

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTONOM GÜNEŞ PANELİ YÖNLENDİRME  
SİSTEMİ**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Mehmet SÜTCÜOĞLU

**FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Elektronik Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Lâle ÖZYILMAZ(YTÜ)**

**İSTANBUL, 2011**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ .....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ .....	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatürde Yer Alan Benzer Konularda Yapılmış Çalışmalar.....	2
1.2 Güneş Panellerinden Elektrik Enerjisi Üretimi Konusunda Çeşitli Uygulamalar...	4
2. DONANIM .....	7
2.1 Tasarlanan Sisteme Ait Donanımın Blok Diyagramı .....	8
2.2 Güneş Pili .....	11
2.3 Pusula Modülü .....	14
2.4 Mikrodenetleyici Birimi .....	18
2.5 Adım Motorları .....	21
2.6 GPS Modül .....	25
3. YAZILIM .....	27
3.1 Tasarlanan Sistemin Yazılımına Ait Akış Diyagramı .....	28
3.2 Programın Ana Döngüsüne Ait Akış Diyagramı.....	29
3.3 Pusula Modülüne Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı .....	31
3.4 Yatay Eksen Hareketine Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı .....	33
3.5 GPS Modülüne Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı .....	35
3.6 Düşey Eksen Hareketine Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı .....	39
3.7 Analog Sayısal Dönüştürücüye Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı .....	41
3.8 Düşey ve Yatay Eksen Hareketine Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı ....	43
4. SONUÇ.....	46
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	49

## KISALTIMA LİSTESİ

TW	Terawatt
GW	Gigawatt
PV	Photovoltaic
GPS	Global Positioning System
MPPT	Maximum Peak Power Tracking
LDR	Light Dependent Resistor
DC	Direct Current
SEPIC	Single Ended Primary Inductor Converter
FSM	Finite State Machine
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
PVT	Position Time Velocity
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
RF	Radio Frequency
MHz	MegaHertz
V	Volt
mA	Miliampere
ADC	Analog Digital Converter
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
TSIP	Trimble Standart Interface Protocol
TAIP	Trimble ASCII Interface Protocol
NMEA	National Marine Electronics Association
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
$\mu$ T	Micro Tesla
MB	Mega Byte
DC	Direct Current
RISC	Reduced Instrucion Set Computing
RTC	Real Time Clock

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Tek eksenli sabit konumlandırılmalı güneşi takip eden sistem.....	2
Şekil 1.2	Işığa duyarlı direnç sensörler ile tasarlanan sistemin blok diyagramı. ....	3
Şekil 1.3	Öngörülen SEPIC türü dönüştürücüye ait devre topolojisi.....	4
Şekil 1.4	Sokak aydınlatmasında güneş paneli kullanımı. ....	5
Şekil 1.5	Çok sayıda güneş panelinin bir araya gelmesiyle oluşan güneş tarlası. ....	6
Şekil 2.1	Tasarlanan sistemin donanımsal bütünlüğünün sağlanmış olan son hali.....	8
Şekil 2.2	Tasarlanan sisteme ait donanımın blok diyagramı.....	10
Şekil 2.3	Elektron – boşluk çiftinin meydana gelmesi.....	13
Şekil 2.4	Dijital Pusula Modülünün İç Yapısına Ait Devre Şeması. ....	15
Şekil 2.5	Dijital Pusula Modülünün Bacak Bağlantıları. ....	16
Şekil 2.6	Mikrodenetleyici biriminin içyapısına ait blok diyagramı.....	19
Şekil 2.7	Bipolar adım motorunun içyapısı.....	21
Şekil 2.8	Unipolar adım motorunun içyapısı. ....	22
Şekil 2.9	Unipolar adım motorunun kontrol yöntemleri. ....	23
Şekil 2.10	Unipolar adım motor kontrol devresine ait devre şeması. ....	24
Şekil 2.11	Trimble Lassen IQ GPS donanımına ait blok diyagramı.....	26
Şekil 3.1	Programın ana döngüsü öncesinde yapılan koşullamalara ait akış diyagramı..	29
Şekil 3.2	Sistem yazılımının ana döngüsüne ait akış diyagramı.....	30
Şekil 3.3	Pusula modülüne ait program parçacığının akış diyagramı.....	32
Şekil 3.4	Yatay eksen adım motor kontrolüne ait fonksiyonun akış diyagramı. ....	34
Şekil 3.5	GPS modülüne ait fonksiyonun akış diyagramı.....	38
Şekil 3.6	Düşey eksen adım motor kontrolüne ait fonksiyonun akış diyagramı.....	40
Şekil 3.7	ADC fonksiyonuna ait akış diyagramı.....	42
Şekil 3.8	Düşey ve yatay eksen hareket fonksiyonuna ait akış diyagramı.....	44
Şekil 3.9	Düşey ve yatay eksen hareket fonksiyonuna ait akış diyagramının devamı....	45

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Türkiye’de toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı.....	14
Çizelge 2.2	Türkiye’de yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı. ....	14
Çizelge 2.3	Mikrodenetleyici tarafından dijital pusula modülüne gönderilen komutlar. ....	17
Çizelge 2.4	Dijital pusula modülü tarafından gönderilen durum bilgileri. ....	17
Çizelge 3.1	Lassen IQ GPS modül tarafından üretilen otomatik paketler. ....	36
Çizelge 3.2	Lassen IQ GPS modül ilk çalıştığında gönderilen paketler. ....	36

## ÖNSÖZ

Son yıllarda enerji sektöründe yaşanan gelişmeler, küresel ısınma ve neredeyse tükenen doğal kaynaklarla birlikte enerji tüketim miktarının artmış olmasıyla; bilim insanları yeni enerji kaynakları aramaya sürüklenmiştir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisinin elde edilmesi işte bu gelişmeler doğrultusunda yaşanmıştır.

Ayrıca yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte günlük yaşantımıza baktığımızda artık hemen her yerde akıllı bir sistemin ya da cihazın hayatımızın bir parçası olma yolunda ilerlediği görülmektedir.

Bu çalışmada akıllı bir sistem tarafından yönetilen ve otonom hareket eden bir güneş paneli yönlendirme sistemi tasarlanmıştır. İnsan vücudundan esinlenerek beyin, duyu organları, hareket sistemi yerine sırası ile bir mikrodenetleyici; güneş paneli, GPS ve pusula çevrebirimleri ile adım motorlar kullanarak bu sistem hayata geçirilmiştir.

Bahsetmiş olduğum çalışmamın her aşamasında göstermiş olduğu ilgi, alaka ve sabırdan ötürü öncelikle danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Lâle ÖZYILMAZ' a; benden her türlü maddi, manevi hiçbir desteği esirgemeyen aileme ve ev arkadaşlarım Emre KURT ve Özgür ÇAPAROĞLU' na teşekkür eder; saygılarımı sunarım.

Ocak 2011

## ÖZET

Günümüzde küresel ısınma ve hızla azalan doğal kaynaklar nedeniyle elektrik enerjisi üretiminde güneş panelleri oldukça revaçtadır. Bu çalışmada kurulum esnasında oluşan yönlendirme hatalarının olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak ve güneş ışınlarından en yüksek verimi elde etmek amacı ile güneş panellerinin yönlendirilmesi incelenmiştir.

Güneş panellerinden elektrik enerjisi üretiminde en yüksek verim, panellere güneş ışınları 90 derecelik açı ile geldiğinde elde edilebilmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada güneş panelleri adım motorlar yardımı ile hareket ettirilmektedir. Bu hareketler bir mikrodenetleyici ile sürekli olarak güneş ışınlarından en yüksek verimi elde edecek şekilde gerçekleştirilmektedir.

Tasarlanan sistemin otonom olmasını sağlayan özellik ise GPS ve pusula çevre birimleridir. Böylece sistem dünya üzerinde nerede bulunduğunu, tarih ve saat bilgisini ve hangi yöne dönük olduğunu bilmektedir. Bu sayede herhangi bir kurulum ya da müdahale gerekmemektedir. Dolayısı ile sisteme hem otonom çalışma özelliği kazanırken hem de taşınabilirlik özelliği kazandırılmıştır.

Panelden alınan gerilim değeri mikrodenetleyici tarafından geri besleme bilgisi olarak kullanılmıştır. Böylece paneli sağa – sola ve/veya yukarı – aşağı hareket ettirerek sürekli olarak en yüksek verimi elde etmek amaçlanmıştır. Bu özelliklerinden dolayı sistem hem otonom hareket etmekte hem de güneş ışınlarından en yüksek verimle elektrik üretilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş panelleri, otonom kontrol sistemi, yenilenebilir enerji kaynakları, mikro kontrolörlü yönlendirme.

## **ABSTRACT**

Because of the global warming and dramatically reducing natural resources, solar panels become very popular to produce electric power nowadays. In this study, solar panels are investigated and aimed to remove the negative effect of the setting up position and to obtain the maximum efficiency from the sunlight.

The maximum efficiency of the electric power production with solar panels is obtained when the sunlight comes with 90 degree angle to surface of the panels. So, solar panels are moved with stepper motors in this study. These movements are made to obtain the maximum efficiency from the sunlight with a microcontroller.

Designed system is reacted as autonomous by the GPS and compass peripherals. Thus, the system knows the location on the earth, time, date and the direction. So that, there is no need to setup or an intervention. Therefore the system has gained mobility and autonomous working characteristic.

Current and voltage knowledge that is obtained by the panels, has used as a feedback information in the microcontroller. With these information, panels are moved right – left and/or up – down, and is aimed to gain maximum efficiency. Due to these characteristics the designed system both reacts as autonomous and produces the electric power with the maximum efficiency.

**Keywords:** Solar panels, autonomous control system, renewable energy resources, micro controlled redirectioning.



## 1. GİRİŞ

Güneş enerjisinin kullanımının önemi her geçen yıl biraz daha artmaktadır. Yirminci yüzyılda, dünya nüfusu 4 katına artarken enerji talebi 16 kat artmıştır. Günümüzde, 6,5 milyar insanın şu anki yaşam tarzını sürdürebilmesi için gerekli olan enerji miktarı, yaklaşık olarak 13 terawatt (TW)' tır. Yapılan ileriye dönük kestirime göre 2050 yılına gelindiğinde, insanoğlunun enerji talebi günümüze nazaran 10 terawatt daha fazla olacaktır. Bu ise şu anlama gelir; eğer küresel ısınmaya sebep olmaksızın enerji elde edilmek istenecek olursa, 2050'ye kadar her gün 1 gigawatt (GW)' lık nükleer enerji santrali kurmak gerekecek. Dünya üzerindeki toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli 2-4 TW civarında, hidroelektrik enerji kaynağı 0,5 TW, jeotermal enerji kaynağı 12 TW, gelgit ve okyanus akıntularından üretilebilecek enerji miktarı 2 TW ve dünya üzerinde kullanılacak güneş enerjisi miktarı ise 120000 TW dır (Kamat, 2007). Bu bilimsel veriler, güneş enerjisi kullanımının ne denli önemli olduğunu somut bir şekilde ortaya koymaktadır.

Güneş pili; ışığı doğrudan elektrik akımına dönüştüren fotovoltaik (PV) bir araçtır. Yarı iletken bir diyot olarak çalışan güneş hücresi, güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Güneş pili en basit anlamda eskiden beri kullandığımız hesap makineleri içerisinde bulunan ve güneşten enerjisini elektrik enerjisine çeviren pillerdir. Düşük ve yüksek voltajlı birçok uygulama için farklı güneş pilleri elektrik ihtiyacı bulunan her alanda kullanılabilir özelliğine sahiptir. Güneş paneli ise; birden fazla güneş pilinin seri ya da paralel bağlanması ile oluşur. Güneş panellerinden elde edilen enerji miktarı; panelin alanı, güneş ışığının geliş açısı, havanın nem oranı ve coğrafi konumdan etkilenmektedir (Messenger ve Ventre, 2003).

Dolayısıyla güneş panellerinden en yüksek verimi elde edebilmek için bu şartlar sağlanmalıdır. Yapılan bu çalışmada her türlü ortam etkisini devre dışı bırakarak otonom çalışan ve sürekli güneşi takip ederek en yüksek verimi elde etmeyi amaçlayan bir sistem geliştirilmiştir. Literatürde maksimum güç takibi ( Maximum Peak Power Tracking, MPPT) olarak yer alan konu incelenmiş ve bu konu üzerinde özgünlük değeri olarak sistemin otonom çalışması hedeflenmiştir.

Bu değer sistemin kendi başına hareket edebilmesi için gerekli olan her türlü bilgiyi sağlamak maksadı ile birçok çevre birimden yararlanılarak katılmaya çalışılmıştır. Böylece sistemin GPS modülü ile dünya üzerindeki konumunu ve tarih – saat bilgisine, pusula modülü ile o

anda panel(ler)in bakmış olduğu yön bilgisine, panellerden geri besleme bilgisi olarak alınan gerilim seviyesine sahip olması sağlanmıştır. Elde edilen bütün bu bilgiler bir mikrodnetleyici ve bu mikrodnetleyici üzerinde çalışan yazılım tarafından değerlendirilerek, yatay ve düşeydeki hareketlerin gerçekleştirilmesi için adım motorlara ilgili komutlar gönderilmektedir. Böylece sistem kurulum ya da yönlendirme gibi herhangi bir dış yardıma ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir.

### 1.1 Literatürde Yer Alan Benzer Konularda Yapılmış Çalışmalar

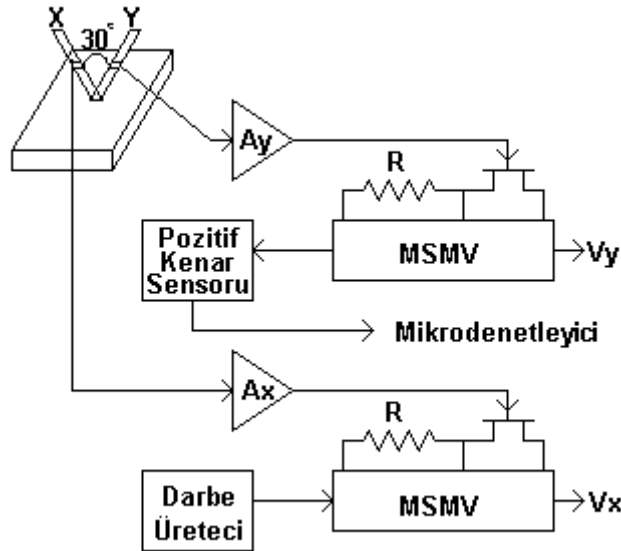
Bu çalışmaya başlamadan önce yapılmış olan literatür taramasında; üzerinde çalışılan konuya benzer çalışmalara da rastlanmıştır. Bu noktada karşılaşılan örnekler ile hazırlanmış olan çalışma arasında güneş panellerinden elektrik enerjisi üretiminin en verimli şekilde ve en yüksek düzeyde gerçekleştirilmeye çalışılması ortak nokta oluşturmaktadır. Yapılmış olan çalışmanın farklılaşmış olduğu nokta ve özgünlük değeri ise; tasarlanmış olan sistemin tamamen otonom çalışmasının, herhangi bir ilk kurulum ve yönlendirme yapmaya gereksinimi olmamasının, taşınabilir olmasının ve gemiler, canlı yayın araçları vb. taşıtlarda kullanılabilmesinin hedeflenmiş olmasıdır.

Literatür taraması sırasında karşılaşılan örnek çalışmalarda; yine mikrodnetleyici tabanlı ancak sabit bir konuma kurulumu gerçekleştirildikten sonra kendi başına yönlendirme yapabilen ve tek eksenli hareket yeteneği olan sisteme ait resmi Şekil 1.1' de yer alan yayına rastlanmıştır (Weissbach ve Aunkst, 2007) .



Şekil 1.1 Tek eksenli sabit konumlandırılmalı güneşi takip eden sistem.

Başka bir çalışmada ise yine sabit konumlandırılmalı ve kurulum gerektiren, mikrodenetleyici tabanlı, ışığa duyarlı direnç sensörler (LDR'ler) içeren bir yayımla karşılaşılmıştır (Koyuncu ve Balasubramanian, 1991). Bu yayında ışığa duyarlı direnç sensörler (LDR'ler) sayesinde sistem güneşi takip etmektedir. Bu çalışmada anlatılan sisteme ait diyagram Şekil 1.2' de yer almaktadır.



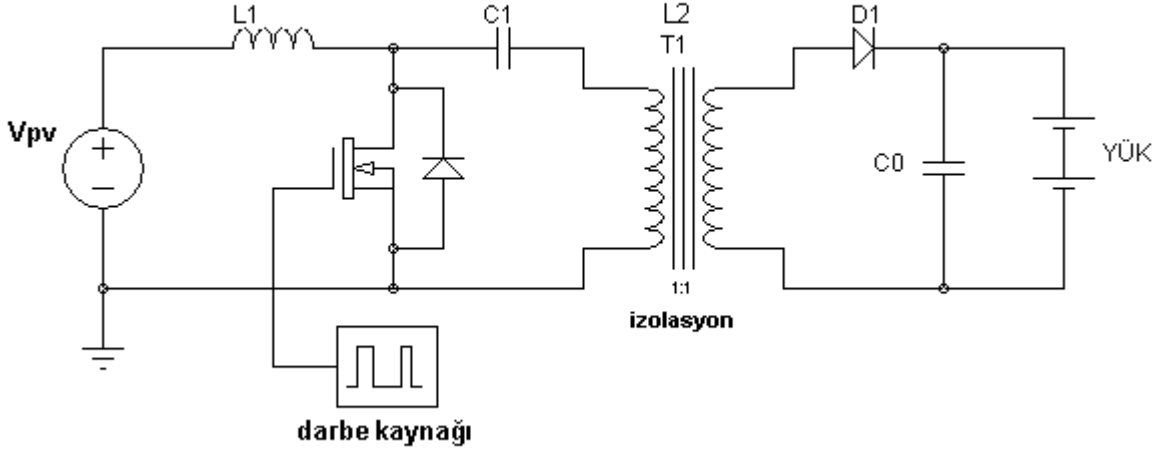
Şekil 1.2 Işığa duyarlı direnç sensörler ile tasarlanan sistemin blok diyagramı.

Diğer bir çalışmada ise; mikrodenetleyici tabanlı, hareketini DC motorlar aracılığı ile gerçekleştiren, bulanık mantık ve yapay sinir ağı algoritmaları kullanılan ve bu şekilde otomatik olarak güneş takibi yapan bir sistemden bahsedilmektedir (Huang vd., 1998).

Bu çalışmalardaki ortak nokta güneşi takip ederek verimi arttırmaya çalışmaktır. Bunun yanında farklı yöntemler geliştirilerek; elde edilen verimin arttırılmaya çalışıldığı da gözlenmiştir. Örneğin; Romanya'da yapılmış olan çalışmada, güneş takip sisteminin kontrol algoritmasında optimizasyon yaparak gün içerisinde panelden elde edilen elektrik enerjisinin en yüksek düzeyde olması hedeflenmiş. Sistemin bulunduğu enlem ve boylam bilgilerini, tarih ve saat bilgisi ile birlikte bir takım matematiksel hesaplamalar gerçekleştirilerek sistemin hangi yöne ve hangi hassasiyette adımlar atacağına karar veren bir algoritma geliştirilmiştir (Marinescu D. ve Marinescu C., 2006) .

Farklı bir yöntemle başvurulmuş olan çalışmada ise; Hindistan'da güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisini SEPIC türü bir dönüştürücüden geçirerek, bu dönüştürücünün çıkışından almış oldukları değerlere göre sistemin hareket etmesini öngören bir yaklaşımda

bulunulmuş (Darla, 2007). Bu yaklaşıma ait SEPIC türü bir dönüştürücü için Şekil 1.3' teki devre topolojisi önerilmiştir.



Şekil 1.3 Öngörülen SEPIC türü dönüştürücüye ait devre topolojisi.

Bu yayımların dışında yine literatürde sayısız çalışmaya rastlamak mümkündür. Ancak içerdiği benzerlikler açısından ve bu çalışmaya ışık tutmuş olması açısından kısaca birkaç yayıma daha değinilmiştir. Bu referans çalışmalardan bir tanesinde güneş panellerinin güneşi takip etmesi esnasında önüne gelen herhangi bir engel karşısında ne şekilde davranacağını belirtmek ve bu gölge etkisinden kurtulmak için nasıl bir yöntem izlendiği anlatılmaktadır (Rumala, 1986). Alman Güneş Enerjisi Topluluğu tarafından yapılan yayımda ise güneş panelleri ile ilgili çeşitli geliştirme ve tasarım faaliyetleri esnasında hangi unsurların göz önünde bulundurulması gerektiğine, kurulum ve yönlendirme aşamalarında hangi faktörlerin dikkate alınacağına değinilmiştir (German Solar Energy Society, 2007). Yine bir diğer çalışmada daha önce gerçekleştirilmiş olan bir güneş paneli takip sistemi ile çeşitli incelemeler yapılmış, bu incelemelere ait elde edilen sonuçlar olumlu ve olumsuz yönleri ile ortaya konmuş ve sonraki çalışmalara yol göstermesi açısından karşılaşılan sıkıntılar ve dikkat edilmesi gereken konulara değinilmiştir (Hessian ve Bonwick, 1984).

## 1.2 Güneş Panellerinden Elektrik Enerjisi Üretimi Konusunda Çeşitli Uygulamalar

Güneş panellerinin daha kolay ulaşılabilir ve maliyet konusunda fiyatlarının önceki yıllara oranla azalmış olmasından ötürü çevremizde hemen birçok yerde çok çeşitli güneş paneli uygulamaları görülmektedir. Bina içi ya da dışı aydınlatma sistemlerinde, Şekil 1.4' te sokak

aydınlatmalarında, karayollarında uyarı ve işaretlerin aydınlatmasında, trafik ışıklarında elektrik enerjisi kaynağı olarak; dağ evleri ya da yerleşim merkezlerinden uzaktaki evlerde çeşitli elektronik cihazları çalıştırmak maksadı ile; tarımsal sulama amacı ile tarım alanlarındaki su pompalarına enerji sağlamada; yer ve uydu istasyonlarında, orman gözetleme kulelerinde, meteoroloji istasyonlarında, doğal afet ve gözlem merkezlerinde, otomobil vb. ulaşım araçlarında, baz istasyonu ya da radyo vericisi gibi haberleşme sistemlerinde, ilk yardım ve alarm güvenlik sistemlerindeki donanımlara enerji sağlamak için güneş panelleri kullanılarak; bu panellerden elektrik enerjisi üretimi konusu çok çeşitli uygulama alanları bulmuştur.



Şekil 1.4 Sokak aydınlatmasında güneş paneli kullanımı.

Çok sayıda güneş panelinden oluşan ve Şekil 1.5’ te görülmekte olan; güneş tarlaları adı verilen yapılar da yerleşim merkezlerine dağıtılan elektrik enerjisini sağlamakta ve ev kullanıcılarının enerji ihtiyaçlarını karşılamak maksadıyla yurt dışında yönetimler bazında teşvik edilmekte ve oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde ise bu durumun fark edilmesi biraz geç de olsa anlaşılmış ve resmi gazetede de yayımlanan kanun ile yürürlüğe girmiştir (Kanun No: 5346, 2005).



Şekil 1.5 Çok sayıda güneş panelinin bir araya gelmesiyle oluşan güneş tarlası.

Bütün bu bilinen kullanım alanlarının dışında artık güneş panelleri ile dış cepheleri kaplanmış daha çevreci mimari eserler görülmektedir. Hatta binaların dış cephe kaplaması olarak güneş panellerinin kullanılması konusunda da literatürde yayımlanmış makalelere rastlamak mümkündür (Çelebi, 2002).

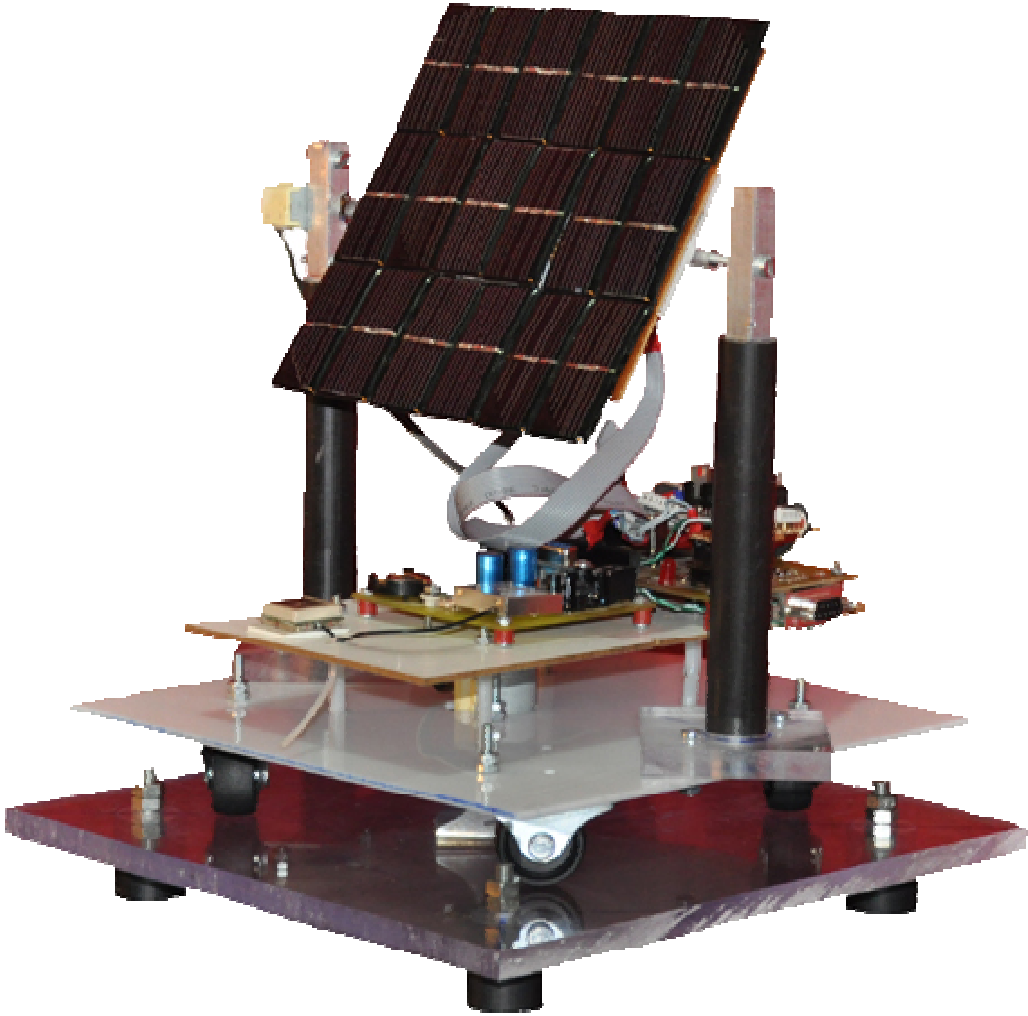


## 2. DONANIM

Tasarlanan sisteme ait donanımsal parçalar, sistemin blok diyagramı, modüllere ve sistemin donanım yapısına ait devre şemaları bu bölümde detaylı olarak anlatılacaktır. Güneş paneli olarak 1,5 V - 100 mA' lik güneş pilleri kullanılmıştır. 18 adet güneş pili ile 2' şerli olarak seri bağlantı oluşturulmuş ve 3V – 100 mA' lik 9 adet güneş pili elde edilmiştir. Sistemde panelin hangi yöne dönük olduğunu merkezi birime bildirmesi amacı ile bir pusula modülü bulunmaktadır. Detaylı işlevi daha sonra anlatılacak olan modül; Hitachi firmasının iki eksenli Elektro Manyetik Alan Sensörü, HM55B entegresidir. Merkezi birimle seri haberleşme gerçekleştirerek sayısal olarak veriyi merkezi birime göndermektedir. Merkezi birim olarak Renesas firmasının M32C/83 serisinden M308033FJGP kodlu mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyici 16 MHz saat frekansında çalıştırılmıştır. Sistemin yatayda ve düşeydeki hareketlerini gerçekleştirebilmesi amacı ile mikrodenetleyici tarafından gönderilen komutlar ile iki adet redüktörlü adım motor kontrol edilmektedir. Bu adım motorlar yaklaşık 5.625°' lik adımlar atabilen unipolar motorlardır. Panelin ağırlığını ve sistemin ağırlığını taşıyabilmesi adına belirli bir tork oluşturabilmek ve sistemin hareketinin daha kararlı olmasını sağlamak amacı ile redüktörlü adım motorlar tercih edilmiştir. Ayrıca redüktörlü adım motor kullanılmasından dolayı dişlilerin oranı sayesinde daha küçük adımlar atarak daha hassas hareket etmesi sağlanmıştır. Tasarımdaki diğer bir devre bileşeni ise GPS modülüdür. Bu bileşen Trimble firmasına ait Lassen IQ modeli olup; çok düşük güç tüketimine ve yüksek hassasiyete sahip bir modüldür. Tasarımda tercih edilmesinin sebebi hassasiyetinden ziyade düşük güç tüketimli bir donanım bileşeni olmasıdır. Mikrodenetleyiciye tarih, saat ve küresel koordinatları (enlem ve boylam) bildirmektedir. Gerçeklenen çalışmanın bu aşamasında sistem için gerekli olan enerji harici bir kaynaktan sağlanmakta olup; bir sonraki safhada tasarıma, bir dönüştürücü ve şarj ünitesi ilave edilerek pil ya da akü türevi bir kaynakla çalıştırılması hedeflenmektedir. Gerçeklenen sistemde mikrodenetleyiciye; pusula modülü yön bilgisini; GPS modülü tarih, saat ve koordinatları; paneller ise geri besleme bilgisi olarak o anki enerji üretimini ve bir sonraki yönlenme için gerekli konum hakkında referans bilgisi sunmaktadır. Böylece mikrodenetleyici adım motorları hareket ettirerek panelin daha iyi bir yönlenme açısına sahip olmasını sağlamaktadır. Şayet mikrodenetleyici yaptığı hesaplar sonrasında, o anda panelin konumunun en yüksek verimin elde edildiği durum olduğuna karar verirse, enerji üretimini en yüksek seviyede tutmak için motorlara herhangi bir komut göndermez ve dönmelerini engeller. Sistemin donanım bileşenlerinin kontrolü bu şekilde gerçekleşmiştir.

Gerçeklenen çalışmada düşey eksen hareketini gerçekleştiren step motor güneş panelini taşıyan desteklerden birinin üzerine yerleştirilmiştir. Yatay eksen hareketini gerçekleştiren step motor ise sistemin yerleştirildiği zeminin merkezine alt taraftan yerleştirilmiştir. Sistemin ağırlığına maruz kalan yatay eksen hareketini gerçekleştiren step motora yardımcı olması nedeni ile dört adet tekerlek ağırlık merkezi sistemin zemininin merkezi olacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylece yatay eksen step motorunun daha az güç tüketmesi sağlanmıştır.

Tasarlanan sistemin donanım elemanlarının birleştirildikten sonra sistemin çalışmasının sağlanmış olduğu son hali Şekil 2.1' de yer almaktadır.



Şekil 2.1 Tasarlanan sistemin donanımsal bütünlüğünün sağlanmış olan son hali.

## 2.1 Tasarlanan Sisteme Ait Donanımın Blok Diyagramı

Tasarlanmış olan sistem beş ana bloktan oluşmaktadır. Bu bloklar; merkezi kontrol birimi,



güneş paneli, motor kontrol bloğu, sayısal pusula modülü ve GPS modülü isimleri ile bahsedilmişlerdir.

Merkezi kontrol biriminde mikrodenetleyici ve mikrodenetleyicinin çevre birimler ile haberleşmesini sağlayan çeşitli arabirimler bulunmaktadır. Ayrıca bu birimde mikrodenetleyicinin çalışabilmesi için gerekli olan kristal devresi, reset devresi, besleme gerilimi ve toprak hattı yer almaktadır.

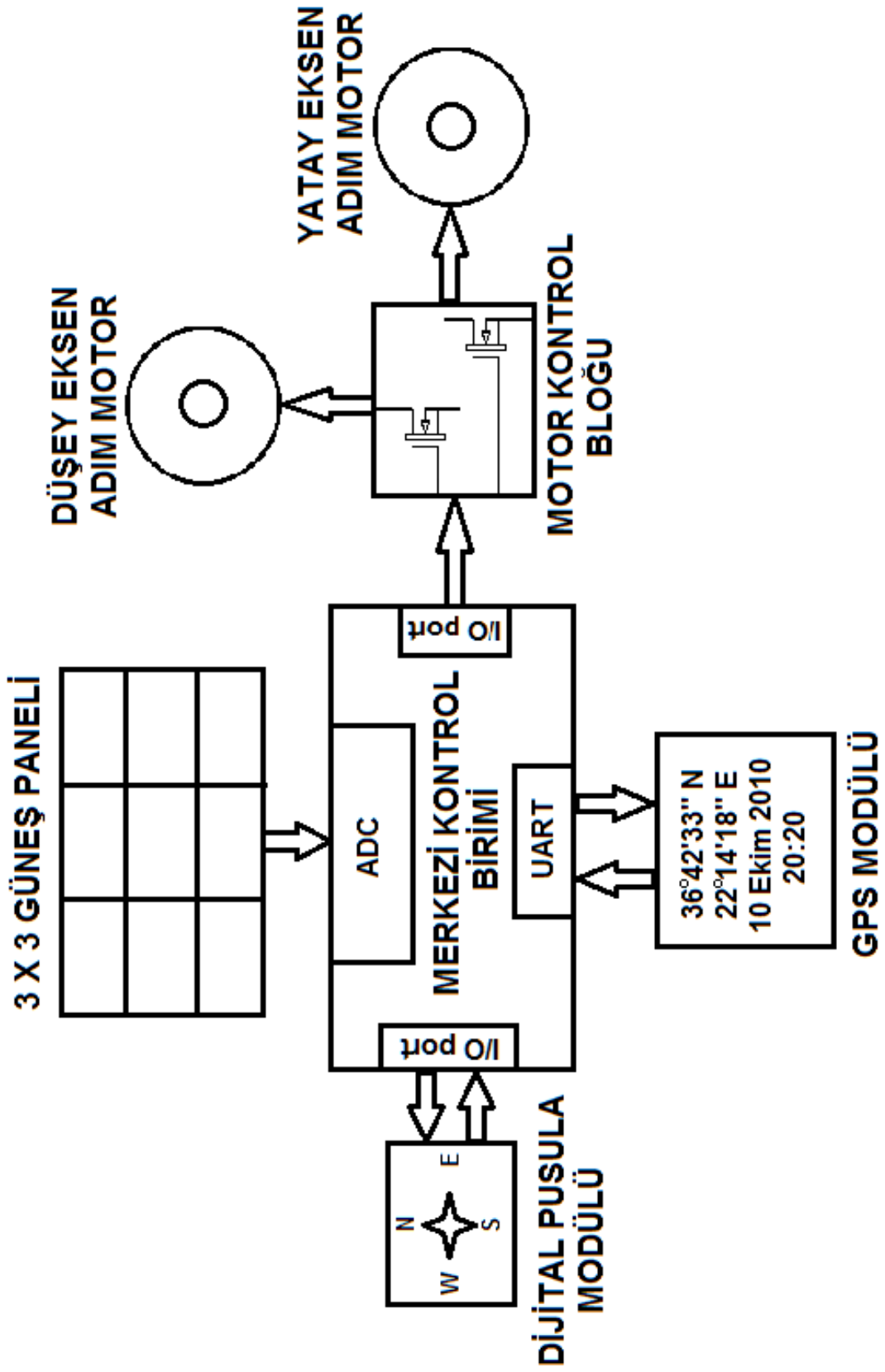
Güneş paneli gerçekleştirirken, 3 satır ve 3 sütundan ibaret 9 elemanlık bir matris yapısı oluşturulmuştur. Her bir eleman 3 V – 100 mA' lik hücrelerden oluşturulmuştur. Hücreler mikrodenetleyicinin, analog sayısal dönüştürücü (ADC) birimine bağlanmıştır. Bu şekilde hücrelerin gerilim değerleri ölçülmüştür.

Motor kontrol bloğu adım motorların kontrol işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla n tipi MOSFET transistörlerle gerçekleştirilmiştir. Mikrodenetleyicinin 3. portundaki her bir pin bu transistörlerin tetiklenmesinde kullanılmıştır. Böylece tetiklenen transistörler ile yatay ve düşey eksenin hareketleri unipolar adım motorlar aracılığı ile sağlanmıştır.

Sayısal pusula modülü, mikrodenetleyicinin bir sayısal giriş – çıkış portundaki pinlerden 4 tanesi kullanılarak bağlanmıştır. Bu bağlantı aracılığı ile mikrodenetleyiciden gelen komutlar algılanarak, komutların cevaplarının mikrodenetleyiciye gönderilmesi sağlanmıştır. Bu işlem asenkron seri veri haberleşmesi kullanılarak yön bilgisini tayin etmek için gerçekleştirilmiştir.

GPS modülünün, merkezi kontrol birimi üzerinde bulunan seri kanal (RS232) ile bağlantısı oluşturularak, mikrodenetleyici ile haberleşmesi sağlanmıştır. TSIP, TAIP, NMEA gibi protokoller kullanan GPS modülü, haberleşme kanalı aracılığı ile, bu formatlardan herhangi biri seçilerek mikrodenetleyiciye, sistemin o anda dünya üzerinde hangi koordinatlarda yer aldığını, tarih, zaman ve hız gibi bir takım bilgilerin sağlanması amacıyla kullanılmıştır.

Bu blokların ve bloklardaki donanımların detaylı işlevleri ileriki bölümlerde ayrı ayrı anlatılmıştır. Şekil 2.2' de tasarlanan sisteme ait donanımın blok diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2.2 Tasarlanan sisteme ait donanımın blok diyagramı.

## 2.2 Güneş Pili

Güneş pilleri, birden fazla isimle anılmaktadırlar. Güneş pili, güneş paneli, fotovoltaiik panel en çok kullanılan isimlerdir. Güneş pillerinin işlevi güneş kollektörlerinden farklıdır. Kollektörlerde, güneşten gelen termik enerji toplanarak aktif veya pasif olabilen bir transfer sıvıya aktarılır. Bu sistemler genelde sıcak su elde etmek amacı ile kullanılmaktadır. Güneş pillerinin işlevi ise fotovoltaiiktir. Güneş pilleri (fotovoltaiik piller), yüzeilerine gelen güneş ışığını (foton) doğrudan elektriğe dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Güneş pilleri genelde Monokristalin, Polikristalin veya CIS olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Güneş pillerinin üretiminde hammadde olarak yarı iletken olan silisyum kullanılır. Silisyum hammadde olarak dünyada sınırsız sayılabilir, yalnız güneş pillerinin üretimi için gereken saf silisyum yeterince üretilmemektedir. Silisyum şu an tüm elektronik ürünlerde kullanıldığından, üretim miktarları mevcut talebi karşılayamamaktadır ve sınırlı sayıda firma saf silisyum üretme kapasitesinde ve bilgisindedir.

Monokristalin güneş pilleri %20 verimlilik kapasitesindedir. Kalite ve verimlilik açısından monokristalin güneş pilleri en iyileridir ama üretimi teknik ve zaman açısından uzun sürdüğü için maliyet açısından pahalıdırlar. Monokristalin demek, tüm maddenin tek kristalinden oluşması ve materyalin atom yapısının homojen olması demektir. Polikristalin güneş pilleri %16 verimlilik kapasitesindedir. Kalite ve verimlilik açısından polikristalin güneş pilleri monokristalin olanlar kadar iyi olmasa bile en fazla üretilen türlerdir, çünkü maliyeti daha düşük ve verimlilik/maliyet oranı hayli yüksektir. Polikristalin demek materyalin monokristaline göre tek kristalinden oluşmaması ve homojen olmaması demektir. CIS hücreler, ince tabakalı güneş pillerindedir. Klasik güneş pilleri (monokristalin veya polikristalin tabakalı hücreler) 180-350 µm kalınlıktadır. CIS olanlar ise 5 µm kalınlıktadır. Düşük olan tabaka kalınlıkları nedeniyle maliyetleri çok düşüktür. Bunun beraberinde verimliliği %10' a kadar olması birçok açıdan avantajlıdır. CIS hücreler ayrıca ışığın bant genişliğinin büyük bölümünü kullanabildiği için kötü hava koşullarında bile istikrarlıdır.

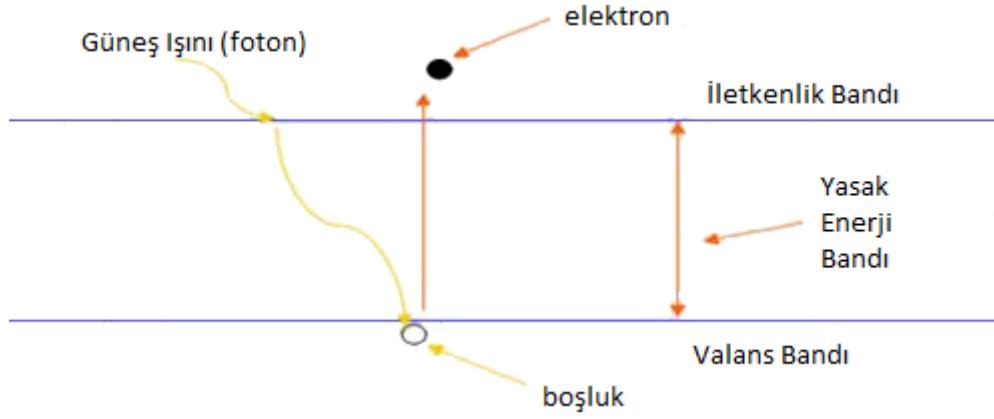
Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir.

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü

olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır.

P ya da n tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarıiletken eklemler oluşturulur. N tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende delikler çoğunluk taşıyıcılarıdır. P ve n tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani p tipinde negatif enerji seviyeleri ile delik sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarıiletken eklemine güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-delik çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.

Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar, valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-delik çifti oluşur. Bu olay, pn eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-delik çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, delikleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-delik çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-delik çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar. Şekil 2.3' te bir güneş pilinin yüzeyine bir foton çarpması ile oluşan elektron ve delik çifti ile valans bandı, iletkenlik bandı ve yasak enerji bandlarının yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3 Elektron – boşluk çiftinin meydana gelmesi.

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyar MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü' nde (DMI) mevcut bulunan veriler 1966-1982 yılları arasında güneşlenme süresinin ve ışınım şiddetinin ölçülmesi ile elde edilmiştir. Elde edilmiş olan bu verilerden yararlanılarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), yıllık ortalama ışınım şiddetinin 1.311 KWh/m<sup>2</sup> (günlük toplam 3,6 KWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 KWh' lik güneş enerjisi üretebilir (Şen, 2004). Çizelge 2.1' de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aylara göre dağılımı verilmiştir. Bu çizelgeye göre elde edilebilecek olan enerjinin ve güneşlenme süresinin en yüksek düzeyde olduğu dönemlerin yaz mevsiminde ve Haziran – Temmuz - Ağustos aylarında olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 2.1 Türkiye’de toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı.

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
<b>Toplam</b>	<b>112,74</b>	<b>1311,00</b>	<b>2640</b>
<b>Ortalama</b>	<b>308,0 cal/cm<sup>2</sup>-gün</b>	<b>3,6 kWh/m<sup>2</sup>-gün</b>	<b>7,2 saat/gün</b>

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Çizelge 2.2’ de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

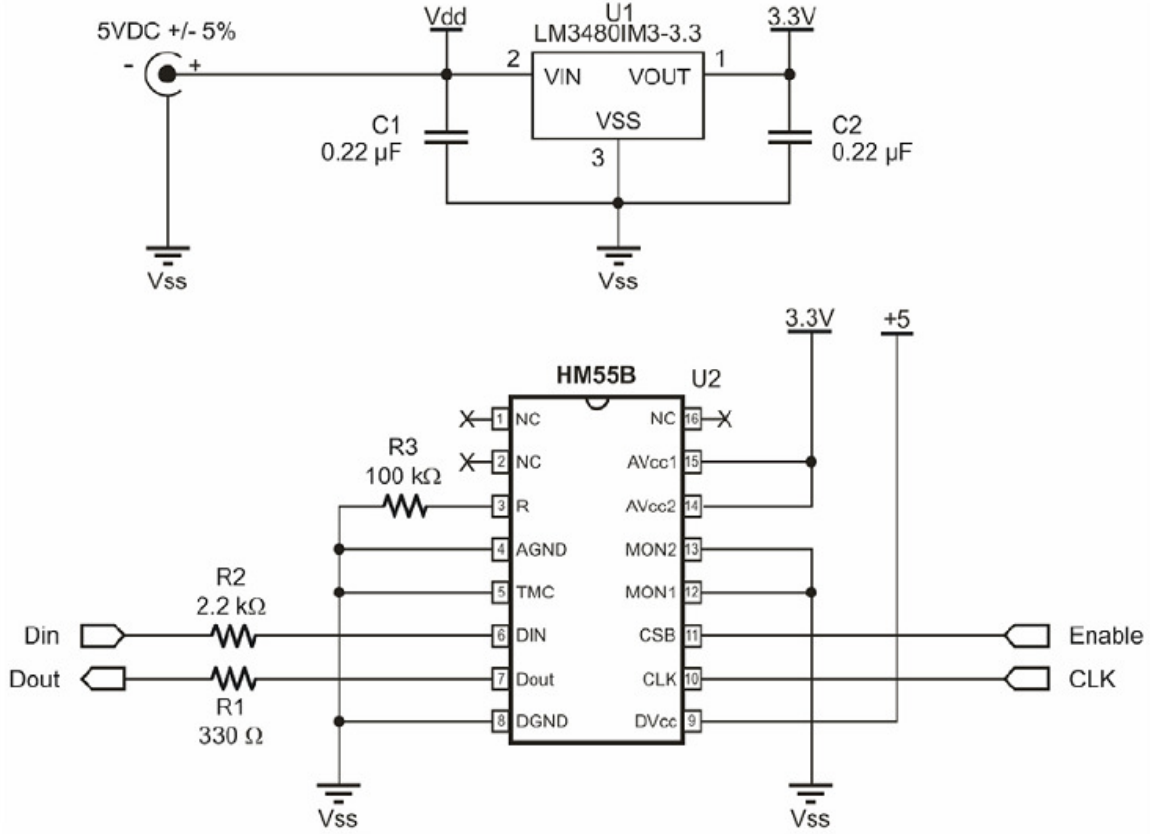
Çizelge 2.2 Türkiye’de yıllık güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En Az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m <sup>2</sup> - yıl	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

### 2.3 Pusula Modülü

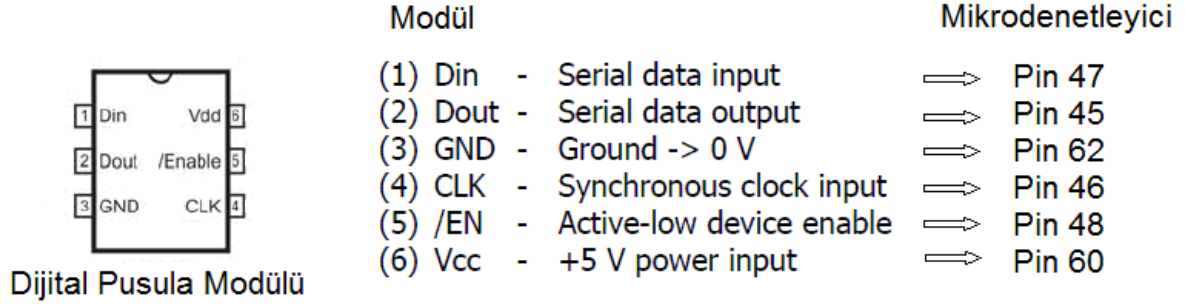
Gerçeklenen çalışmada, dijital pusula modülü güneş panelinin hangi yöne dönük olduğunu belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu modül Hitachi firması tarafından üretilmiş olan iki eksenli manyetik alan sensörü özelliğine sahip HM55B çipi kullanılarak; Parallax firması

tarafından ürün haline getirilmiştir. Şekil 2.4' teki dijital pusula modülünün iç yapısına ait devre şemasında da görüldüğü üzere 3.3 V' luk çıkış gerilimine sahip bir gerilim regülatörü ve koruma direnci ile HM55B; 5 V' luk standart mikrodenetleyiciler ile kullanılabilir hale getirilmiştir.



Şekil 2.4 Dijital Pusula Modülünün İç Yapısına Ait Devre Şeması.

Böylece tümleşik devrenin pinlerindeki sinyal seviyesi 3.3 V olmasına rağmen elektriksel olarak sinyal seviyelerinde dönüştürme yapılarak modül 5 V' luk sinyal seviyesine sahip olmuştur. İç bağlantıları ve elektriksel koşullandırmaları modül içerisinde gerçekleştirilerek dijital pusula modülü sadece 6 adet bacak bağlantısına sahip hale getirilmiş ve tasarımlarda modüler olarak kullanılabilmesi için basitleştirilmiştir. Mikrodenetleyici ile asenkron seri haberleşme ile veri alış verişinde bulunmaktadır.  $\mu$ T mertebesindeki manyetik alan hassasiyetine sahip olmakla birlikte; kalibrasyonu yapıldıktan sonra yaklaşık 30 – 40 ms içerisinde yönü belirleyebilmektedir. Şekil 2.5' te pusula modülüne ait 6 bacaklı yapının pinleri, bu pinlerin işlevleri ve ana kart üzerinde bulunan mikrodenetleyicinin hangi pinlerine bağlandığı yer almaktadır.



Şekil 2.5 Dijital Pusula Modülünün Bacak Bağlantıları.

Modülün 1 numaralı pini, mikrodenetleyicinin 47 numaralı pinine bağlanmıştır. Bu pin seri veri giriş pini olup mikrodenetleyiciden sayısal olarak seri bir formatta gönderilen; ölçüme başla, reset vb. komutların modül tarafından algılanması amacıyla kullanılmıştır. Modülde bulunan 2 numaralı pin, mikrodenetleyicinin 45 numaralı pinine bağlanmıştır. Bu pin seri veri çıkış pinidir ve mikrodenetleyici tarafından başlatılan ölçüm tamamlandıktan sonra; ölçüm işleminin başarılı olup olmadığı bilgisini ya da ölçüm sonucunun değerini yine seri bir formatta mikrodenetleyiciye göndermesi amacıyla kullanılmıştır. Modüle ait 3 numaralı pin sayısal olarak toprak pinidir ve mikrodenetleyicinin 62 numaralı pinine bağlanarak modülün toprakla olan bağlantısı sağlanmıştır. Modülün 4 numaralı pini mikrodenetleyicinin 46 numaralı pinine bağlanmış olup, asenkron seri haberleşme için gerekli olan saat işaretinin modüle giriş yaparak, mikrodenetleyici tarafından seri olarak gönderilen sayısal komutun değerlendirilmesini sağlamaktadır. Modüldeki 5 numaralı pin mikrodenetleyicinin 48 numaralı pinine bağlanmıştır. Bu bağlantı aracılığı ile mikrodenetleyici tarafından gönderilen sinyal ile pusula modülünün aktifleştirilmesi ya da devre dışı bırakılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Pusula modülüne ait 6. pin mikrodenetleyicinin 60 numaralı pinine bağlanmış ve modülün çalışması için gerekli olan besleme geriliminin modüle ulaştırılması amacıyla 5 V sinyali ile birleştirilmiştir.

Bacak bağlantıları uygun şekilde gerçekleştirilen pusula modülünün, mikrodenetleyici ile asenkron seri veri haberleşmesi gerçekleştirilerek çeşitli komutlar aracılığı ile işlevini gerçekleştirme sağlanmıştır. Mikrodenetleyici tarafından gönderilen komutlar Çizelge 2.3' te yer almaktadır. Bu komutlardan birincisi; aygıtın işlevini düzgün gerçekleştirmediğine dair bir hatanın mikrodenetleyici tarafından algılanması durumunda ya da sistemin ilk çalışması esnasında pusula modülüne gönderilir. İkinci komut sistem çalışmaya başladıktan sonra kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından artık ölçüm işleminin başlatılması



amacıyla mikrodenetleyici tarafından modüle gönderilir. Son komut ise artık ölçüm işleminin düzgün bir şekilde gerçekleştirildiğine dair mikrodenetleyiciye gönderilen durum bilgisi neticesinde, sonucun okunması işlemini başlatmak amacıyla gönderilir.

Çizelge 2.3 Mikrodenetleyici tarafından dijital pusula modülüne gönderilen komutlar.

İkili Değerler	İkili Değerlerin Anlamı
0000	Aygıt yeniden başlatılır.
0001	Ölçüm işlemi başlatılır.
0011	Eğer hazırsa ölçümün sonucunu okuma işlemi başlatılır.

Mikrodenetleyici tarafından gönderilen komutlara, pusula modülünün durum bilgisi olarak gönderdiği cevaplar Çizelge 2.4' te yer almaktadır. Bu durum bilgilerinin haricinde seri veri çıkışı pininden ölçümün sonucu yine seri asenkron haberleşme ile mikrodenetleyiciye gönderilir.

Çizelge 2.4 Dijital pusula modülü tarafından gönderilen durum bilgileri.

İkili Değerler	Değerlerin Anlamı
Bit No : 3210	Bit 3 ve Bit 2 ölçümün bitip bitmediğini, Bit1 ve Bit 0 ölçüm hatalarını göstermektedir.
1100	11 -> Ölçüm tamamlandı; 00-> Hata yok.
00XX	Ya ölçüm devam ediyor ya da aygıt yeniden başlatıldı.
XX11	Ölçüme başla ve ölçümü oku komutları arasında /EN pininde sinyal algılanamadı.

Mikrodenetleyicinin yapmış olduğu sorgulara, pusula modülünün durum bilgisi olarak gönderdiği cevaplarda yüksek ağırlıklı olan iki bit ölçüm işleminin bitip bitmediğini bildirirken; daha düşük ağırlıklı olan iki bit ise ölçüm işlemi ile ilgili hataları rapor etmek için kullanılmaktadır. İkili sayı sisteminde 1100 dizilişi ile gönderilen durum bilgisi ile mikrodenetleyiciye ölçme işleminin başarılı bir şekilde tamamlandığını ve herhangi bir hatanın bulunmadığını bildirilmektedir. 00XX dizilişinde X değerleri 1 de olsa 0 da olsa durum bilgisini etkilememekte olup; bu diziliş ile mikrodenetleyiciye ölçme işleminin ya devam ettiği ya da aygıtın yeniden başlatıldığı bildirilmektedir. Üçüncü durum bilgisi olarak da XX11 dizilişinde yine X değerleri durum bilgisini etkilememekte olup, bu diziliş ile gönderilen durum bilgisi; ölçme işlemine başlama ve ölçme sonucunu okuma işlemleri arasında modülün aktifleştirilmesini sağlayan /EN izin sinyalinde gerekli değişikliğin algılanmadığını bildirmektedir.

Önceki paragraflarda genel hatları ile dijital pusula modülünün donanımı ve çalışması için gerekli koşullar hakkında açıklama yapılmıştır. Daha ayrıntılı bilgiye üretici firmanın internet sayfasından kolaylıkla erişilebilir.

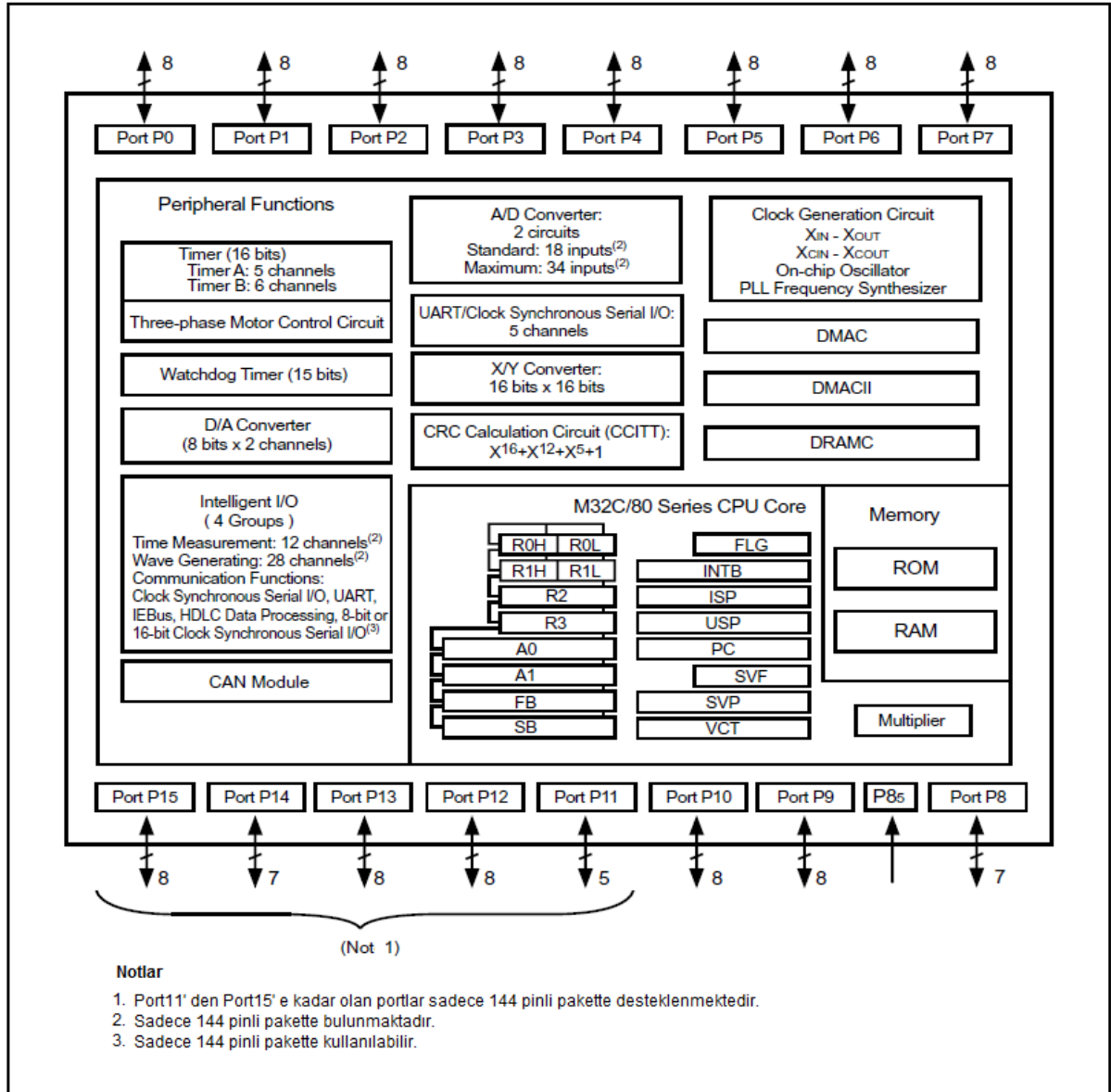
Gerçeklenen tasarımda pusula modülü sistemin çalışması esnasında mikrodnetleyiciden gelecek direktif doğrultusunda panelin o sırada hangi yöne baktığını belirlemek maksadı ile kullanılmıştır. Eğer sistem ilk defa çalışıyorsa güneş paneli tam güney istikametine yönlendirilene kadar ölçme işlemi tekrarlanır. Güneş paneli tam olarak güney yönüne baktığı zaman ölçme işlemi sonlandırılır. Sistem yeniden başlatılana ya da güneş panelinden elde edilen enerji miktarı belirli bir kritik düzeyin altına düşene kadar pusula modülü devre dışı bırakılır. Böylece sistemin çalışması esnasında harcanan enerji miktarının azaltılması hedeflenmiştir.

## **2.4 Mikrodnetleyici Birimi**

Bu çalışmada yüksek matematiksel işlem gücü ve tasarımın ileriki aşamalarda genişletilebilmesine olanak sağlaması açısından Renesas firmasına ait M32C/83 serisi bir mikrodnetleyici tercih edilmiştir. M30833FJGP parça kodlu mikrodnetleyici çok sayıda içerdiği analog sayısal dönüştürücü (ADC) ve seri kanal sayesinde gerçekleştirilen çalışmada büyük esneklik sağlamıştır.

Üretici firma tarafından 33ns gibi yüksek işlem hızı, 16 MB (Mega Byte) adreslenebilen hafıza bölgesi, 87 adet giriş – çıkış birimi, 5 adet çok fonksiyonlu zamanlayıcı, ayarlanarak I2C ya da CAN veri yoluna dönüştürülebilen 5 tane seri kanal, 10 kanallı 2 adet ADC, 42 tanesi dahili ve 8 tanesi harici kesme kaynağı gibi yüksek özelliklerle donatılmıştır.

4.2 V ile 5.5 V çalışma gerilimi aralığına sahip olan bu mikrodnetleyici komutları 30MHz gibi çok yüksek bir saat frekansında işleyebildiği için, yoğun matematiksel hesaplamaların bulunduğu uygulamalarda, endüstriyel ürünlerin tasarımında ve yüksek hızlı veri yolu uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 2.6' da bu çalışmada kullanılan mikrodnetleyici biriminin içyapısına ve özelliklerine ait blok diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2.6 Mikrodenetleyici biriminin içyapısına ait blok diyagramı.

Gerçeklenen sistemde sağlamış olduğu farklı arabirimler sayesinde, farklı uygulama konularının birlikte tek bir çalışma bünyesinde yer almasını sağlamıştır. Böylece bir adım motor kontrolü uygulaması, bir analog sayısal dönüştürücü uygulaması, bir seri kanal uygulaması ve giriş – çıkış arabirimi uygulaması tek çalışmada gerçekleştirilebilmiştir.

Bu uygulamada farklı protokoller kullanılmıştır. Dijital pusula modülü ile haberleşmede seri asenkron haberleşme protokolü üzerinden komutlar gönderilerek, komutlara karşılık cevaplar alınmıştır. Böylece mikrodenetleyici birimi pusulanın vermiş olduğu bilgilere göre güneş panellerinin hangi yöne dönük olduğu konusunda karar verebilmektedir. Ayrıca mikrodenetleyici adım motorları kontrol ederek panelin yatayda ya da düşeyde yapacağı

hareketleri gerçekleştirmiştir.

Analog sayısal dönüştürücü ile panel üzerindeki hücrelerin o anki yönlenme konumu itibarı ile ürettikleri enerji miktarlarını ölçebilmekte ve buna göre paneli en yüksek enerji üretimini sağlayan hücre merkezde kalacak şekilde hareket ettirmektedir. Güneş paneli 3 x 3 lük bir matris yapısında bir yüzey üzerine dizilerek her bir hücrenin gerilim bilgisi analog sayısal dönüştürücü ile ölçülmüştür. Böylece panelin üretmiş olduğu enerji miktarında bir düşüş saptandığında sistemi bu etkiden kurtarmak için, etkinin kaynaklandığı tarafın aksi istikametine paneli yönlendirmektedir. Sistem şayet belirli bir kritik düzeyin altında enerji üretimi gerçekleştirildiğini saptarsa bu durumda diğer çevre birimler devreye alınarak sistemin bulunduğu konum, tarih, saat ve yön itibarı ile en yüksek verimin elde edilebileceği şekilde hareketi sağlanmıştır.

Mikrodenetleyicinin adım motorları hareket ettirebilmesi için motor başına dört adet pin kullanılmıştır. Her bir pin n-tipi MOSFET transistörün gate ucunu tetiklemek suretiyle unipolar adım motorların adım atmaları sağlanmıştır. Motorların kontrolü konusunda en çok dikkat edilen konu yataydaki hareketleri yapan motor ile düşeydeki hareketi yapan motora gönderilen komutların birbiriyle karıştırılmaması ve sistemin yanlış yönlenebilmesidir.

GPS ile mikrodenetleyici seri kanal üzerinden senkron veri haberleşmesi yaparak bilgiler alınmıştır. Mikrodenetleyici sistemin ilk çalışması esnasında GPS' ten konum, tarih, saat gibi bilgileri almaktadır. İlk yönlendirme yapıldıktan sonra GPS devre dışı bırakılarak sistemin en az seviyede enerji tüketimi gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. GPS modülü de panelin ürettiği enerji miktarı belirli bir düzeyin altına düşerse, sistem yeniden çalışmaya başlamışsa ya da ilk defa çalıştırılıyorsa aktif hale getirilmektedir.

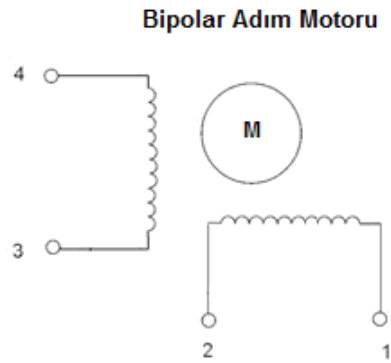
Tasarlanan sistemin mobil olması ve otonom çalışması sebebi ile, mikrodenetleyicinin üstlendiği görev hayati derecede önem taşımaktadır. Bu nedenle farklı arabirimler ile farklı protokoller kullanarak haberleşebilen ve bir takım hesapları hızlı bir şekilde gerçekleştirerek tutarlı kararlar verebilmesi için bu denli yüksek özelliklere sahip bir mikrodenetleyici seçilmiştir. Bu nedenle panellerden gelen enerji miktarına ait bilgilerin analog sayısal dönüştürücü ile ölçülmesi, dijital pusula modülünden gelecek olan yön bilgisinin değerlendirilmesi, GPS modülünden alınan tarih, saat vb. bilgilerin değerlendirilmesi çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bunun neticesinde sistem aynı hızla karar vermekte ve adım motorları kontrol etmektedir.

## 2.5 Adım Motorları

Adım motorlar; bir tam dönüşünü çok sayıda adım atarak gerçekleştiren fırçasız senkron elektrik motorlarıdır. Herhangi bir geri besleme bilgisi olmaksızın motorun konumu kontrol edilebilmektedir. Bu tip motorlarda hız arttıkça tork azalmaktadır. Merkezde çok parçalı bir mıknatıs ve bu mıknatısın etrafında çok sayıda sarım bulundurulur. Bu sarımların elektriksel olarak tetiklenmesi ile bir manyetik alan oluşur ve merkezdeki çok parçalı mıknatıs oluşan manyetik alan etkisi ile birlikte hareket eder. Diğer bir sarımın aktifleştirilmesi ile daha önce aktif olan sarımın enerjisi kesilir. Böylece motora başka bir adım daha atılarak hareketi devam ettirilmiş olur.

Genel olarak adım motorlar bipolar adım motorlar ve unipolar adım motorlar olarak ikiye ayrılırlar. Bipolar adım motorlar faz başına tek sarım içerirler. Bu nedenle kontrol devreleri daha karmaşık ve hareketlerinin kontrol edilmesi daha zordur. Ancak aynı büyüklükteki unipolar adım motorlarına göre daha güçlüdürler. Bu durum, unipolar adım motorlarına oranla sarımların daha büyük ve daha güçlü bir manyetik alan etkisi oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Bunun neticesinde bipolar adım motorları %70 daha fazla tork üretebilmektedirler.

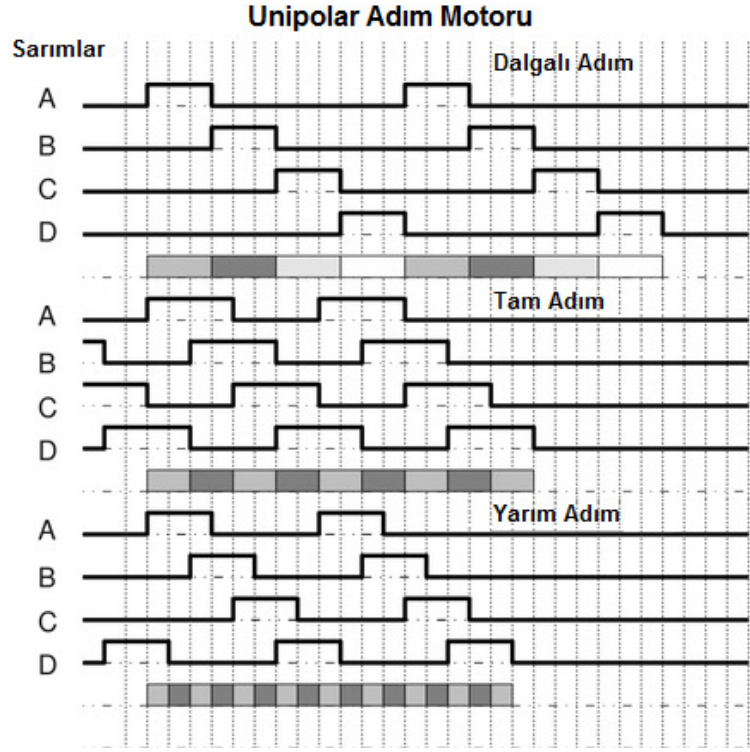
Bipolar adım motorları farklı şekilde yapılandırılabilirler. Sarımlar seri olarak, paralel olarak ya da faz başına tek sarım olacak şekilde ayarlanabilmektedir. Bu yapılandırma çeşitleri sayesinde uygulama çeşidine göre akım tüketim miktarı ve üretilmek istenen tork belirlenebilmektedir. Farklı bu yapılandırma çeşitleri nedeni ile bu tür adım motorlarının kontrol devreleri de oldukça karmaşıktır. Şekil 2.7' de bipolar adım motorun iç yapısı görülmektedir.



Şekil 2.7 Bipolar adım motorunun iç yapısı.



Şekil 2.9' da unipolar adım motorunun kontrol yöntemleri görülmektedir.



Şekil 2.9 Unipolar adım motorunun kontrol yöntemleri.

Dalgalı adım yönteminde sarımlardan her biri tek başına aktifleştirilmiştir. Diğer sarımların ucuna ters işaret uygulanmıştır. Tam adım yönteminde sürekli olarak iki sarım aktifleştirilmiştir. Ardışık olan iki sarım sürekli birlikte aktifleştirilmiştir. Böylece unipolar adım motorun tam adımlar atması sağlanmıştır. Yarım adım yönteminde ise önce bir sarım aktifleştirilmektedir. Daha sonra ikinci sarım da aktifleştirilmiştir. Son olarak ilk aktifleştirilen sarım devre dışı bırakılarak tek sarımın aktif kalması sağlanmıştır.

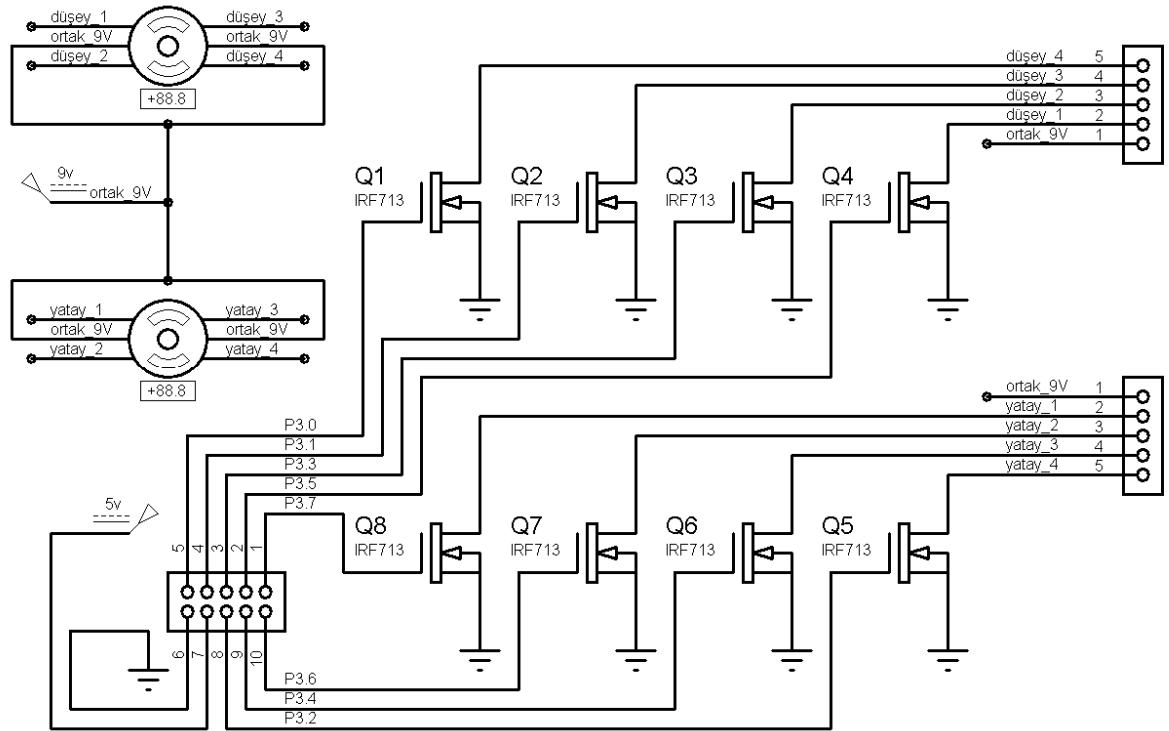
Bu çalışma 24BJY48 parça kodlu, 12 V DC besleme gerilimine sahip, 4 kutuplu,  $5,625^\circ$  lik adım açısına sahip, her bir kutup direnci 300 ohm olan,  $1/64$ ' lük düşürme oranına sahip redüktörlü unipolar adım motoru kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada unipolar, kalıcı magnet, redüktörlü adım motoru kullanılmıştır. Panelin hareketini sadece mikrodenetleyici komutlarıyla kısıtlamak ve rüzgâr, panelin ağırlığı vb. dış etkenlerden dolayı istenmeyen hareketleri önlemek ve daha hassas yönlendirme yapabilmek için  $1/64$  oranında redüktörlü kalıcı magnet adım motoru tercih edilmiştir.

Gerçeklenen sistemin motor kontrol bloğunda n-tipi MOSFET transistörler kullanılmıştır. Motor kontrol devresinde Fairchild firmasının üretmiş olduğu IRF713 parça kodlu n tipi

MOSFET transistörler kullanılmıştır. IRF713 mosfeti en fazla 1.3 A akıma ve 350 V' luk drain – source gerilimine dayanabilmektedir. Bu transistör genellikle yüksek hızda anahtarlama yapılan anahtarlama dönüştürücüler, anahtarlama gerilim regülatörleri ve motor sürücü devrelerinde kullanılmaktadır.

Adım motorunun her bir kutbu için bir transistör kullanılarak toplam 8 adet n-MOS transistör ile step motor kontrol devresi gerçekleştirilmiştir. Tam adım yöntemi kullanılarak kontrol edilen adım motoru için mikrodenetleyicinin 3 numaralı portuna ait 8 adet pin her bir transistörün gate ucuna tetikleme yapmak maksadı ile bağlanmıştır. Böylece panelin yataydaki ve düşeydeki hareketleri iki adet adım motoru ile gerçekleştirilmiştir. Adım motorlarının kontrolünde istenmeyen hareketleri önlemek için aktif tork sarımların sürekli aktif tutulmasını gerektirmektedir. Bu da sistemin çalışma zamanı içerisinde güç tüketimini artırmaktadır. Adım motoru seçiminde başka bir etken olarak güç tüketimini azaltmak ve istenmeyen hareketleri önlemek için redüktörlü ve kalıcı magnet tercih edilmiştir. Şekil 2.10' da sistemin step motor kontrol bloğuna ait devre şeması görülmektedir.



Şekil 2.10 Unipolar adım motor kontrol devresine ait devre şeması.



## 2.6 GPS Modül

Bu çalışmada GPS modül olarak Trimble firmasına ait Lassen IQ modeli kullanılmıştır. Bu modül çok düşük güç tüketimi nedeni ile genellikle taşınabilir uygulamalarda ve gömülü sistem uygulamalarında tercih edilmektedir. Trimble firmasına ait olan First GPS mimarisi ile üretilmiş olan modül içerisinde Colossus RF Down Converter, RISC mimarisine sahip Epson C33 işlemcisi, gerçek zamanlı saat (RTC, Real Time Clock), UART ve 1 Mbit hafıza bulunmaktadır. Colossus RF Down Converter ve First GPS mimarisi ile Trimble firması tarafından en küçük boyutlu (26 mm x 26 mm x 6 mm) ve en düşük güç tüketimine sahip (89 mW' tan daha az) GPS modüllerden biri olma özelliğine sahiptir.

Bu modül konum, hız ve zaman (PVT; Position, Time, Velocity) bilgilerini; NMEA Version 3.0, Trimble ASCII Interface Protocol (TAIP) ve Trimble Standart Interface Protocol (TSIP) protokollerinden birini kullanarak, 2 adet ayarlanabilir seri kanalı aracılığı ile bağlandığı birime iletebilmektedir. Lassen IQ, 12 kanallı uydu takibiyle L1 frekansında çalıştırılmaktadır.

3.3 V besleme gerilimine ihtiyaç duyan modül, 12 MHz' lik saat frekansıyla çalışmaktadır. İki adet seri kanalı bulunan modülün birinci seri kanalı TSIP protokolü için 9600 baud rate, 8 data bit, odd parity, 1 stop bit ayarları ile; ikinci seri kanalı ise NMEA protokolü için 4800 baud rate, 8 data bit, no parity, 1 stop bit ayarları ile çalışmaktadır. Fabrika üretimi ayarları bu şekilde yapılmış olan modülün seri kanal ayarları protokolleri destekleyecek şekilde istenildiği gibi ayarlanabilir. Yatayda 5 m, yükseklik için 10 m ve hız için 0,6 m/s toleransa sahiptir.

Bu çalışmada Lassen IQ GPS modülü tarih, saat ve konum bilgilerinin bulunması amacıyla kullanılmıştır. Böylece sistemin en önemli iki özelliğinden birisi olan taşınabilirlik sağlanmıştır. Alınan bu bilgiler ile sistemin dünya üzerinde hangi konumda olduğunu, an itibarıyla hangi tarihte ve zamanda bulunduğunu dolayısıyla yaklaşık mevsim koşullarını bilmesi sağlanmıştır. Mikrodenetleyici birimine gönderilen bu bilgiler değerlendirilerek güneşin daha güneyden mi yoksa daha kuzeyden mi geçtiğini tespit etmekte kullanılmıştır.

Sistem ilk kez açıldığında ve üretilen enerji miktarının belirli bir seviyenin altına düşmesi halinde GPS modül ile iletişime geçilmiş, bilgiler talep edilmiştir. Bu sayede sistemin çalışma zamanı içerisinde koşulların değişimine oldukça hızlı reaksiyon vermesi hedeflenmiştir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında bu GPS modülünün navigasyon cihazı olarak da kullanılması hedeflenmiş ve harici anteni sayesinde açık alanda oldukça iyi bir ölçüm



### 3. YAZILIM

Bu çalışmada sistemin yazılım tasarımı gerçekleştirilirken C programlama dili kullanılmıştır. Geliştirme ortamı olarak Renesas M32C83 serisi için C derleyicisi kullanılmıştır. Derlemesi yapılan programa ait çıktısı oluşturulan dosya mikrodenetleyiciye üretici firmanın yayımlamış olduğu M16C Flasher isimli program aracılığı ile yüklenmiştir. Bu program yükleme aracı 38400 baud rate, 8 data bit, no parity, 1 stop bit ayarları ile çalışmaktadır. Aynı zamanda programlama aracı bir seri kanal emülatörü olarak da kullanılmıştır.

Genel programlama mantığı olarak sonlu durum makineleri (FSM) referans alınmıştır. Öncelikle sistemin çevre birimler ile düzgün haberleşebilmesi adına mikrodenetleyiciye ait çevre birimlerin sürücü yazılım kodları geliştirilmiştir. Bu sürücülerin her biri bir çevre birimi aktifleştirip ayarlarını yaptığı için sistem ilk defa başlatıldığında ya da sistem resetlendiğinde program ana döngüye girmeden önce; mutlaka bu çevre birimlerine ait fonksiyonlar çağrılarak aktifleştirilmeleri sağlanmıştır.

Her bir çevre birimi için bir fonksiyon çağrılmakta ve işlevi tamamlandıktan sonra, diğer bir özelliği aktifleştirmek için başka bir fonksiyon çağrılmaktadır. Sistemin yazılım tasarımı fonksiyonel bir şekilde yapılmıştır. Dolayısıyla sürekli olarak fonksiyonlar çağırılmış ve işlevi tamamlanan fonksiyondan geri çıkılmıştır. Bu şekilde bütün gerekli birimler aktifleştirildikten sonra sistem programın ana döngüsünü işletmeye başlamıştır.

Ana döngü içerisinde de yine fonksiyonların çağırılması mantığına devam edilmiştir. Bir fonksiyon ilk defa çağırılıyorsa işlemini gerçekleştirip ana döngüye çıkılmıştır. Fonksiyondan ana döngüye geri çıkılmadan önce o fonksiyonun ilgili olduğu birimle alakalı bir durum değişkeninin değeri belirlenmiştir. Böylece aynı fonksiyon tekrar çağırıldığında önce durum değişkeninin değeri okunarak işlem yapılmıştır. Şayet durum değişkeninin içeriğinde bir değişiklik yoksa fonksiyonun işlevi zaman kaybını önlemek adına tekrar tekrar gerçekleştirilmemiştir. Ancak durum değişkeninin içeriği değişmiş ise bu değişikliğe dair işlemler gerçekleştirilerek sistemin artık başka bir duruma geçtiğine dair durum değişkeni tekrar değiştirilmiştir. Bu şekilde sonlu durum makineleri referans alınarak çalışma zamanında gereksiz işlem yükünden kaçılmış ve programın oldukça hızlı çalışması sağlanmıştır.

Mikrodenetleyici yapıları sıralı (sequential) işlem gerçekleştirebilme özelliğine sahip oldukları için bir komut ya da komut kümesinin işlenebilmesi için ondan önceki komutların işlenmesi beklenmelidir. Başka bir deyişle çoklu işlev gerçekleştirebilme(multitasking) özelliği olmadığından dolayı programların çalışma zamanında mümkün mertebe işlem

yükünden kaçılmıştır. Bu nedenle FSM yapıları referans alınarak sanki çoklu işlev gerçekleştiriliyormuş gibi yapılmıştır.

### 3.1 Tasarlanan Sistemin Yazılımına Ait Akış Diyagramı

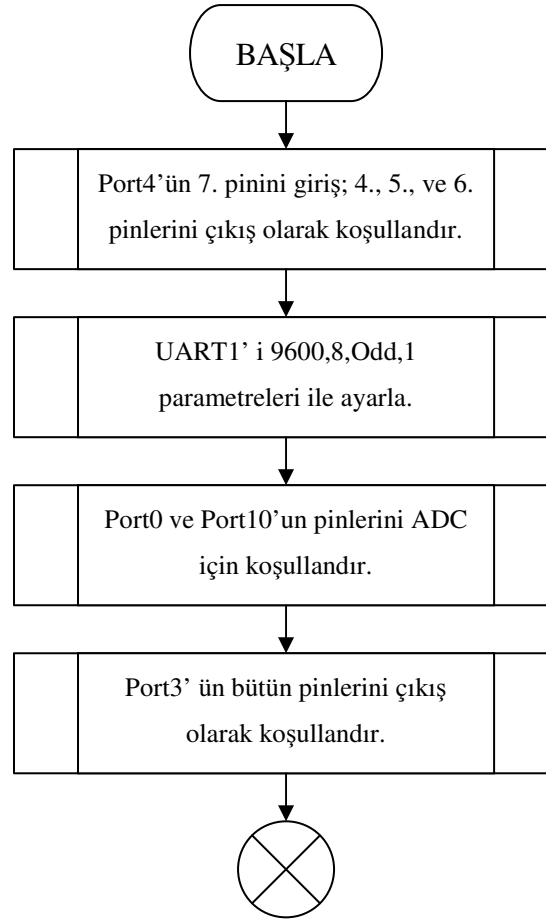
Sistemin yazılımının tasarımında öncelikle mikrodenetleyiciye ait çevre birimler koşullandırılmıştır. Mikrodenetleyici ana döngü içerisinde ilk olarak pusula modülü ile haberleşerek yön bilgisi ölçülmüştür. Bu nedenle ilk olarak sayısal pusula modülünün bağlı bulunduğu port pinlerinin giriş veya çıkış olarak koşullandırılması yapılmıştır. Bu pinlerden pusula modülünün seri veri çıkışı pinine bağlı olan mikrodenetleyici pini giriş olarak koşullandırılmıştır. Diğer pinler pusula modülünün aktifleştirme sinyali /EN, saat işareti CLK ve komutların alındığı seri veri giriş pinlerinin bağlı olduğu mikrodenetleyici pinleri çıkış olarak koşullandırılmıştır.

İkinci olarak sistem tarih, saat ve konum bilgilerinin alınabilmesi için GPS modülü ile iletişim sağlanmıştır. Bu iletişimi sağlamak için mikrodenetleyicinin UART1 seri kanalı aktifleştirilmiştir. Seri kanal üzerinden elde edilen bu bilgilerden sonra adım motorları kontrol edilerek panele ilk yönlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla motorları sürmek için kullanılan transistörlerin bağlı bulunduğu port pinleri çıkış olarak koşullandırılmıştır.

İlk yönlendirmenin ardından artık güneş panelinden gelen gerilim bilgileri ölçülerek verimi artırmaya yönelik rutinler gerçekleştirilmiştir. Panelden gelen gerilim bilgilerinin ölçülebilmesi için analog sayısal dönüştürücü (ADC) birimi aktifleştirilmiş ve ayarları yapılmıştır. Sonrasında ADC aracılığı ile alınan bilgiler değerlendirilerek hassas yönlendirmenin gerçekleştirilebilmesi için mikrodenetleyicinin motoru kontrol eden portundaki pinler çıkış olarak konfigüre edilmiştir.

Bu ilk koşullandırmanın neticesinde çevre birimleri ile iletişime geçen kanallar artık aktif hale getirilmiştir. Bundan sonra program artık ana döngüye girerek ölçme, veri toplama ve motorları hareket ettirme gibi sistemin ana işlevlerini gerçekleştirecek olan fonksiyonları çağırmaya ve bu fonksiyonların işleyişi neticesinde elde edilen sonuçları ilgili birimlere aktaracak komutlar işletilmeye başlanmıştır.

Mikrodenetleyici yazılımının bu ilk koşullandırma ve arabirimlerin aktifleştirilmesi işlemlerine ilişkin akış diyagramı Şekil 3.1' de yer almaktadır.



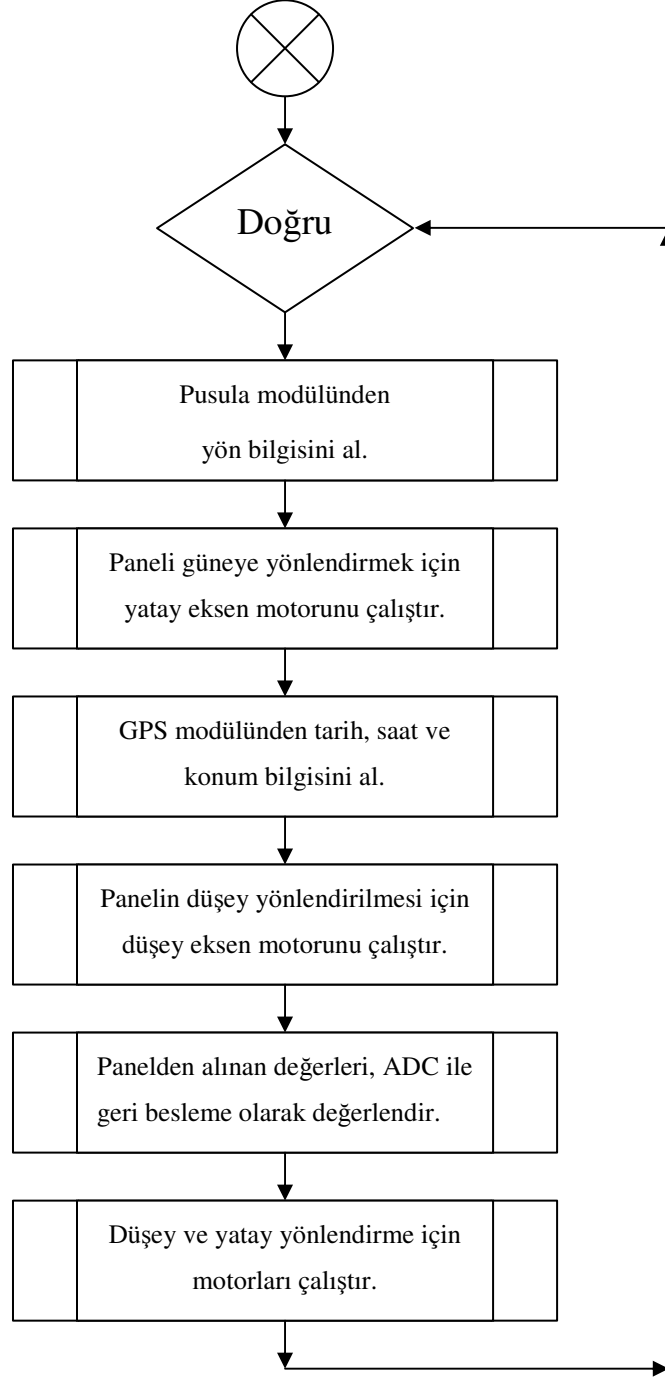
Şekil 3.1 Programın ana döngüsü öncesinde yapılan koşullamalara ait akış diyagramı.

### 3.2 Programın Ana Döngüsüne Ait Akış Diyagramı

Program ana döngüye girdiğinde sürekli olarak ölçme, veri toplama ve motor kontrolü vb. işlemler tekrarlanmıştır. Bu işlevlerin her biri birer fonksiyonla gerçekleştirilmiştir. Ancak fonksiyon ana döngüde çağırılabilir o fonksiyona ait durum bilgisinde değişiklik varsa çalıştırılmıştır. Durum değişkeninde herhangi bir değişiklik yoksa bir işlem gerçekleştirilmeden ana programa geri dönmüştür.

Sistemde ilk önce pusuladan yön bilgisi alınmıştır. Bu nedenle pusula modülü ile iletişime geçerek yön bilgisini alan fonksiyon çağırılmıştır. Daha sonra paneli güneğe yönlendirmek için yatay eksende hareketi gerçekleştiren motoru hareket ettiren fonksiyon çağırılmıştır. Yatay yönlendirilmesi genel olarak tamamlanan sistem artık GPS modülü ile seri kanal üzerinden haberleştirilerek tarih, saat ve konum bilgisi alınmıştır. Bu bilgilere göre panelin düşeydeki yönlendirmesini gerçekleştiren motoru hareket ettiren fonksiyon çağırılmıştır.

Panelin yatayda ve düşeyde kabaca yönlendirilmesinin ardından panelden geri besleme bilgisi olarak analog sayısal dönüştürücü (ADC) ile her bir hücrenin gerilim değeri ölçülerek en yüksek değerin ölçüldüğü hücre panelin merkezinde kalacak şekilde yatay ve düşey eksenlere ait motorları hareket ettiren fonksiyonlar tekrar çağırılmıştır. Şekil 3.2’ de programın ana döngüsüne ait yazılımın akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 3.2 Sistem yazılımının ana döngüsüne ait akış diyagramı.

### 3.3 Pusula Modülüne Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı

Tasarlanan sistem yazılımında pusula modülünün çalışması için gerekli ayarlar programın ana döngüsüne girilmeden önce gerçekleştirilmiştir. Bu fonksiyon içerisinde pusulaya ait bir genel durum değişkeninin değeri değiştirilmiştir. Böylece fonksiyon bir sonraki çağırılışında ilk olarak bu durum değişkeninin değerini kontrol etmektedir. Eğer durum değişkeninde herhangi bir değişiklik yoksa fonksiyon pusula modülünü aktifleştirmeden ve ölçme işlemi gerçekleştirilmeden fonksiyondan çıkmıştır. Bu durumun daha önceki bölümlerde sistemde enerji tasarrufu sağlamak için yapıldığından bahsedilmiştir. Bu yolla aynı zamanda sistemin daha hızlı ve daha düzgün çalışması sağlanmıştır.

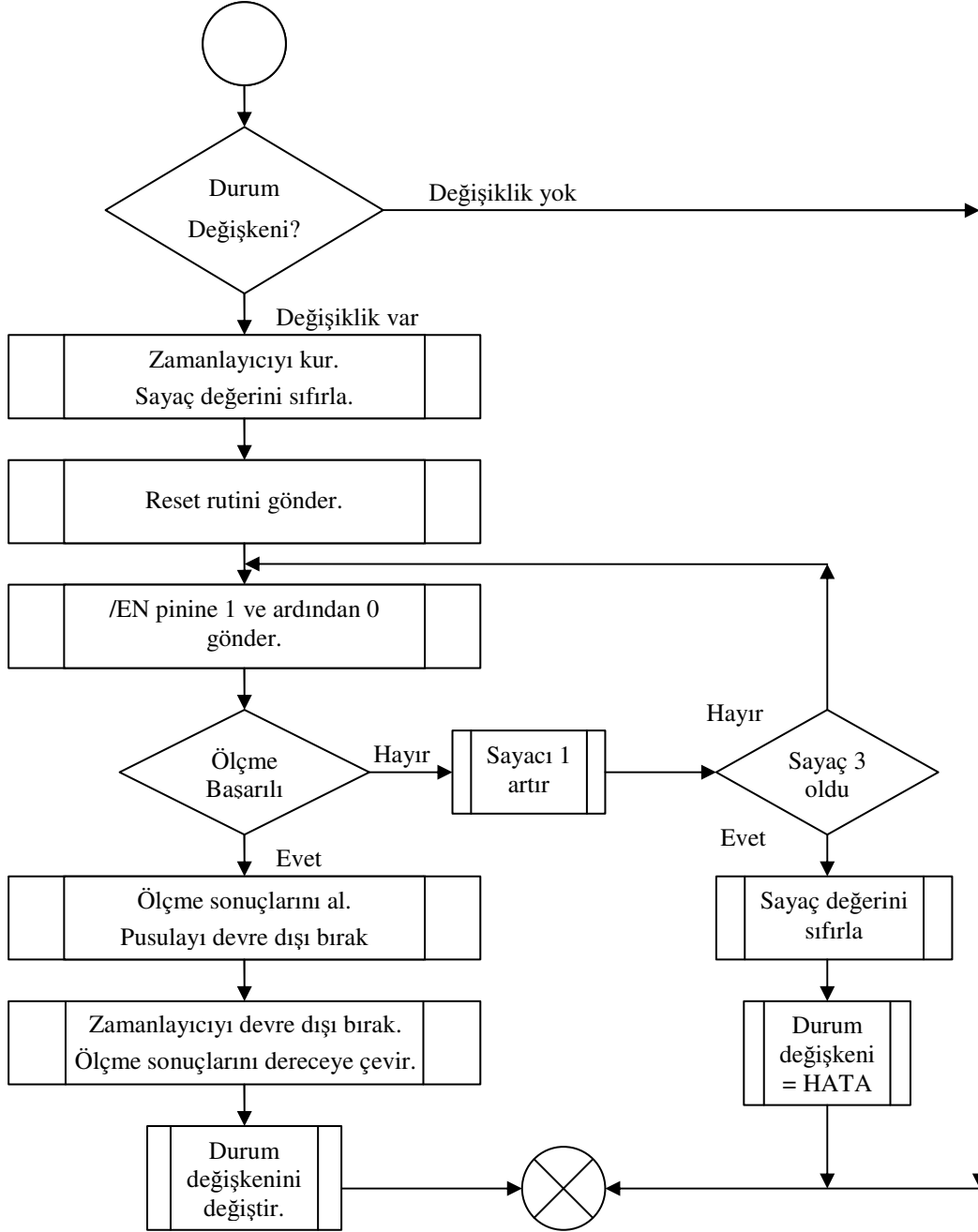
Eğer fonksiyon son çağırıldığından bu yana durum değişkeninin değerinde bir değişiklik gerçekleştirilmiş ise fonksiyonun içeriğindeki komutlar işletilmektedir. İşletilen fonksiyonda pusula modülü ile seri haberleşme gerçekleştirilebilmesi için bir saat işaretine ihtiyaç duyulmuştur. Bu saat işareti mikrodenetleyiciye ait bir zamanlayıcı kurularak oluşturulmuştur. Zamanlayıcı her kesme işareti ürettiğinde bir kesme servis program parçacığı çağırılmış ve pusulanın CLK pinindeki işaretin değerinin tersi alınmıştır. Böylece zamanlayıcının değerini değiştirerek istenen frekansta saat işareti üretilmiştir. Kesme program parçacığında zamanlayıcının başlangıç değeri yeniden yüklenmiş, zamanlayıcı tekrar aktifleştirilmiş ve fonksiyona geri dönmüştür.

Daha sonra mikrodenetleyici reset rutinini çalıştırarak pusula modülünü resetlemiştir. Resetlenmiş modülün artık ölçme işlemini gerçekleştirmesi için ön koşullar sağlanmıştır. Pusulanın aktifleştirme pini olan /EN pinine önce sayısal olarak bir değeri ardından sıfır değeri uygulanmış ve ölçmeyi başlatma komutu gönderilmiştir. Pusula modülünün ölçme işlemini hatasız olarak tamamlayıp tamamlayamadığı kontrol edilmiştir. Üç defa üst üste ölçme işleminin başarısız olduğu tespit edilirse fonksiyondan durum değişkenine hata değeri atanarak çıkmıştır.

Pusula modülünden ölçme işlemini hatasız olarak tamamladığını söyleyen komut alındığında x eksenini ve y eksenine dair değerler alınmıştır. Bu değerler her bir eksen için bir değişkene atanmıştır. Ölçme neticesinin alınmasının ardından pusula modülü devre dışı bırakılmıştır. Eksenlere ait değişkenlerdeki değerlerin önce radyan cinsinden değeri bulunarak, derece cinsine dönüştürülmüştür. Derece cinsinden elde edilmiş olan değerler panelin bakmış olduğu yönü belirtmektedir.

Ölçme işlemi için saat işaretinin frekans üretici olarak kullanılan mikrodenetleyicinin

zamanlayıcısı devre dışı bırakılmıştır. Pusulaya ait genel durum değişkeni değeri değiştirilmiştir. Böylece dijital pusula modülüne ait olan fonksiyonun işlevi başarıyla gerçekleşmiştir. Gerekli değişkenler atandıktan ve istenilen sonuçlar elde edildikten sonra fonksiyondan çıkılarak programın ana döngüsüne geri dönmüştür. Şekil 3.3' te pusula modülünden yön bilgisinin alınmasını sağlayan fonksiyona ait akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 3.3 Pusula modülüne ait program parçasının akış diyagramı.



### 3.4 Yatay Eksen Hareketine Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı

Dijital pusula modülünden yön bilgileri alındıktan sonra program ana döngüsünde bu bilgileri kullanarak yatay eksen de yönlendirme yapan adım motorunun hareketi için ilgili fonksiyon çağırılmıştır.

Adım motorlar  $360^\circ$  lik bir turunu 64 adımda tamamlamaktadırlar. Ancak 1/64 redüktör oranına sahip olduklarından  $360^\circ$  lik bir tam dönüşlerini 4096 adımda gerçekleştirmektedirler. Yatay eksen adım motorunu kontrol etmek için 3 numaralı portun 2,4,6 ve 7 numaralı bacaklarına bağlı transistörler tetiklenmiştir.

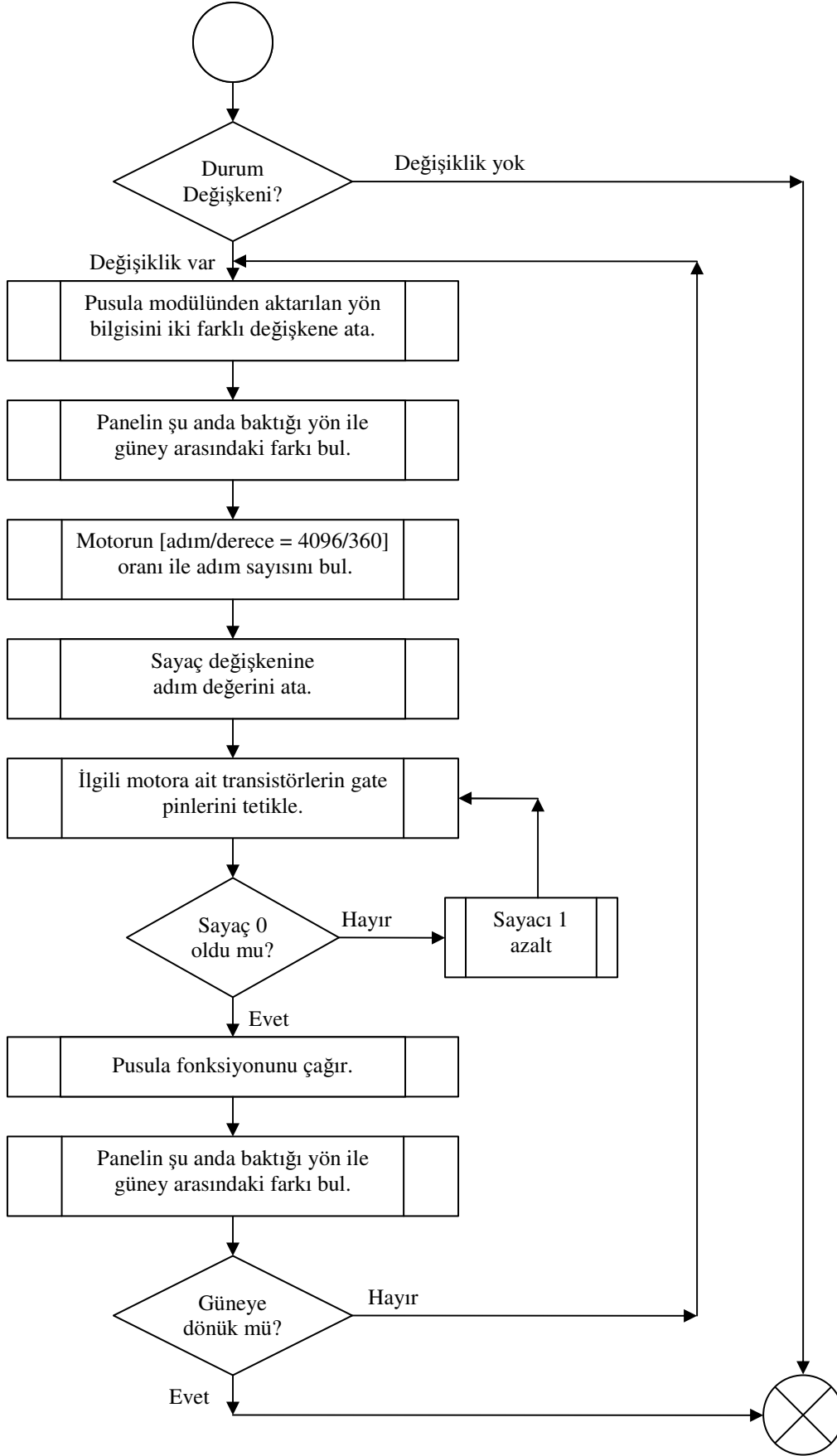
Fonksiyon çağırıldığında panelin güneye yönelmesi için gereken adım sayısı hesaplanmıştır. Pusula modülüne ait fonksiyondan aktarılan değişkenler yardımıyla panelin anlık yönü bilinmekte ve güneye dönmesi için gerekli olan açı ile arasındaki fark bulunmaktadır. Aradaki açı farkı adım motorlarının adım açısı ile orantılanarak kaç adım atması gerektiği bulunmaktadır.

Bu değer bir değişkene aktarılmıştır. Fonksiyon içerisinde bir döngü oluşturularak adım sayısına ait değişkenin değeri 0 (sıfır) olana dek azaltılmıştır. Her azaltma işleminin gerçekleştirilmesinde yatay eksen adım motoruna bağlı bulunan transistörlerden ilgili olan tetiklenerek hareket gerçekleştirilmiştir. Tetiklenmek istenen transistörün gate pininin bağlı olduğu port pininin 1 yapılmak sureti ile tetiklenmesi sağlanmıştır.

Donanım bölümünde anlatılmış olan adım motor kontrol yöntemlerinden "tam adım yöntem" bu çalışmada adım motorlarını hareket ettirmek için kullanılmıştır. Bu nedenle yatay eksen motorunun bağlı bulunduğu porttaki ilgili pinlerden ardışık iki tanesi 0 (sıfır) diğer iki tanesi 1 yapılmak sureti ile yatay eksen motoru kontrol edilmiştir.

Bu yönlendirme işlemi bittiğinde motor kontrolünü gerçekleştiren fonksiyondan ana döngüye geri çıkılmadan önce pusula modülüne ait fonksiyon tekrar çağırılmıştır. Pusula modülüne ait fonksiyondan alınan ölçüm sonucu tekrar hesaplanarak panelin güneye dönük olduğundan emin olunmuştur.

Eğer panel güneye yönlendirilmiş değilse fonksiyondan çıkılmadan bütün hesaplamalar ve kontrol mekanizması yeniden çalıştırılmıştır. Şekil 3.4' te bu fonksiyona ait akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 3.4 Yatay eksen adım motor kontrolüne ait fonksiyonun akış diyagramı.

### 3.5 GPS Modülüne Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı

Program ana döngüsüne girilmeden önce ilk ayarlama ve yapılandırma işlemleri esnasında GPS modülün mikrodenetleyici ile haberleşmesini sağlamak amacıyla mikrodenetleyici UART1 birimi 9600 baud rate, 8 data bit, odd parity, 1 stop bit ayarları ile koşullandırılmıştır. Böylece GPS modülü ile mikrodenetleyici arasındaki seri haberleşme kanalı yapılandırılmıştır. Yapılandırılan bu kanal üzerinden programın ana döngüsü içerisinde çağırılan GPS modüle ait fonksiyon ile sistemin tarih, saat ve konum bilgilerine sahip olması sağlanmıştır.

GPS modülü seri kanal üzerinden mikrodenetleyici ile Trimble Standart Interface Protocol (TSIP) ile haberleşmektedir. TSIP, Trimble firması tarafından kendi ürünlerinin kullanıldığı tasarımlarda diğer bileşenler ile haberleşebilmesini sağlayan bir protokol olarak geliştirilmiştir. Bu protokol seri haberleşmede kullanıldığı için belirli bir paket yapısıyla gerçekleştirilmiş ve iki birim arasındaki haberleşme bu paket yapılarıyla gerçekleştirilmiştir.

TSIP ile Lassen IQ GPS modülünün en iyi performans ile yapılandırılabilmesi ve ayarlanabilmesi için tasarımcılara yirminin üzerinde komut tanımlanmıştır. Bu protokolda her bir paketin 1 baytlık 2 adet onaltılık sayı sisteminde karakterden oluşan bir kodu tanımlanmıştır. Bu paket kodları ile kodların arkasından gelen verinin anlamını ve biçimini ifade edilmiştir. Her paket bir kontrol komutu ile başlatılmış ve sonlandırılmıştır.

TSIP paketleri hem komutlar hem de cevaplar için aynı yapıda tanımlanmıştır. Bu paket yapısının içeriği <DLE><id><baytlar halinde veri dizisi><DLE><ETX> şeklinde belirlenmiştir. Bu yapıda <DLE> onaltılık sayı sisteminde 0x13, <ETX> onaltılık sayı sisteminde 0x03, <id> onaltılık sayı sisteminde 0x13 ve 0x03 haricinde herhangi bir değer alabileceği ifade edilmiştir. Gönderilen paket diziliminde oluşabilecek bir karışıklığı önlemek için iki nokta özellikle belirtilmiştir. Eğer veri dizisinde bir <DLE> karakteri bulunuyorsa mesajın başı ile karıştırılmaması için mutlaka ikinci bir <DLE> karakteri bulundurulmalıdır. Yine aynı şekilde <DLE><ETX> dizilimi bir veri dizisinde yer alıyorsa <DLE> karakterinden önce mutlaka tek sayıda <DLE> karakteri yerleştirilmiştir.

Lassen IQ GPS modül otomatik paketler gönderecek şekilde üretilmiştir. Bu otomatik paketler ile zaman, konum, hız ve uydu sinyal gücü gönderilmektedir. Ancak konum ve hız bu paketlerden bir ya da bir kaç ile ifade edilebilmektedir. Bu otomatik paketler tasarımlarda sıklıkla kullanılan paketler olup, GPS modüle herhangi bir sorgu komutu gönderilmeksizin üretilmektedir. Çizelge 3.1' de bu paketlerin bulunduğu tablo yer almaktadır.

Çizelge 3.1 Lassen IQ GPS modül tarafından üretilen otomatik paketler.

Onaltılık Sayı Sisteminde Paket Kodu	Paket Kodlarının Açıklaması	Gönderme Sıklığı
0x41	GPS Zamanı	5 saniye
0x42, 0x83, 0x4A, 0x84, 0x8F-20	Konum	1 saniye
0x43, 0x56, 0x8F-20	Hız	1 saniye
0x46	Alıcının sinyal kalitesi	5 saniye
0x4B	Durum bilgisi	5 saniye
0x6D	Uydu seçimi	1 saniye
0x82	DGPS konum sabitlemesi	1 saniye

Modüle ilk elektrik verildiğinde kendi durumu ile alakalı bilgi paketleri göndermektedir. Bu paketler alıcının sinyal kalitesi, alıcının durumu, GPS zamanı, yazılım versiyonu gibi paketlerdir. Bu paketler ve açıklamaları Çizelge 3.2' de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Lassen IQ GPS modül ilk çalıştığında gönderilen paketler.

Paket Kodu	Açıklama
0x45	Yazılım versiyonu
0x46	Alıcının sinyal kalitesi
0x4B	Alıcının durumu
standart: 0 x 4A, 0 x 56	Konum veya Hız bilgisi
0x41	GPS zamanı
82	DGPS konumu

Bu protokolün haricinde seri kanal yapılandırmasına bağlı olarak NMEA ve TAIP protokolleri de Trimble Lassen IQ GPS modül ile haberleşmede kullanılabilir. Bu protokoller de TSIP gibi çeşitli paket yapılarında tanımlanmıştır. Protokoller arasındaki benzerlik kullanış biçimleri ile içerdikleri bilgilerdir. Alıcı olarak GPS modülünün TSIP haricindeki protokollerle gönderdiği bilgileri, yazılımsal olarak diğer iki protokolün de tanımlanmasıyla gerçekleştirilebileceği ifade edilmiştir.

Yapılan çalışmada GPS modülüne ait fonksiyon çağırıldığında seri kanal üzerinden gelen

paketlerin çözümlenerek içeriklerinin ne olduğu bulunmuştur. Paketlerin çözümlenmesi daha önce verilmiş olan Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2' deki onaltılık sayı sistemindeki paket kodlarını ayrıştırılarak gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle bir mesaj paketini tam olarak yakalayabilmek için <DLE> karakteri aranmış ve bu karakter bulunduktan sonra ikinci karakterin de <DLE> olup olmadığına bakılmıştır. Eğer gelen ikinci karakter de <DLE> karakteri ise bunun bir mesajın başı olmadığına karar verilmiştir.

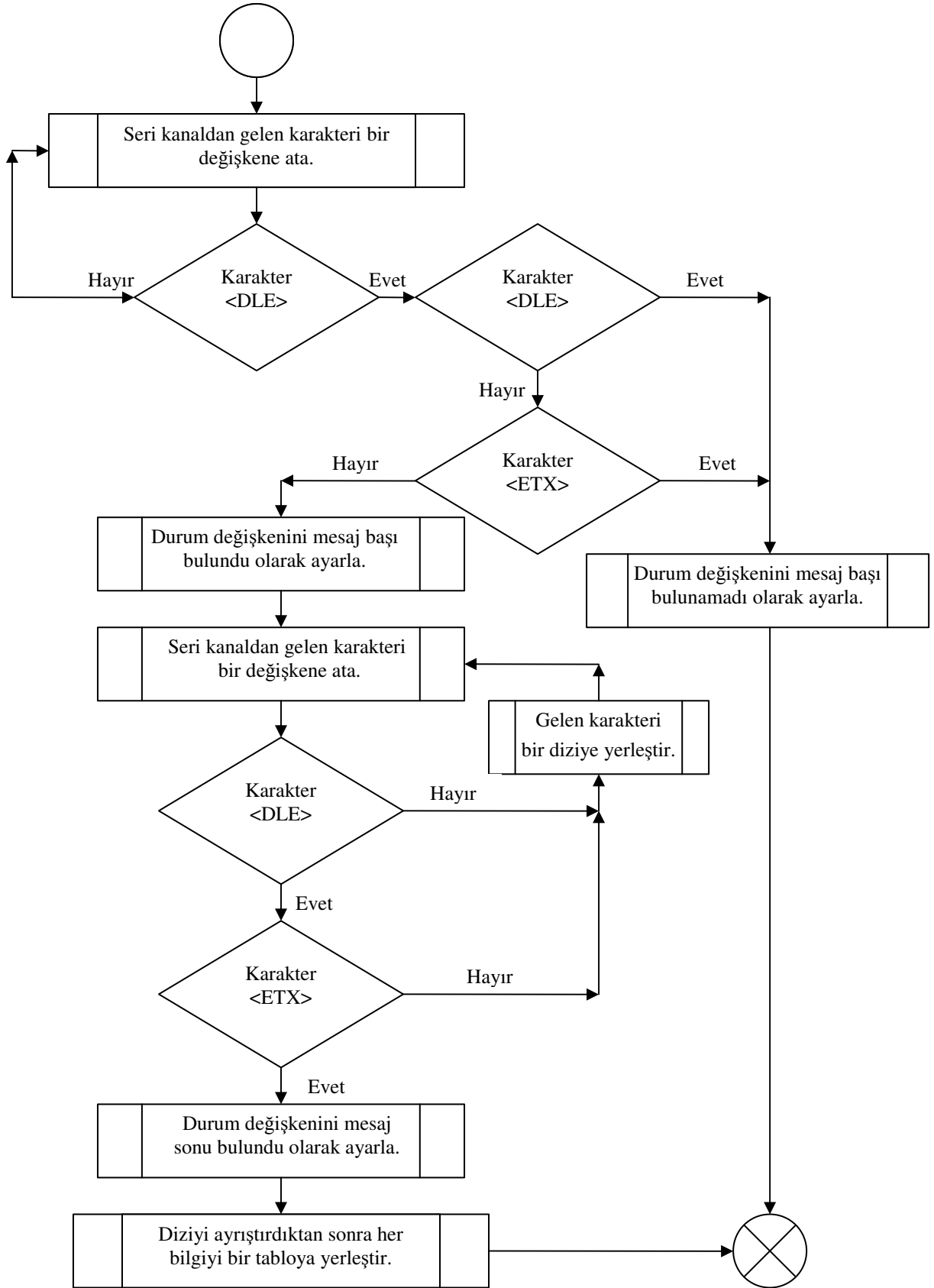
Eğer ikinci karakter <DLE> karakteri değilse bunun bir <ETX> karakteri olup olmadığı kontrol edilmiştir. İkinci karakter <ETX> karakteri ise bunun bir mesajın başı olmadığı anlaşılmıştır. Eğer ikinci karakter <ETX> karakteri de değilse o zaman bunun bir mesajın başı olduğu anlaşılmış ve ardından gelen baytlar bir diziye konularak daha sonra ayrıştırılmıştır.

Bu mesajın bir diziye doldurulma işlemi yine bir <DLE>karakterini görülene kadar devam etmiştir. <DLE>karakterinden sonra gelen karakter <ETX> karakteri ise bunun bir mesajın sonu olduğu anlaşılmıştır. Eğer <DLE> karakterinden sonra gelen karakter <ETX> karakteri değilse yine diziye doldurma işlemine devam edilmiştir.

Mesajlar; mesaj başlangıç ve mesaj bitiş karakterleri çıkarıldıktan sonra, mesajın gövdesi içerisinde bulunan ve TSIP protokolünde tanımlanmış olan <DLE> ve <ETX> karakterlerinin mesaj gövdesi içerisinde bulunmasına dair anlatılan kural gereğince mesaj metninden çıkartılmıştır. Böylece paket kodu ile başlayan mesajın tamamı bir dizinin içerisine yerleştirilmiştir.

Bu aşamadan sonra paket kodunun ne olduğuna bakılarak, daha önce belirtilmiş olan paketlerden hangisi olduğu belirlenmiştir. Paket kodu belirlenen mesajın içeriği o paketin özelliğine göre ayrıştırılarak paketin bildirmiş olduğu özellik ile ilgili ayrıntılı bilgi elde edilmiştir. Böylece sistemin alıcı sinyal kalitesi, yazılım versiyonu, konum, zaman, hız vb. bilgiler mikrodenetleyici tarafından anlaşılmıştır.

Elde edilen bu bilgiler genel değişkenlere ve dizilere kaydedildikten sonra fonksiyondan çıkılarak ana program döngüsüne dönmüştür. Şekil 3.5'te GPS modül fonksiyonuna ait olan program parçacığının akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 3.5 GPS modülüne ait fonksiyonun akış diyagramı.

### 3.6 Düşey Eksen Hareketine Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı

GPS modülünden tarih, saat, konum gibi bilgiler alındıktan sonra, program ana döngüsünde bu bilgileri kullanarak düşey eksende yönlendirme yapan adım motorunu hareket ettirmek için ilgili fonksiyon çağırılmıştır.

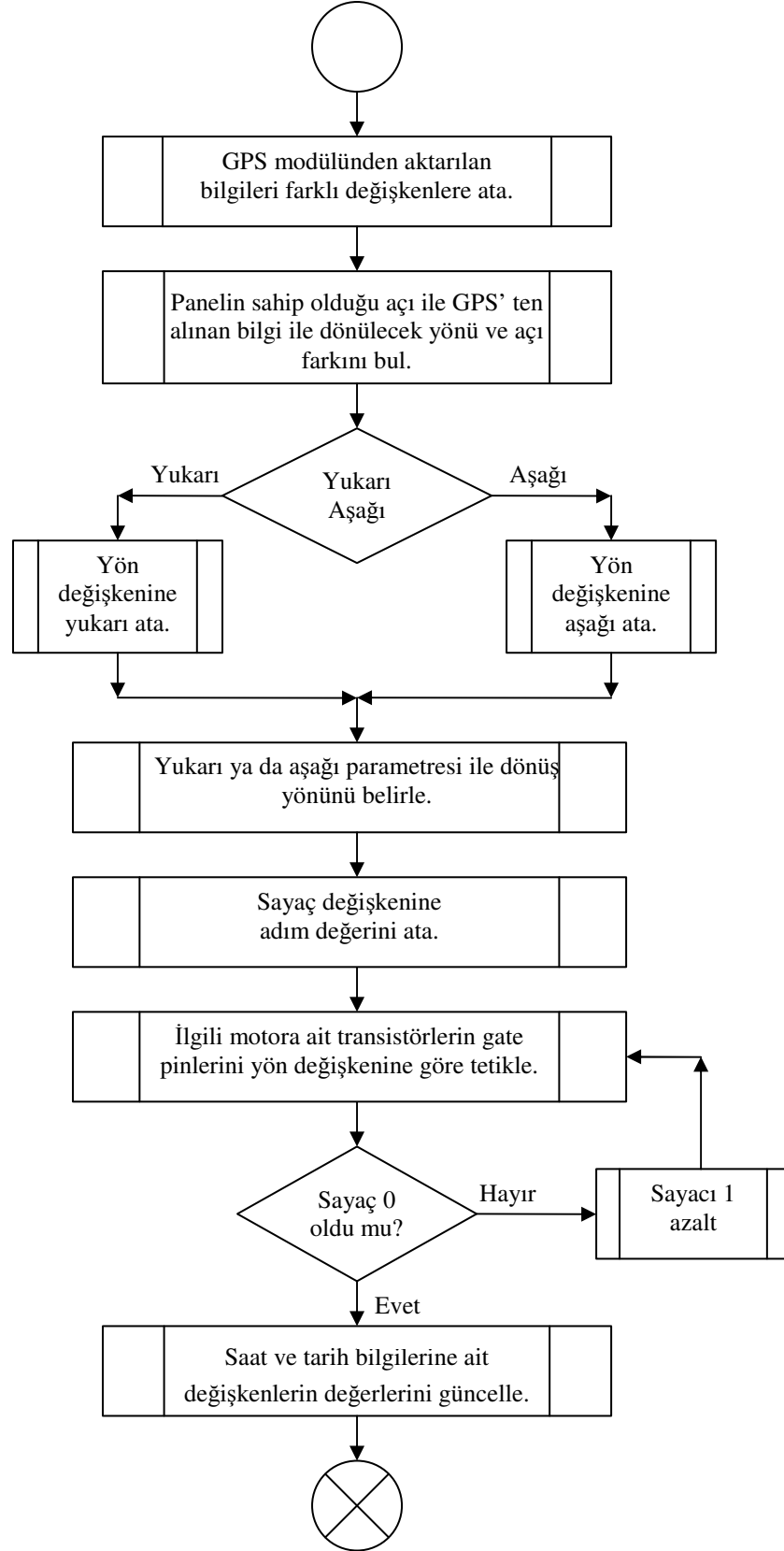
Daha önce de bahsedildiği üzere adım motorlar  $360^\circ$  lik bir turunu 64 adımda tamamlamaktadırlar. Ancak 1/64 redüktör oranına sahip olduklarından dolayı  $360^\circ$  lik bir tam dönüşünü 4096 adımda gerçekleştirmektedirler. Düşey eksen adım motorunu kontrol etmek için 3 numaralı portun 0,1,3 ve 5 numaralı bacaklarına bağlı olan transistörler tetiklenmiştir.

Fonksiyon çağırıldığında panelin o anki saat, tarih ve konum itibarı ile daha düşük bir geçiş açısına ya da daha yüksek bir geçiş açısına yönelmesi için kaç adım atması gerektiği hesaplanmıştır. GPS modülüne ait fonksiyondan aktarılan değişkenler yardımıyla panel bulunduğu konumu bilmekte ve buna göre ya daha yüksek geçiş açısına ya da daha düşük geçiş açısına dönmesi için gerekli olan açı ile arasındaki fark hesaplanmıştır. Aradaki bu açı farkı daha sonra adım motorlarının adım açısı ile orantılanarak kaç adım atması gerektiği bulunmuştur.

Bu değer bir değişkene aktarılmıştır. Fonksiyon içerisinde bir döngü oluşturularak adım sayısına ait değişkenin değeri 0 (sıfır) olana dek azaltılmıştır. Her azaltma işleminin gerçekleştirilmesinde düşey eksen adım motoruna bağlı bulunan transistörlerden ilgili olan tetiklenerek bu hareket gerçekleştirilmiştir. Tetiklenmek istenen transistörün gate bağlı port pini 1 yapılmak sureti ile tetiklenmesi sağlanmıştır.

Donanım bölümünde anlatılmış olan adım motor kontrol yöntemlerinden tam adım yöntemi bu çalışmada adım motorlarını hareket ettirmek için kullanılmıştır. Bu nedenle düşey eksen motorunun bağlı bulunduğu porttaki ilgili pinlerden ardışık iki tanesi 0 (sıfır) diğer iki tanesi 1 yapılmak sureti ile düşey eksen motoru kontrol edilmiştir.

Bu yönlendirme işlemi bittiğinde motor kontrolünü gerçekleştiren fonksiyondan ana döngüye geri çıkılmadan önce GPS modülünün otomatik olarak göndermiş olduğu paketlerden zaman bilgisi alınarak; eski değer yenisi ile güncellenmiştir. Böylece GPS fonksiyonunun işlevini tamamlayarak ana döngüye geri dönülmesi sağlanmıştır. Şekil 3.6' da bu fonksiyona ait akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 3.6 Düşey eksen adım motor kontrolüne ait fonksiyonun akış diyagramı.



### 3.7 Analog Sayısal Dönüştürücüye Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı

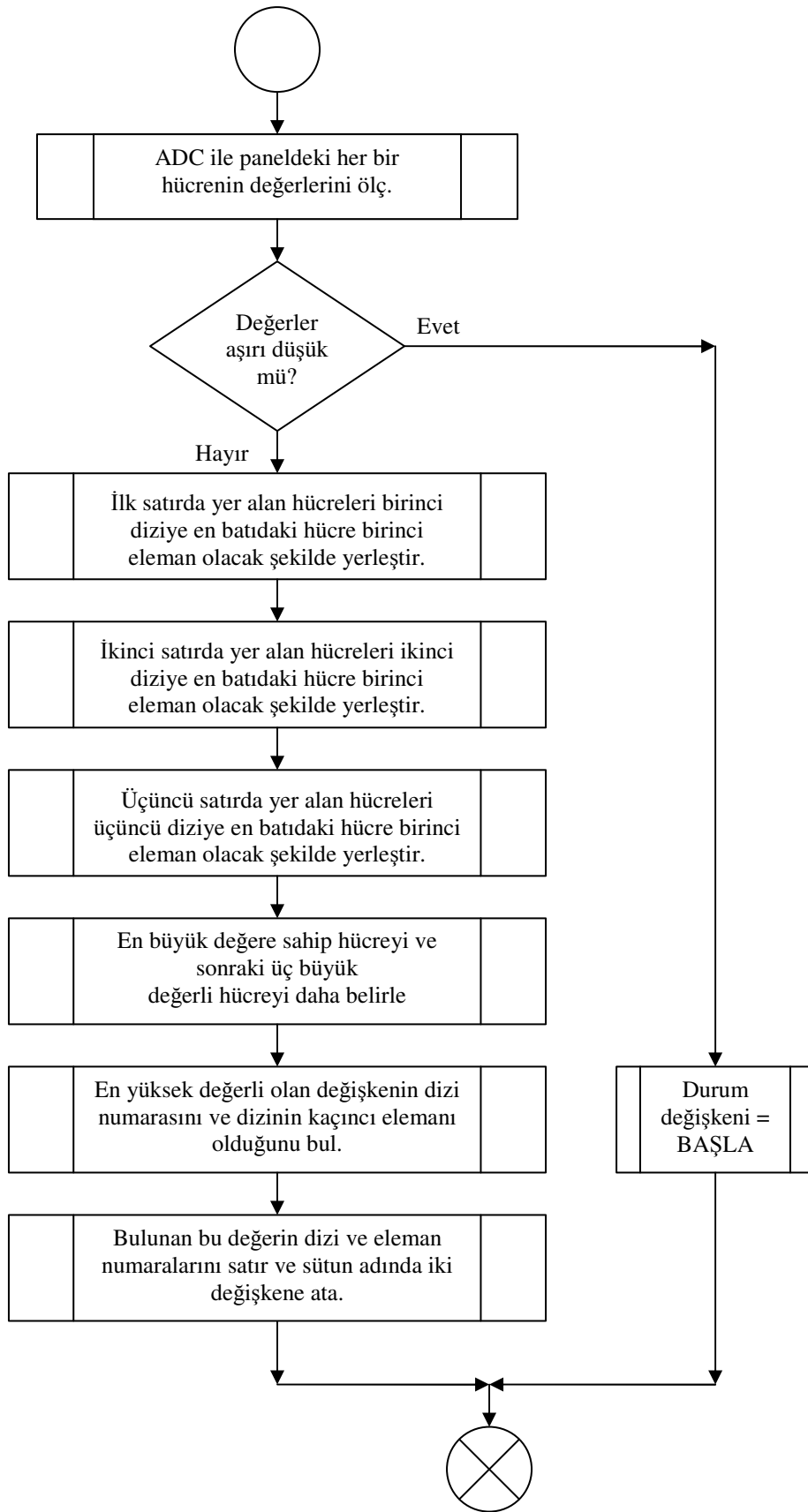
Bu fonksiyon ana döngüden çağırıldığında panel artık genel olarak yönlendirilmiştir. Daha önce güneş panelindeki her bir hücrenin mikrodenetleyicinin yapısında bulunan analog sayısal dönüştürücüye bağlandığından bahsedilmiştir. Bu işlem için mikrodenetleyicinin 10 numaralı port pinleri ile 0 numaralı portun 0 numaralı pini kullanılmıştır. Bu portlara ve pinlere ilişkin ayarlar programın ana döngüsü işletilmeye başlamadan önce yapılandırma ve ayarlamalar kısmında gerçekleştirilmiştir.

Ayarları yapılan ADC birimi bu fonksiyonun çağırılması ve komutların işletilmeye başlaması ile güneş paneli üzerinde bulunan her bir hücrenin üretmiş olduğu elektrik enerjisi miktarını ölçmeye başlamıştır. Ölçülen değerler üçer elemanlı üç diziye kaydedilmiştir. Böylece panel üzerindeki her bir hücrenin matris yapısıyla özdeşleşen bir hafıza karşılığı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hafıza bölgelerinden hangi hücrenin ya da hücrelerin daha fazla enerji ürettikleri tespit edilmiştir. Böylece sistemin bir sonraki aşamada hassas yönlendirme için ağırlıklı olarak yüksek enerji merkezinin tespit edilmesi sağlanmıştır.

Panel üzerinde bulunan hücrelerin ürettikleri enerji miktarı aşırı düzeyde düşük olması halinde sistemin panel durum değişkenine bir değer atanması sağlanmıştır. Bu durumda mikrodenetleyicinin; ADC birimi aracılığı ile panellerden gerçekleştirmiş olduğu ölçme işlemini sonlandırarak fonksiyondan ana döngüye geri çıkması sağlanmıştır. Böylece sistemin bir sonraki aşamada gerçekleştirilecek olan enerji üretimindeki verimi artırmaya yönelik hassas yönlendirme işlemini atlaması ve ana döngünün en başına giderek pusula biriminden başlayarak bütün fonksiyonları tekrar çağırması sağlanmıştır.

Sistemi yeniden başlatma amacıyla tanımlanan bu işlem sadece panellerden üretilen enerji miktarının aşırı derecede düşük olması durumunda devreye girecek şekilde tasarlanmıştır. Bu durum aslında bir nevi hata koşulu olarak sistemde yer alır. Her ne kadar sistemde fiziksel bir aksaklık bulunmasa da yazılım bunu bir hata durumu olarak algılar ve ona göre yazılımsal yeniden başlatma denilen işlemi gerçekleştirmektedir.

Çünkü böyle bir durumda sistemin artık güneşe yönelme durumun kaybetmiş olduğu anlaşılmış ve bundan sonra ölçüm ve yönlendirme yapmaya çalışmaması gerektiğine kanaat getirilmiştir. Şekil 3.7' de bu fonksiyona ait akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 3.7 ADC fonksiyonuna ait akış diyagramı.

### 3.8 Düşey ve Yatay Eksen Hareketine Ait Program Parçacığı ve Akış Diyagramı

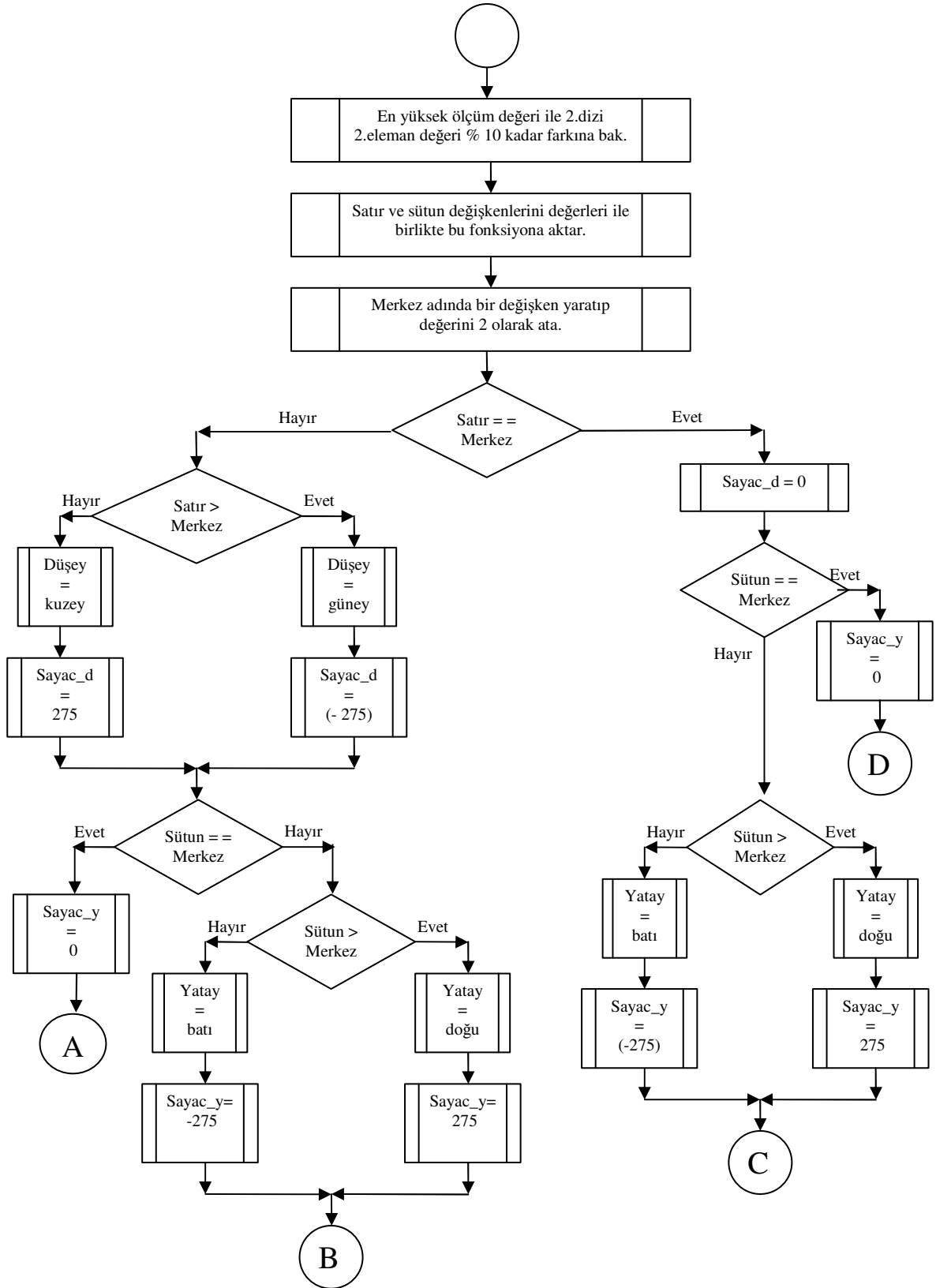
ADC fonksiyonundan aktarılan ve panel üzerindeki dizilişleri ile özdeşleşen üçer elemanlı üç dizide bulunan değerler, bu fonksiyonun ana döngüden çağırılmasıyla birlikte değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu fonksiyonda her bir hücreye ait enerji üretim miktarı karşılaştırılarak en yüksek enerji üreten hücre ve panel üzerinde ağırlıklı enerji üretim merkezinin tespit edilmesi sağlanmıştır.

Fiziksel olarak bu çalışmaya özel bir şekilde panel üzerindeki her bir hücrenin hareket eksenini doğrultusunda bir yanındaki yerini alması yaklaşık olarak  $24^\circ$  lik bir dönüşe denk geldiği hesaplanmıştır.  $24^\circ$  lik bu dönüş bu uygulamada kullanılan adım motorlar tarafından yaklaşık olarak 275 adım ilerletilerek gerçekleştirilebilmektedir.

Bu hesaplar referans alınarak ve dizilerdeki hücrelere karşılık gelen ölçüm miktarları karşılaştırıldığında sistemin hangi yönde ne kadar hareket ettirilmesi gerektiği kolaylıkla bulunmuştur. Örneğin, 1. dizinin 1. elemanı en yüksek ölçüm değerine sahip olduğu varsayılırsa; bu koşul altında sistem güneş panelinin yataydaki adım motorunun batı istikametinde 275 adım ve düşeydeki adım motorunun kuzey istikametinde 275 adım atması sağlanarak yönlendirilmesi gerekmektedir.

Ancak bu durum sürekli değişim içereceği öngörüldüğünden dolayı, sistem yazılımında gerçekleştirilen matematiksel işlem ile en yüksek enerji üretim miktarına sahip olan hücrenin dizideki karşılığı olan değer  $10'$  a bölümünden çıkan sonuç fark referansı olarak alınmıştır. Böylece sistem dizilerdeki elemanlar arasında karşılaştırma yaparken referans değeri kadar bir farklılık bulamazsa hassas yönlendirme yapmadan fonksiyondan çıkmıştır. Böylece sistemin; tasarlanırken  $\%10$  un üzerindeki farklılıklarda hassas yönlendirme yapması öngörülmüştür. Bu sayede verimlilik arttırılmaya çalışılırken gereksiz enerji tüketiminin önüne geçilmiştir.

Bu yönlendirme işleminden sonra durum değişkeninde değişiklik yapılmadan ana döngüye geri çıkılması sağlanmıştır. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9' da bu fonksiyona ait akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 3.8 Düşey ve yatay eksen hareket fonksiyonuna ait akış diyagramı.



#### 4. SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışmaya enerji üretimindeki verimi arttırmak hedefi ile başlandı. Tamamlandığında ise hedeflenen enerji üretimindeki verim artışının, güneşi takip ederek mümkün olabileceği gözlemlendi. Ancak sistemin yapılandırılması aşamasında enerji kaynağı olarak bu aşamada pil, akü, batarya gibi şarj edilebilen bir kaynak kullanılmadığı için; böyle bir kaynakla verimliliğin artırılabilmesi için daha detaylı bir çalışmaya ihtiyaç olduğu fark edilmiştir.

Sistemin tasarım hedefinde yer alan taşınabilirlik ve otonom çalışma özellikleri gerçekleştirilmiştir. Böylece sistem kullanıcıdan herhangi bir müdahale gerektirmeksizin dünya üzerinde nerede olduğu bilgisinden, şu anda hangi yöne dönük olduğuna hatta güneş paneli üzerindeki hangi hücrenin daha fazla enerji ürettiği bilgisini bilmesi sağlanmıştır.

Bu özellik ile panelin önüne geçici bir engel geldiğinde sistemin bu engelin olumsuz etkilerini ortadan kaldırması ve bu geçici engelden kurtularak paneli güneşe çıkartmaya çalışması sağlanmıştır.

Daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda paneli hassas yönlendirme aşamasında ışığa duyarlı dirençler kullanılmıştır. Ancak gerçekleştirilen çalışmada güneş haricinde başka bir ışık kaynağından etkilenerek anlamsız bir doğrultuya yönlenmemesi için panelden alınan geri besleme bilgisi tercih edilmiş ve herhangi bir ışık kaynağından etkilenmesi önlenmiştir. Çünkü çalışma esnasında yapılan araştırmada yaklaşık 1000 W'lık halojen lambaların panel yüzeyine 10 cm' den yaptığı etkinin, bulutlu bir günde güneşin panellere yapmış olduğu etkinin yaklaşık olarak %1'i oranında olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuçta bu çalışmanın asıl hedefi olan otonom çalışma, kullanıcı ve kurulum hatalarının ortadan kaldırılması ve taşınabilirlik özellikleri sağlanmıştır. Diğer taraftan bu çalışmada güdülen yan hedef olarak sistem genişletilmeye çok açık bir yapıda tasarlanmıştır. Güneş panelleri ile üretilen elektrik enerjisinin dönüştürücülerle ve eviricilerle iyileştirilmesi, akü ya da pil gibi bir kaynakla sistemin beslenmesi için şarj ünitelerinin geliştirilmesi gibi konular bu çalışma referans alınarak yapılabilecek çalışma konuları olarak düşünülmüştür.

## KAYNAKLAR

Çelebi, G., (2002), “ Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri”, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Darla, R.B., (2007), “ Development of Maximum Power Point Tracker for PV Panels Using SEPIC Converter”, 29th INTELEC, 29 Eylül – 4 Ekim, Roma.

German Solar Energy Society, (2008), Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers, Earthscan Publications Ltd., 2008, İngiltere.

Hession, J. P. ve Bonwick, J.W., (1984), “Experience With A Sun Tracker System”, Solar Energy, 32:3-11.

Huang, F., Tien, D. ve Or, J., (1998), “A Microcontroller Based Automatic Sun Tracker Combined With A New Solar Energy Conversion Unit”, Power Electronic Drives and Energy Systems fo Industrial Growth, 1 – 3 Aralık, Batı Avustralya.

Kamat, P.V., (2007), “The Journal of Physical Chemistry C”, 111: 2834-2860.

Konar, A. ve Mandal, A.K., (1991), “Microprocessor Based Automatic Sun Tracker”, IEEE Proceedings A, 138:237-241.

Koyuncu, B. ve Balasubramanian, K., (1991), "A Microprocessor Controlled Automatic Sun Tracker", IEEE Transactions on Consumer Electronics, 37:913-917.

Marinescu, D. ve Marinescu, C., (2006), “Control Optimizing Algorithmfor Soft Sun Trackers”, International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 25-28 Mayıs, Romanya.

Messenger, R.A. ve Ventre, J., (2003), Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, 2003, Amerika Birleşik Devletleri.

Rumala, N.S., (1986), “ A Shadow Method for Automatic Sun Tracking”, Solar Energy, 37:245-247.

Şen, Z., (2004), “Türkiye'nin Temiz Enerji İmkânları”, Mimar ve Mühendis Dergisi, 33:6-12.

Tyler, G.H., (2006), Handbook of Mechanical Engineering Calculations, McGraw-Hill Professional, 2006, Amerika Birleşik Devletleri.

Weissbach, R. ve Aunkst, I., (2007), “A Microcontroller Based Solar Panel Tracking System”, American Society for Engineering, 1-3 Nisan 2007, Amerika Birleşik Devletleri.

“Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”, Kanun No: 5346, Kabul Tarihi: 10.5.2005.

**İnternet Kaynakları**

- [1] [http://www.renesas.com/products/mpumcu/m16c/m32c80/m32c83/m32c83\\_root.jsp](http://www.renesas.com/products/mpumcu/m16c/m32c80/m32c83/m32c83_root.jsp)
- [2] <http://www.trimble.com/embeddedsystems/lasseniq.aspx?dtID=overview&>
- [3] <http://www.parallax.com/Store/Microcontrollers/BASICStampModules/tabid/134/ProductID/98/List/1/Default.aspx?SortField=UnitCost,ProductName>
- [4] <http://www.eic.gov.tr>



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	22.02.1983	
Doğum Yeri	Karabük	
Lise	1997-2001	Karabük Mustafa Yazıcı Süper Lisesi
Lisans	2001-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2011	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı Elektronik Programı
<b>Çalıştığı Kurum</b>		
	2007-2010	Tamara Elektronik San. Tic. Ltd. Şti. AR-GE Tasarım Mühendisi

