	74	GND		
	GPIO22		75	76	GPIO42		
	GPIO23		77	78	GPIO43		
	GND		79	80	GND		
	GPIO24		81	82	GPIO44		
	GPIO25		83	84	GPIO45		
	GND		85	86	GND		
	GPIO26		87	88	HDMI_HPD_N_1V8	GPIO46_1V8	
	GPIO27		89	90	EMMC_EN_N_1V8	GPIO47_1V8	
	GND		91	92	GND		
	DSIO_DN1		93	94	DSI1_DP0		
	DSIO_DP1		95	96	DSI1_DN0		
	GND		97	98	GND		
	DSIO_DN0		99	100	DSI1_CP		
	DSIO_DP0		101	102	DSI1_CN		
	GND		103	104	GND		
	DSIO_CN		105	106	DSI1_DP3		
	DSIO_CP		107	108	DSI1_DN3		
	GND		109	110	GND		
	HDMI_CLK_N		111	112	DSI1_DP2		
	HDMI_CLK_P		113	114	DSI1_DN2		
	GND		115	116	GND		
	HDMI_D0_N		117	118	DSI1_DP1		
	HDMI_D0_P		119	120	DSI1_DN1		
	GND		121	122	GND		
	HDMI_D1_N		123	124	NC		
	HDMI_D1_P		125	126	NC		
	GND		127	128	NC		
	HDMI_D2_N		129	130	NC		
	HDMI_D2_P		131	132	NC		
	GND		133	134	GND		
	CAM1_DP3		135	136	CAM0_DP0		
	CAM1_DN3		137	138	CAM0_DN0		
	GND		139	140	GND		
	CAM1_DP2		141	142	CAM0_CP		
	CAM1_DN2		143	144	CAM0_CN		
	GND		145	146	GND		
	CAM1_CP		147	148	CAM0_DP1		
	CAM1_CN		149	150	CAM0_DN1		
	GND		151	152	GND		
	CAM1_DP1		153	154	NC		
	CAM1_DN1		155	156	NC		
	GND		157	158	NC		
	CAM1_DP0		159	160	NC		
	CAM1_DN0		161	162	NC		
	GND		163	164	GND		
	USB_DP		165	166	TVDAC		
	USB_DM		167	168	USB_OTGID		
	GND		169	170	GND		
	HDMI_CEC		171	172	VC_TRST_N		
	HDMI_SDA		173	174	VC_TDI		
	HDMI_SCL		175	176	VC_TMS		
	RUN		177	178	VC_TDO		
	VDD_CORE (DO NOT CONNECT)		179	180	VC_TCK		
	GND		181	182	GND		
	1V8		183	184	1V8		
	1V8		185	186	1V8		
	GND		187	188	GND		
	VDAC		189	190	VDAC		
	3V3		191	192	3V3		
	3V3		193	194	3V3		
	GND		195	196	GND		
	VBAT		197	198	VBAT		
	VBAT		199	200	VBAT		

Table 2: Compute Module SODIMM Connector Pinout

Table 2 gives the Compute Module pinout and Table 3 gives the Compute Module pin functions.



Pin Name	DIR	Voltage Ref	PDN ^a State	If Unused	Description/Notes
<i>RUN and Boot Control (see text for usage guide)</i>					
RUN	I	3V3 ^b	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_DISABLE_N	I	3V3 ^b	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_EN_N_1V8	O	1V8	Pull High	Leave open	Has internal 2k2 pull up
<i>GPIO</i>					
GPIO[27:0]	I/O	GPIO0-27_VDD	Pull or Hi-Z ^c	Leave open	GPIO Bank 0
GPIO[45:28]	I/O	GPIO28-45_VDD	Pull or Hi-Z ^c	Leave open	GPIO Bank 1
<i>Primary SD Interface^{d,e}</i>					
SDX_CLK	O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CLK
SDX_CMD	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CMD
SDX_Dx	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface DATA
<i>USB Interface</i>					
USB_Dx	I/O	-	Z	Leave open	Serial interface
USB_OTGID	I	3V3		Tie to GND	OTG pin detect
<i>HDMI Interface</i>					
HDMI_SCL	I/O	3V3 ^b	Z ^f	Leave open	DDC Clock (5.5V tolerant)
HDMI_SDA	I/O	3V3 ^b	Z ^f	Leave open	DDC Data (5.5V tolerant)
HDMI_CEC	I/O	3V3	Z	Leave open	CEC (has internal 27k pull up)
HDMI_CLKx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial clock
HDMI_Dx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial data
HDMI_HPD_N_1V8	I	1V8	Pull High	Leave open	HDMI hotplug detect
<i>CAM0 (CSI0) 2-lane Interface</i>					
CAM0_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM0_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
<i>CAM1 (CSI1) 4-lane Interface</i>					
CAM1_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM1_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
<i>DSI0 (Display 0) 2-lane Interface</i>					
DSI0_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI0_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
<i>DSI1 (Display 1) 4-lane Interface</i>					
DSI1_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI1_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
<i>TV Out</i>					
TVDAC	O	-	Z	Leave open	Composite video DAC output
<i>JTAG Interface</i>					
TMS	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TRST_N	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TCK	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDI	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDO	O	3V3	O	Leave open	Has internal 50k pull up

^a The PDN column indicates power-down state (when RUN pin LOW)

^b Must be driven by an open-collector driver

^c GPIO have software enabled pulls which keep state over power-down

^d Only available on Lite variants

^e The CM will always try to boot from this interface first

^f Requires external pull-up resistor to 5V as per HDMI spec

Table 3: Pin Functions



6 Electrical Specification

Caution! Stresses above those listed in Table 4 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
VBAT	Core SMPS Supply	-0.5	6.0	V
3V3	3V3 Supply Voltage	-0.5	4.10	V
1V8	1V8 Supply Voltage	-0.5	2.10	V
VDAC	TV DAC Supply	-0.5	4.10	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	-0.5	4.10	V

Table 4: Absolute Maximum Ratings

DC Characteristics are defined in Table 5

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V_{IL}	Input low voltage ^a	VDD_IO = 1.8V	-	-	0.6	V
		VDD_IO = 2.7V	-	-	0.8	V
V_{IH}	Input high voltage ^a	VDD_IO = 1.8V	1.0	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V	1.3	-	-	V
I_{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	5	μA
C_{IN}	Input capacitance	-	-	5	-	pF
V_{OL}	Output low voltage ^b	VDD_IO = 1.8V, IOL = -2mA	-	-	0.2	V
		VDD_IO = 2.7V, IOL = -2mA	-	-	0.15	V
V_{OH}	Output high voltage ^b	VDD_IO = 1.8V, IOH = 2mA	1.6	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V, IOH = 2mA	2.5	-	-	V
I_{OL}	Output low current ^c	VDD_IO = 1.8V, VO = 0.4V	12	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, VO = 0.4V	17	-	-	mA
I_{OH}	Output high current ^c	VDD_IO = 1.8V, VO = 1.4V	10	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, VO = 2.3V	16	-	-	mA
R_{PU}	Pullup resistor	-	50	-	65	kΩ
R_{PD}	Pulldown resistor	-	50	-	65	kΩ

^a Hysteresis enabled

^b Default drive strength (8mA)

^c Maximum drive strength (16mA)

Table 5: DC Characteristics



AC Characteristics are defined in Table 6 and Fig. 5.

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t_{rise}	10-90% rise time ^a	-	1.6	-	ns
Digital outputs	t_{fall}	90-10% fall time ^a	-	1.7	-	ns
GPCLK	t_{JOSC}	Oscillator-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	20	ps
GPCLK	t_{JPLL}	PLL-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	48	ps

^a Default drive strength, CL = 5pF, VDD_IOx = 3.3V

Table 6: Digital I/O Pin AC Characteristics

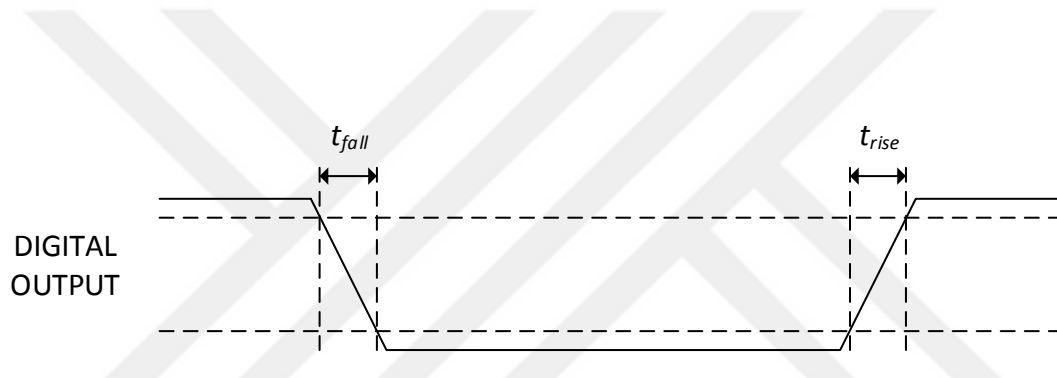


Figure 5: Digital IO Characteristics

7 Power Supplies

The Compute Module has six separate supplies that must be present and powered at all times; you cannot leave any of them unpowered, even if a specific interface or GPIO bank is unused. The six supplies are as follows:

1. VBAT is used to power the BCM283x processor core. It feeds the SMPS that generates the chip core voltage.
2. 3V3 powers various BCM283x PHYs, IO and the eMMC Flash.
3. 1V8 powers various BCM283x PHYs, IO and SDRAM.
4. VDAC powers the composite (TV-out) DAC.
5. GPIO0-27_VREF powers the GPIO 0-27 IO bank.
6. GPIO28-45_VREF powers the GPIO 28-45 IO bank.



Supply	Description	Minimum	Typical	Maximum	Unit
VBAT	Core SMPS Supply	2.5	-	5.0 + 5%	V
3V3	3V3 Supply Voltage	3.3 - 5%	3.3	3.3 + 5%	V
1V8	1V8 Supply Voltage	1.8 - 5%	1.8	1.8 + 5%	V
VDAC	TV DAC Supply ^a	2.5 - 5%	2.8	3.3 + 5%	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-27 I/O Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V

^a Requires a clean 2.5-2.8V supply if TV DAC is used, else connect to 3V3

Table 7: Power Supply Operating Ranges

7.1 Supply Sequencing

Supplies should be staggered so that the highest voltage comes up first, then the remaining voltages in descending order. This is to avoid forward biasing internal (on-chip) diodes between supplies, and causing latch-up. Alternatively supplies can be synchronised to come up at exactly the same time as long as at no point a lower voltage supply rail voltage exceeds a higher voltage supply rail voltage.

7.2 Power Requirements

Exact power requirements will be heavily dependent upon the individual use case. If an on-chip subsystem is unused, it is usually in a low power state or completely turned off. For instance, if your application does not use 3D graphics then a large part of the core digital logic will never turn on and need power. This is also the case for camera and display interfaces, HDMI, USB interfaces, video encoders and decoders, and so on.

Powerchain design is critical for stable and reliable operation of the Compute Module. We strongly recommend that designers spend time measuring and verifying power requirements for their particular use case and application, as well as paying careful attention to power supply sequencing and maximum supply voltage tolerance.

Table 8 specifies the recommended minimum power supply outputs required to power the Compute Module.



Supply	Minimum Requirement	Unit
VBAT (CM1)	2000 ^a	mW
VBAT (CM3,3L)	3500 ^a	mW
3V3	250	mA
1V8	250	mA
VDAC	25	mA
GPIO0-27_VDD	50 ^b	mA
GPIO28-45_VDD	50 ^b	mA
SDX_VDD	50 ^b	mA

^a Recommended minimum. Actual power drawn is very dependent on use-case

^b Each GPIO can supply up to 16mA, aggregate current per bank must not exceed 50mA

Table 8: Minimum Power Supply Requirements

8 Booting

The 4GB eMMC Flash device on CM3 is directly connected to the primary BCM2837 SD/eMMC interface. These connections are not accessible on the module pins. On CM3L this SD interface is available on the SDX_ pins.

When initially powered on, or after the RUN pin has been held low and then released, the BCM2837 will try to access the primary SD/eMMC interface. It will then look for a file called bootcode.bin on the primary partition (which must be FAT) to start booting the system. If it cannot access the SD/eMMC device or the boot code cannot be found, it will fall back to waiting for boot code to be written to it over USB; in other words, its USB port is in slave mode waiting to accept boot code from a suitable host.

A USB boot tool is available on Github which allows a host PC running Linux to write the BCM2837 boot code over USB to the module. That boot code then runs and provides access to the SD/eMMC as a USB mass storage device, which can then be read and written using the host PC. Note that a Raspberry Pi can be used as the host machine. For those using Windows a precompiled and packaged tool is available. For more information see [here](#).

The Compute Module has a pin called EMMC_DISABLE_N which when shorted to GND will disable the SD/eMMC interface (by physically disconnecting the SD_CMD pin), forcing BCM2837 to boot from USB. Note that when the eMMC is disabled in this way, it takes a couple of seconds from powering up for the processor to stop attempting to talk to the SD/eMMC device and fall back to booting from USB.

Note that once booted over USB, BCM2837 needs to re-enable the SD/eMMC device (by releasing EMMC_DISABLE_N) to allow access to it as mass storage. It expects to be able to do this by driving the EMMC_EN_N_1V8 pin LOW, which at boot is initially an input with a pull up to 1V8. If an end user wishes to add the ability to access the SD/eMMC over USB in their product, similar circuitry to that used on the Compute Module IO Board to enable/disable the USB boot and SD/eMMC must be used; that is, EMMC_DISABLE_N pulled low via MOSFET(s) and released again by MOSFET, with the gate controlled by EMMC_EN_N_1V8. Ensure you use MOSFETs suitable for switching at 1.8V (i.e. use a device with gate threshold voltage, V_t , suitable for 1.8V switching).



9 Peripherals

9.1 GPIO

BCM283x has in total 54 GPIO lines in 3 separate voltage banks. All GPIO pins have at least two alternative functions within the SoC. When not used for the alternate peripheral function, each GPIO pin may be set as an input (optionally as an interrupt) or an output. The alternate functions are usually peripheral I/Os, and most peripherals appear twice to allow flexibility on the choice of I/O voltage.

On CM1, CM3 and CM3L bank2 is used on the module to connect to the eMMC device and, on CM3 and CM3L, for an on-board I2C bus (to talk to the core SMPS and control the special function pins). On CM3L most of bank 2 is exposed to allow a user to connect their choice of SD card or eMMC device (if required).

Bank0 and 1 GPIOs are available for general use. GPIO0 to GPIO27 are bank 0 and GPIO28-45 make up bank1. GPIO0-27_VDD is the power supply for bank0 and GPIO28-45_VDD is the power supply for bank1. SDX_VDD is the supply for bank2 on CM3L. These supplies can be in the range 1.8V-3.3V (see Table 7) and are not optional; each bank must be powered, even when none of the GPIOs for that bank are used.

Note that the HDMI_HPD_N_1V8 and EMMC_EN_N_1V8 pins (on CM1 these were called GPIO46_1V8 and GPIO47_1V8 respectively) are 1.8V IO and are used for special functions (HDMI hot plug detect and boot control respectively). Please do not use these pins for any other purpose, as the software for the Compute Module will always expect these pins to have these special functions. If they are unused please leave them unconnected.

All GPIOs except GPIO28, 29, 44 and 45 have weak in-pad pull-ups or pull-downs enabled when the device is powered on. It is recommended to add off-chip pulls to GPIO28, 29, 44 and 45 to make sure they never float during power on and initial boot.



9.1.1 GPIO Alternate Functions

GPIO	Default						
	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
0	High	SDA0	SA5	PCLK	-	-	-
1	High	SCL0	SA4	DE	-	-	-
2	High	SDA1	SA3	LCD_VSYNC	-	-	-
3	High	SCL1	SA2	LCD_HSYNC	-	-	-
4	High	GPCLK0	SA1	DPI.D0	-	-	ARM_TDI
5	High	GPCLK1	SA0	DPI.D1	-	-	ARM_TDO
6	High	GPCLK2	SOE_N	DPI.D2	-	-	ARM_RTCK
7	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	DPI.D3	-	-	-
8	High	SPI0_CE0_N	SD0	DPI.D4	-	-	-
9	Low	SPI0_MISO	SD1	DPI.D5	-	-	-
10	Low	SPI0_MOSI	SD2	DPI.D6	-	-	-
11	Low	SPI0_SCLK	SD3	DPI.D7	-	-	-
12	Low	PWM0	SD4	DPI.D8	-	-	ARM_TMS
13	Low	PWM1	SD5	DPI.D9	-	-	ARM_TCK
14	Low	TXD0	SD6	DPI.D10	-	-	TXD1
15	Low	RXD0	SD7	DPI.D11	-	-	RXD1
16	Low	FL0	SD8	DPI.D12	CTS0	SPI1_CE2_N	CTS1
17	Low	FL1	SD9	DPI.D13	RTS0	SPI1_CE1_N	RTS1
18	Low	PCM_CLK	SD10	DPI.D14	-	SPI1_CE0_N	PWM0
19	Low	PCM_FS	SD11	DPI.D15	-	SPI1_MISO	PWM1
20	Low	PCM_DIN	SD12	DPI.D16	-	SPI1_MOSI	GPCLK0
21	Low	PCM_DOUT	SD13	DPI.D17	-	SPI1_SCLK	GPCLK1
22	Low	SD0_CLK	SD14	DPI.D18	SD1_CLK	ARM_TRST	-
23	Low	SD0_CMD	SD15	DPI.D19	SD1_CMD	ARM_RTCK	-
24	Low	SD0_DAT0	SD16	DPI.D20	SD1_DAT0	ARM_TDO	-
25	Low	SD0_DAT1	SD17	DPI.D21	SD1_DAT1	ARM_TCK	-
26	Low	SD0_DAT2	TE0	DPI.D22	SD1_DAT2	ARM_TDI	-
27	Low	SD0_DAT3	TE1	DPI.D23	SD1_DAT3	ARM_TMS	-

Table 9: GPIO Bank0 Alternate Functions



GPIO	Default						
	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
28	None	SDA0	SA5	PCM_CLK	FL0	-	-
29	None	SCL0	SA4	PCM_FS	FL1	-	-
30	Low	TE0	SA3	PCM_DIN	CTS0	-	CTS1
31	Low	FL0	SA2	PCM_DOUT	RTS0	-	RTS1
32	Low	GPCLK0	SA1	RING_OCLK	TXD0	-	TXD1
33	Low	FL1	SA0	TE1	RXD0	-	RXD1
34	High	GPCLK0	SOE_N	TE2	SD1_CLK	-	-
35	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	-	SD1_CMD	-	-
36	High	SPI0_CE0_N	SD0	TXD0	SD1_DAT0	-	-
37	Low	SPI0_MISO	SD1	RXD0	SD1_DAT1	-	-
38	Low	SPI0_MOSI	SD2	RTS0	SD1_DAT2	-	-
39	Low	SPI0_SCLK	SD3	CTS0	SD1_DAT3	-	-
40	Low	PWM0	SD4	-	SD1_DAT4	SPI2_MISO	TXD1
41	Low	PWM1	SD5	TE0	SD1_DAT5	SPI2_MOSI	RXD1
42	Low	GPCLK1	SD6	TE1	SD1_DAT6	SPI2_SCLK	RTS1
43	Low	GPCLK2	SD7	TE2	SD1_DAT7	SPI2_CE0_N	CTS1
44	None	GPCLK1	SDA0	SDA1	TE0	SPI2_CE1_N	-
45	None	PWM1	SCL0	SCL1	TE1	SPI2_CE2_N	-

Table 10: GPIO Bank1 Alternate Functions

Table 9 and Table 10 detail the default pin pull state and available alternate GPIO functions. Most of these alternate peripheral functions are described in detail in the Broadcom Peripherals Specification document and have Linux drivers available.

9.1.2 Secondary Memory Interface (SMI)

The SMI peripheral is an asynchronous NAND type bus supporting Intel mode80 type transfers at 8 or 16 bit widths and available in the ALT1 positions on GPIO banks 0 and 1 (see Table 9 and Table 10). It is not publicly documented in the Broadcom Peripherals Specification but a Linux driver is available in the Raspberry Pi Github Linux repository (`bcm2835_smi.c` in `linux/drivers/misc`).

9.1.3 Display Parallel Interface (DPI)

A standard parallel RGB (DPI) interface is available on bank 0 GPIOs. This up-to-24-bit parallel interface can support a secondary display. Again this interface is not documented in the Broadcom Peripherals Specification but documentation can be found here.



9.1.4 SD/SDIO Interface

The BCM283x supports two SD card interfaces, SD0 and SD1.

The first (SD0) is a proprietary Broadcom controller that does not support SDIO and is the primary interface used to boot and talk to the eMMC or SDX_x signals.

The second interface (SD1) is standards compliant and can interface to SD, SDIO and eMMC devices; for example on a Raspberry Pi 3 it is used to talk to the on-board BCM43438 WiFi device in SDIO mode.

Both interfaces can support speeds up to 50MHz single ended (SD High Speed Mode).

9.2 CSI (MIPI Serial Camera)

Currently the CSI interface is not openly documented and only CSI camera sensors supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface. Supported sensors are the OmniVision OV5647 and Sony IMX219.

It is recommended to attach other cameras via USB.

9.3 DSI (MIPI Serial Display)

Currently the DSI interface is not openly documented and only DSI displays supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface.

Displays can also be added via the parallel DPI interface which is available as a GPIO alternate function - see Table 9 and Section 9.1.3

9.4 USB

The BCM283x USB port is On-The-Go (OTG) capable. If using either as a fixed slave or fixed master, please tie the USB_OTGID pin to ground.

The USB port (Pins USB_DP and USB_DM) must be routed as 90 ohm differential PCB traces.

Note that the port is capable of being used as a true OTG port however there is no official documentation. Some users have had success making this work.

9.5 HDMI

BCM283x supports HDMI V1.3a.

It is recommended that users follow a similar arrangement to the Compute Module IO Board circuitry for HDMI output.

The HDMI CK_P/N (clock) and D0-D2_P/N (data) pins must each be routed as matched length 100 ohm differential PCB traces. It is also important to make sure that each differential pair is closely phase matched. Finally, keep HDMI traces well away from other noise sources and as short as possible.

Failure to observe these design rules is likely to result in EMC failure.



9.6 Composite (TV Out)

The TVDAC pin can be used to output composite video (PAL or NTSC). Please route this signal away from noise sources and use a 75 ohm PCB trace.

Note that the TV DAC is powered from the VDAC supply which must be a clean supply of 2.5-2.8V. It is recommended users generate this supply from 3V3 using a low noise LDO.

If the TVDAC output is not used VDAC can be connected to 3V3, but it must be powered even if the TV-out functionality is unused.

10 Thermals

The BCM283x SoC employs DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling) on the core voltage. When the processor is idle (low CPU utilisation), it will reduce the core frequency and voltage to reduce current draw and heat output. When the core utilisation exceeds a certain threshold the core voltage is increased and the core frequency is boosted to the maximum working frequency. The voltage and frequency are throttled back when the CPU load reduces back to an 'idle' level OR when the silicon temperature as measured by the on-chip temperature sensor exceeds 85C (thermal throttling).

A designer must pay careful attention to the thermal design of products using the CM3/CM3L so that performance is not artificially curtailed due to the processor thermal throttling, as the Quad ARM complex in the BCM2837 can generate significant heat output.

10.1 Temperature Range

The operating temperature range of the module is set by the lowest maximum and highest minimum of any of the components used.

The eMMC and LPDDR2 have the narrowest range, these are rated for -25 to +80 degrees Celsius. Therefore the nominal range for the CM3 and CM3L is -25C to +80C.

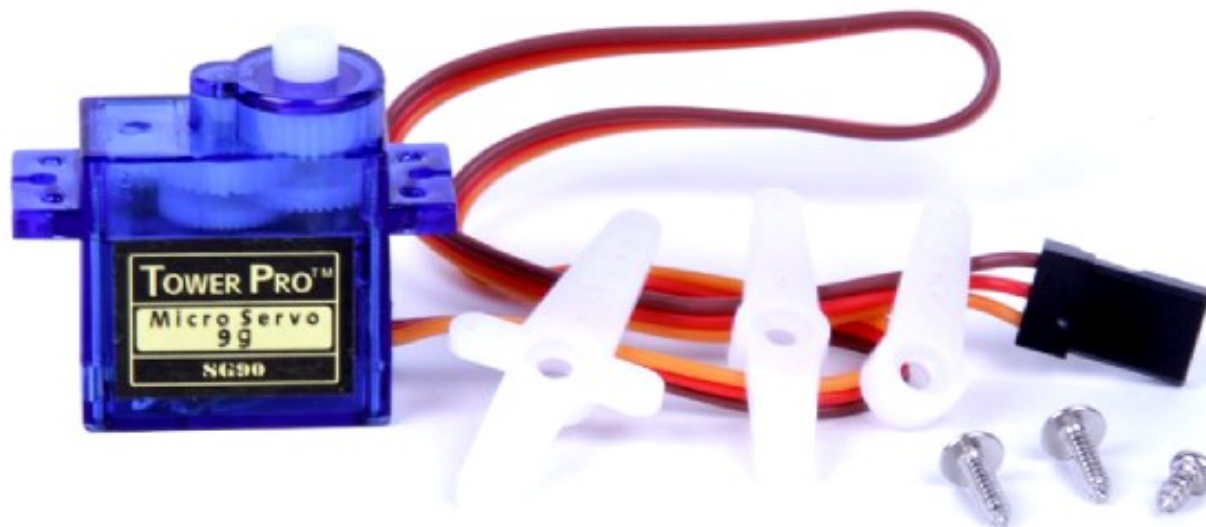
However, this range is the maximum for the silicon die; therefore, users would have to take into account the heat generated when in use and make sure this does not cause the temperature to exceed 80 degrees Celsius.

11 Availability

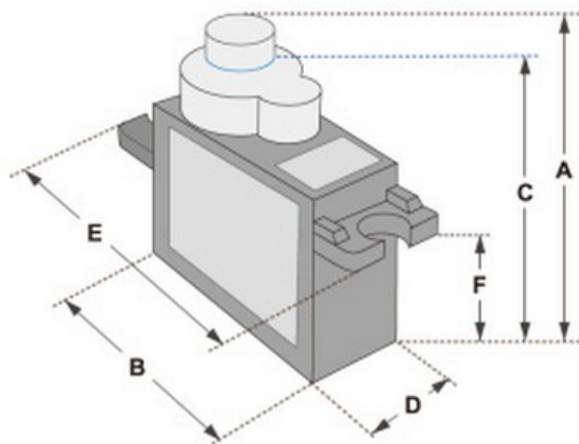
Raspberry Pi guarantee availability of CM1, CM3 and CM3 Lite until at least January 2023.

12 Support

For support please see the hardware documentation section of the Raspberry Pi website and post questions to the Raspberry Pi forum.

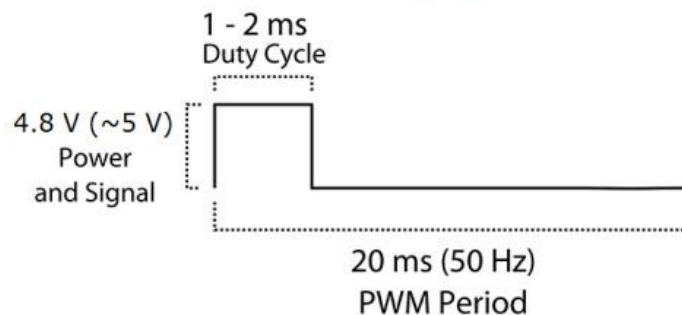
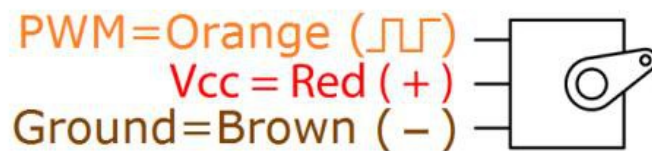


Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but smaller. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.



Dimensions & Specifications
A (mm) : 32
B (mm) : 23
C (mm) : 28.5
D (mm) : 12
E (mm) : 32
F (mm) : 19.5
Speed (sec) : 0.1
Torque (kg-cm) : 2.5
Weight (g) : 14.7
Voltage : 4.8 - 6

Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2ms pulse) is middle, is all the way to the right, "-90" (~1ms pulse) is all the way to the left.



Light Dependent Resistor - LDR

Two cadmium sulphide(cds) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.



Applications

Photoconductive cells are used in many different types of circuits and applications.

Analog Applications

- Camera Exposure Control
- Auto Slide Focus - dual cell
- Photocopy Machines - density of toner
- Colorimetric Test Equipment
- Densitometer
- Electronic Scales - dual cell
- Automatic Gain Control – modulated light source
- Automated Rear View Mirror

Digital Applications

- Automatic Headlight Dimmer
- Night Light Control
- Oil Burner Flame Out
- Street Light Control
- Absence / Presence (beam breaker)
- Position Sensor

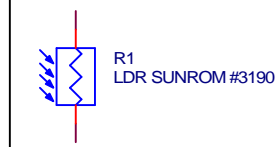
Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Cell resistance	1000 LUX	-	400	-	Ohm
	10 LUX	-	9	-	K Ohm
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise Time	1000 LUX	-	2.8	-	ms
	10 LUX	-	18	-	ms
Fall Time	1000 LUX	-	48	-	ms
	10 LUX	-	120	-	ms
Voltage AC/DC Peak		-	-	320	V max
Current		-	-	75	mA max
Power Dissipation				100	mW max
Operating Temperature		-60	-	+75	Deg. C

Guide to source illuminations

Light source Illumination	LUX
Moonlight	0.1
60W Bulb at 1m	50
1W MES Bulb at 0.1m	100
Fluorescent Lighting	500
Bright Sunlight	30,000

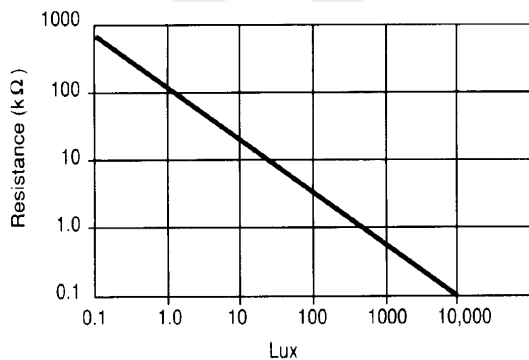
FIGURE 1 CIRCUIT SYMBOL



Sensitivity

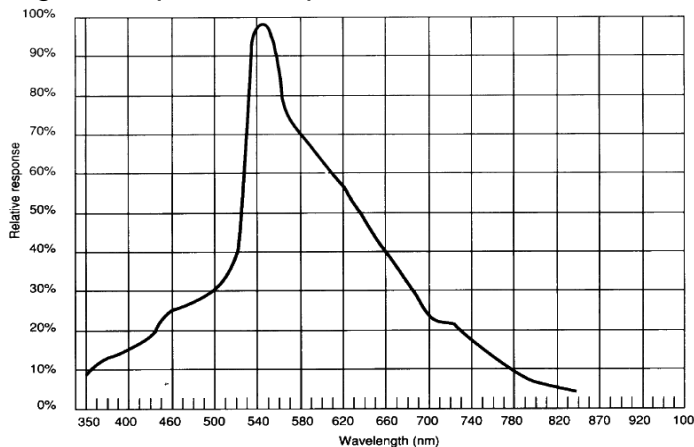
The sensitivity of a photodetector is the relationship between the light falling on the device and the resulting output signal. In the case of a photocell, one is dealing with the relationship between the incident light and the corresponding resistance of the cell.

FIGURE 2 RESISTANCE AS FUNCTION OF ILLUMINATION



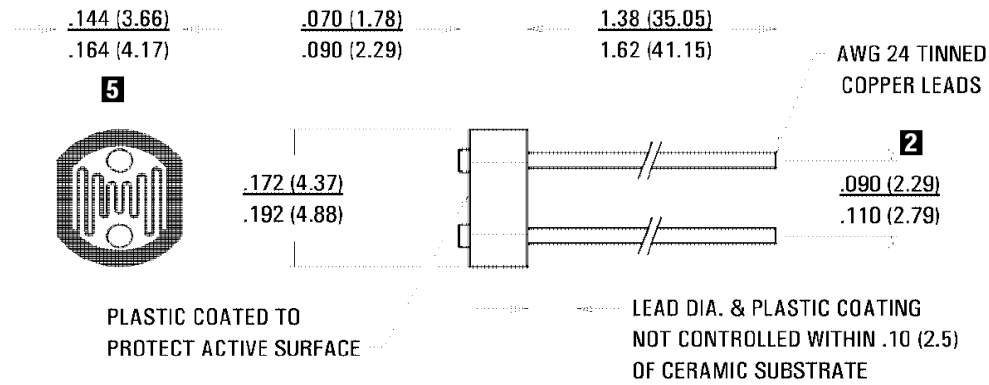
Spectral Response

Figure 3 Spectral response



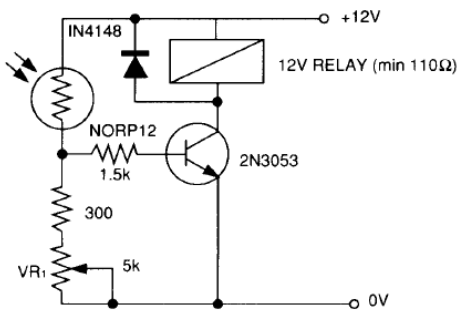
Like the human eye, the relative sensitivity of a photoconductive cell is dependent on the wavelength (color) of the incident light. Each photoconductor material type has its own unique spectral response curve or plot of the relative response of the photocell versus wavelength of light.

Dimensions



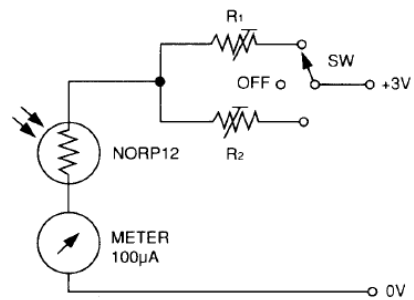
Typical Application Circuits

Figure 6 Sensitive light operated relay



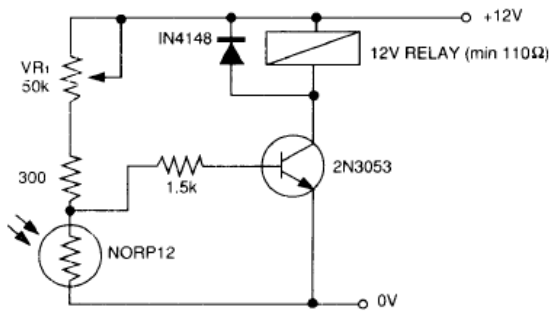
Relay energised when light level increases above the level set by VR₁

Figure 9 Logarithmic law photographic light meter



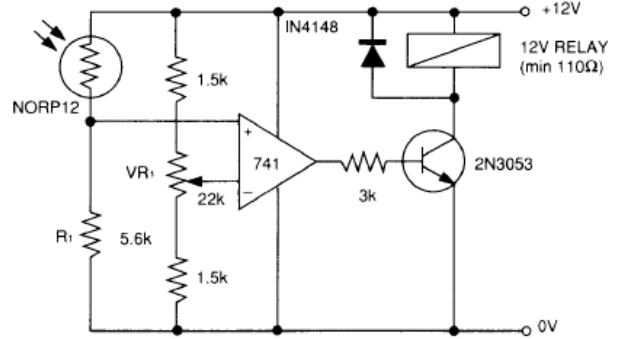
Typical value R¹ = 100kΩ
 R² = 200kΩ preset to give two overlapping ranges.
 (Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 7 Light interruption detector



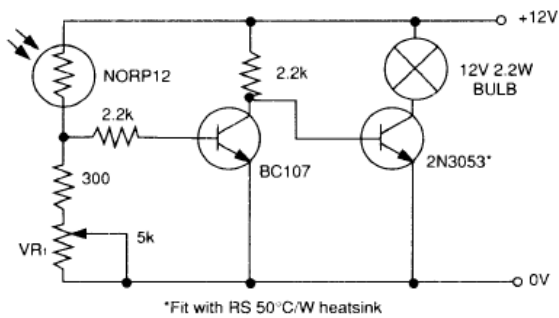
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR_1

Figure 10 Extremely sensitive light operated relay



(Relay energised when light exceeds preset level.)
Incorporates a balancing bridge and op-amp. R_1 and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

Figure 8 Automatic light circuit



*Fit with RS 50°C/W heatsink