

**FOTOVOLTAİK GÜÇ KAYNAKLI AKILLI SENSÖR TABANLI
OTOMATİK BUĞDAY BİÇME MAKİNASI
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİMİ**

Abdullah KAPICIOĞLU

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hikmet ESEN
OCAK 2015**

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜÇ KAYNAKLI AKILLI SENSÖR TABANLI OTOMATİK BUĞDAY
BİÇME MAKİNASI TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah KAPICIOĞLU

112119101

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Program : Enerji Eğitimi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hikmet ESEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

OCAK 2015

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜÇ KAYNAKLI AKILLI SENSÖR TABANLI OTOMATİK BUĞDAY
BİÇME MAKİNASI TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah KAPICIOĞLU

112119101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Sunulduğu Tarih:

Tez Danışman: Doç. Dr. Hikmet ESEN

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mehmet ESEN

Yrd. Doç. Dr. Filiz ÖZGEN

OCAK 2015

ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında engin bilgisi ve değerli fikirleri ile çok önemli katkılarda bulunan tez danışmanım sayın Doç. Dr. Hikmet ESEN'e sınırsız desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde birlikte çalıştığım mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yoğun ve stresli çalışmalarımda benden sabrını ve desteğini esirgemeyen eşime ve aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (FÜBAP) tarafından maddi olarak desteklenen TEKF.13.07 nolu projemize katkıda bulunan bütün FÜBAP personeline de ayrıca teşekkür ederim.

Abdullah KAPICIOĞLU
ELAĞIĞ- 2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XII
1.GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ PİLLERİ.....	2
2.1. Güneş Pillerinin Yapısı.....	3
2.1.1. Güneş Pili Hücrelerinde Kullanılan Malzemeler.....	3
2.1.1.1. Kristal Malzemeler	4
2.1.1.1.1. Tek Kristal Silisyum.....	4
2.1.1.1.2. Çok Kristalli Silisyum	5
2.1.1.1.3. Galyum Arsenit (GaAs).....	5
2.1.1.2. İnce Film Malzemeler.....	6
2.1.1.2.1. Amorf Silisyum (a-Si)	7
2.1.1.2.2. Kadmiyum Tellür (CdTe).....	7
2.1.1.2.3. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe ₂ , veya CIS).....	8
2.2. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi.....	8
2.3. Güneş Pillerinin Kullanım Alanları.....	10
3. TARIMSAL ALANLARDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI KULLANIMI ..	12
4. FOTOVOLTAİK GÜÇ KAYNAKLI AKILLI SENSÖR TABANLI BUĞDAY BİÇME MAKİNASININ TASARIMI.....	18
4.1. Taşıyıcı Aracın Tasarlanması	18
4.1.1. Fırçasız DC Motor.....	19
4.1.2. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi	20

4.1.3. Lityum Polimer Bataryalar	20
4.1.4. LiPo Şarj Cihazı	22
4.2. Fotovoltaik Sistem.....	22
4.2.1. Güneş Pili	23
4.2.2. Şarj Kontrol Ünitesi.....	24
4.3. Kesici Takım	25
4.4. Akıllı Sensör Sistemi	26
4.4.1. Lazer Tarayıcı Sistem.....	27
4.4.2. Bağlantı Modülü	28
4.5. Prototipin Oluşturulması	29
4.6. FBBM Sisteminin Çalışma Prensipleri.....	31
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	35
5.1. Deneylerde Ölçülen Parametreler	35
5.1.1. Akım - Gerilim Ölçümleri	35
5.1.2. Biçilen Alan (Saha) Ölçümleri	36
5.2. Deneylerin Yapılışı.....	36
5.2.3. Panel Veri Deneyleri	45
5.2.4. Saha Deneyleri.....	50
5.2.5. Araç (biçme) Deneyleri	56
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ÖZET

Çağımızın en büyük problemleri çevre kirliliği ve fosil yakıt kaynaklarının azalmasıdır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak günümüzde tarım faaliyetleri çok büyük oranda makinalarla gerçekleştirilmekte ve bu makinaların enerji ihtiyaçları çoğunlukla petrol ürünleri ile karşılanmaktadır. Bu ürünler tarım maliyetini artırmakta ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak emisyon üretmemeleri ve sınırsız olmaları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları da her geçen gün daha fazla ilgi çekmekte ve kullanılmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaiik dönüşümle enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından en büyük potansiyele sahip olan güneşten alan, akıllı sensörler ile desteklenmiş buğday biçme makinası tasarlanmıştır. Panel, akıllı sensör ve genel sistem performansları ayrı ayrı ele alınarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaiik, yenilenebilir enerji, akıllı sensör, buğday biçme.

SUMMARY

An experimental research for smart sensor based photovoltaic supported wheat mower

The biggest problem of our time are environmental pollution and the reduction of fossil fuel resources. Most of the agricultural activities are performed by machines accordingly to development of technology in our day. The energy required by these machines are commonly provided by petroleum products. These products raise the cost of agricultural activities and cause environmental pollution. In parallel to this developments, since they do not produce emission and they are limitless, renewable energy resources attract more attention and they are more widely used day by day. In this study, a wheat mover machine was designed supported by smart sensors and taking its energy with photovoltaic transformation from the sun, biggest renewable energy resources. The performances of the panel, the smart sensor and the general system are considered and evaluated separately.

Keywords: Photovoltaic, renewable energy, smart sensor, wheat mower.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Fotovoltaik bir sistem örneği.....	2
Şekil 2.2. Silisyumun doğada bulunma görünümü.....	3
Şekil 2.3. Tek kristal hücreler ile oluşturulan güneş pili	4
Şekil 2.4. Çok kristalli silisyum solar hücre.	5
Şekil 2.5. Galyum arsenit	6
Şekil 2.6. İnce film güneş pili hücreleri	6
Şekil 2.7. Amorf silisyum güneş pili	7
Şekil 2.8. Kadmiyum tellur güneş hücreleri	8
Şekil 2.9. Güneş pilindeki fotovoltaik enerji dönüşümü	9
Şekil 3.1. Güneş enerjisi ile kurutma şekilleri.....	15
Şekil 4.1. Fırçasız motor, elektronik kontrol ünitesi ve lityum polimer bataryaların görünümü.....	19
Şekil 4.2. FBBM sistemindeki fırçasız motorun görünümü.....	20
Şekil 4.3. FBBM sisteminde kullanılan elektronik hız kontrol ünitesinin görünümü.....	20
Şekil 4.4. FBBM sisteminde kullanılan lityum polimer bataryanın görünümü.....	22
Şekil 4.5. Tam dolu batarya hücreleri voltaj değerlerinin görünümü.....	22
Şekil 4.6. 68 Watt esnek güneş pili	24
Şekil 4.7. Şarj kontrol ünitesi	25
Şekil 4.8. Kurulan FBBM’de sistemindeki kesici takımın görünümü	26
Şekil 4.9. Akıllı sensör sistemi görüş alanı	27
Şekil 4.10. Lazer tarayıcı algılama alanı görüntüsü	28
Şekil 4.11. Bağlantı modülünün görünümü.....	29
Şekil 4.12. FBBM sisteminin taslak çizim hali	30
Şekil 4.13. Prototip araç parçalarının yerleşimi	31
Şekil 4.14. FBBM çalışma şeması.....	32
Şekil 4.15. FBBM akış diyagramı.	33
Şekil 5.1 Akım- gerilim ölçümleri.....	35
Şekil 5.2. SOPAS engineering tool yazılımı ekran görünümü	36
Şekil 5.3. Solar hücre devre diyagramı.....	38

Şekil 5.4. Solar hücre I-V karakteristikleri.....	40
Şekil 5.5. Panelin değişken ışıınım değerlerindeki I-V grafiği	43
Şekil 5.6. Panelin değişken sıcaklık değerlerindeki I-V grafiği.	44
Şekil 5.7. Panelin değişken sıcaklık değerlerindeki P-V grafiği..	44
Şekil 5.8. FBBM sistemi üzerindeki güneş pilinin farklı görünüşleri	45
Şekil 5.9. Belirlenen tarihlerdeki saatlik güneş ışıınım ve sıcaklık değişim grafiği	46
Şekil 5.10. Bataryanın şarjı esnasındaki güneş pili ve şarj kontrol çıkış gerilim değerlerinin değişimi	47
Şekil 5.11. Bataryaların şarj esnasındaki gerilim ve şarj akım değerlerinin değişimi.....	48
Şekil 5.12. Bataryaların şarj esnasındaki giriş ve dolum akım değerlerinin değişimi.....	49
Şekil 5.13. Bataryanın şarjı esnasındaki anlık güç değişimi.	50
Şekil 5.14. 4 metre enindeki bir odada yapılan alan tarama denemesi.....	50
Şekil 5.15. İlk bölgeye giren nesnenin algılanması.	51
Şekil 5.16. İkinci bölgeye giren nesnenin algılanması.	52
Şekil 5.17. Üçüncü bölgeye giren nesnenin algılanması.	52
Şekil 5.18. Sistemin 40 cm çaptan küçük nesneleri tanımaması.	53
Şekil 5.19. ASS'nin tarama alanının değiştirilmesi.....	53
Şekil 5.20. İki farklı nesnenin algılanma durumu.	54
Şekil 5.21. Dairesel alanda buğdayların algılanması.....	55
Şekil 5.22. Dairesel alanda birinci bölgeye kadar yaklaştırılan buğdayların algılanması ...	55
Şekil 5.23. FBBM sistemine en uygun alanda biçme alanın görüntüsü.	56
Şekil 5.24. Buğday biçme işleminin başlaması.	56
Şekil 5.25. Biçme deneylerinin gerçekleştirildiği tarlaların uydudan görünümü.....	57
Şekil 5.26. Kumanda ekran görüntüsü ve zaman ölçerin çalışması	57
Şekil 5.27. Harcanan elektriksel yük ve biçme alanının zamana göre değişim grafiği.	58

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. 1990 – 2010 yılları arası CO ₂ gazı oluşum değerleri	13
Tablo 4.1. Lityum polimer bataryaların teknik özellikleri.	21
Tablo 4.2. Güneş pili teknik özellikleri.	23
Tablo 4.3. Şarj kontrol ünitesi teknik özellikleri.	24
Tablo 4.4. Kesici takım teknik özellikleri	25
Tablo 4.5. Lazer tarayıcı sistemin teknik özellikleri	27
Tablo 4.6. FBBM'nin teknik özellikleri ve maliyet analizi	34
Tablo 5.1. S225M36 güneş pili katalog verileri.	43
Tablo 5.2. Zamana bağlı ortam ve panel verileri.....	46

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Güneş hücresi alanı (m^2)
C	: Deşarj sabiti
G_a	: Ortam ışıınımı (W/m^2)
G_{ref}	: Standard test ışıma miktarı (W/m^2)
FF	: Doluluk oranı
I	: Akım (A)
I_0	: Diyot doyma akımı (A)
I_d	: Diyot akımı (A)
I_{max}	: Maksimum akım (A)
I_{ph}	: Fotoakım (A)
I_{sc}	: Kısa devre akımını (A)
k	: Boltzman sabiti (J/K)
K_0	: Akım sıcaklık katsayısı
K_t	: Tork sabiti
K_v	: Volt başına dönüş hızı (rpm/V)
n	: Diyot kalite faktörü
N_p	: Hücre Sayısı (Adet)
P_{in}	: Gelen ışımaya bağlı güç (W)
P_{max}	: Maksimum güç (W)
q	: Elektron yükü (C)
R	: Direnç (Ohm)
R_s	: Seri direnç (Ohm)
R_{sh}	: Paralel direnç (Ohm)

T : Mutlak sıcaklık (K)
 T_{ref} : Standard test sıcaklığı (°C)
 V : Gerilim (V)
 V_{max} :Maksimum gerilim (V)
 V_{oc} : Açık devre gerilimi (V)
 V_t : Termal Gerilim (V)
 η : Verim

KISALTMALAR LİSTESİ

ASS	: Akıllı Sensör Sistemi
FBBM	: Fotovoltaik Buğday Biçme Makinası
LiPo	: Lityum Polimer

1.GİRİŞ

Yenilenebilir enerji sürekliliği olan bir enerji kaynağıdır. Güneş, biyokütle, rüzgâr ve jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynaklarının en çok kullanılan türlerindendir ve şu anda dünyadaki toplam enerji talebinin % 15 - % 20'sini karşılamaktadır. Kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil kaynakların hızla azalması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son yıllarda önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki gelişme, fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve nükleer enerji kullanımının riskleri ile ilişkilidir. Günlük hayatımızın en önemli konulardan olan çevrenin korunması ve gelecek nesillere miras bırakacağımız dünyanın sürdürülebilirliği yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasından geçmektedir [1].

Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde en yüksek enerji potansiyeline sahip olup, ısıtma, kurutma ve elektrik üretimi gibi birçok farklı alanda kullanıma sahiptir. Dünyada var olan fosil yakıt potansiyelinin yaklaşık 160 katı enerjiyi dünyaya bir yılda düşen güneş ışınımı ile elde etmek mümkündür. Bu enerjinin çok düşük bir miktarını aktif olarak kullanabilmemize rağmen, günümüzde güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerin kullanımı her geçen gün biraz daha artmaktadır [2, 3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tarım alanında kullanımı ise son yıllarda oldukça artmıştır. Fosil kaynaklardan elde edilen enerjinin kullanımıyla ortaya çıkan çevresel sorunları azaltabilmesi nedeniyle fosil yakıtlara en çok ihtiyaç duyan alanlardan olan tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak oldukça önemlidir. Tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yöntemi, bölgesel koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte dünyanın birçok ülkesinde kullanımı etkin bir biçimde yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından ülkemizde potansiyeli oldukça fazla olan güneş enerjisi kullanılarak enerji ihtiyacı karşılanmış bir buğday biçme makinesi prototipi yapılmıştır. Günlük hayatın her alanında karşımıza çıkan teknolojik gelişmenin bir yansıması olarak akıllı sensörlerle donatılmış bu araç daha akıllı ve daha çevreci tarım aracı yapmak fikrinden hareketle tasarlanmıştır. Kurulan bu sistemle buğday biçme işi, klasik sistemlerle kıyaslanarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. GÜNEŞ PİLLERİ

Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki istikrarlı ilerleme ile birlikte dünya genelindeki çevresel kaygılar ve enerji ihtiyacına artan talep, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için yeni alanlar ortaya çıkarmaktadır. Güneşten dünya yüzeyine düşen ışıınım miktarı 1.8×10^{11} MW olarak hesaplanmıştır. Güneş pilleri (fotovoltaik etki) güneş potansiyelini en iyi kullanan yollardan biridir [4].

Fotovoltaik sistemler yardımıyla herhangi bir ısı motoru olmadan güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek mümkündür. Fotovoltaik sistemler basit tasarımlı ve dayanıklı olmakla birlikte çok az bakım ve onarım gerektirmektedir. Elektrik üretim değerleri de farklı düzeylerde olabilmektedir. Dolayısıyla güç kaynağı olarak, güneş enerjili ev sistemlerinde, iletişimde, uydu ve uzay araçlarında ve hatta çok büyük ölçekli enerji santrallerinde kullanımı mümkündür. Geniş bir kullanım alanına sahip olması nedeniyle fotovoltaik sistemlere olan talep her yıl artmaktadır [4]. Şekil 2.1’de fotovoltaik bir sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Fotovoltaik bir sistem örneği.

Fotovoltaik sistemlerde güneş ışıınımını elektrik enerjisine çeviren parçalara güneş pili adı verilmektedir. Güneş pilleri güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyondan faydalananarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür [5].

2.1. Güneş Pillerinin Yapısı

Günümüzde en yaygın kullanılan güneş pili silisyumdan üretilir. Silisyumun göze kalınlığı 0.25 mm, kenar uzunluğu 10, 12.5, 15 cm veya üzeri boyutlarda olan bir kare biçimindedir. Kuvarstan veya silisten (SiO_2 ; kum) elde edilen külçe silisyumun saflaştırılmasıyla üretilen kristal güneş pili halen en yaygın kullanılan göze tipidir. Şekil 1.2’de silisyumun doğada bulunma görünümü verilmiştir [6].



Şekil 2.2. Silisyumun doğada bulunma görünümü.

Hücre kalınlığı 0.25 mm (250 μm) civarında olan kristal güneş pillerine göre çok daha ince olan (birkaç μm civarı) amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe), bakır-indiyum-diselenid gibi ince film hücreleriyle % 7 - % 13 aralığında dengeli verim katsayıları elde edilmektedir. Ticari ince film güneş pilleri kristal yapıdaki güneş pillerine göre daha ucuza üretilebilmekte, görünümleri daha güzel olmakta, ancak, düşük verimleri nedeniyle aynı enerjiyi üretmek için daha fazla yer, kablo ve montaj malzemesi gerekmektedir [6].

2.1.1. Güneş Pili Hücrelerinde Kullanılan Malzemeler

Güneş pili hücreleri yarı iletken malzemelerden üretilir. En önemlileri kristal ve ince film yapıda olanlarıdır. Bu malzemeler, ışık emme verimi, enerji dönüşüm verimliliği, üretim teknolojisi ve üretim maliyeti açısından birbirinden farklı özellik gösterirler.

2.1.1.1. Kristal Malzemeler

2.1.1.1.1. Tek Kristal Silisyum

Güneş pili yapılmasında yaygın olarak tek kristal silisyum hücreler kullanılmaktadır. Tek kristal yapıda silisyum üretmek için temel teknik, Czochralski (CZ) yöntemidir. Yüksek saflıkta polikristal bir kuvars kap içinde eritilir. Tek-kristal silisyum tohumu kristalli bu kaba daldırılır. Tohum eriyikten yavaş yavaş çekilerek, tek bir kristal külçe oluşturulur. Hazırlanan külçeler 200-400 mikron kalınlığında ince plakalar halinde kesilir. İnce plakalar kesildikten sonra parlatılıp kaplanır ve karşılıklı olarak monte edilir [7].

Tek kristalli silisyum hücreler üniform molekül yapısına sahiptir. Kristal olmayan malzemeler ile karşılaştırıldığında tek kristal silisyum hücrenin enerji dönüşüm verimliliği yüksektir. Yüksek enerji dönüşüm verimliliği, güneş ışığına maruz kalan belirli bir alanda daha fazla elektrik üretimi anlamına gelmektedir. Ticari kullanımda tek silikon güneş pillerinin enerji dönüşüm verimlilikleri % 15-20 arasındadır. Tek kristalli silisyum hücrelerden oluşturulan güneş pilleri enerji verimliliklerinin yanı sıra dış ortam uygulamaları içinde son derece uygundur. Şekil 2.3’de tek kristal silikon hücrelerden oluşturulmuş güneş pili gösterilmektedir [7].



Şekil 2.3. Tek kristal hücreler ile oluşturulan güneş pili.

2.1.1.1.2. Çok Kristalli Silisyum

Çok kristalli silisyumdan yapılmış ticari bir güneş pili için enerji dönüşüm verimliliği % 10 ila % 14 arasında değişmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristalli silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmektedir. Şekil 2.4’de çok kristalli silisyum hücrelerden oluşturulmuş güneş pilinin dış görünümü verilmiştir [7].



Şekil 2.4. Çok kristalli silisyum solar hücre.

2.1.1.1.3. Galyum Arsenit (GaAs)

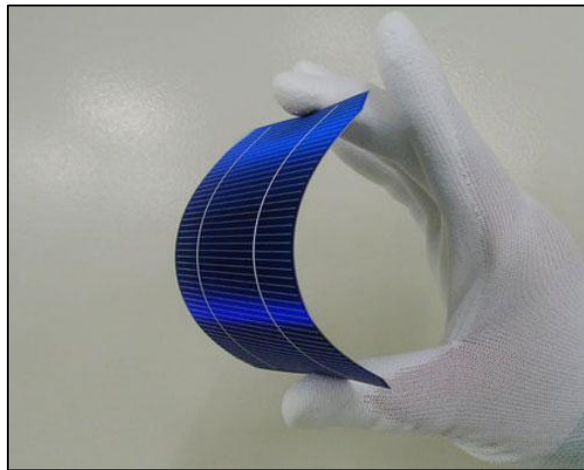
Galyum (Ga) ve Arsenit (As)’den yapılmış bir bileşik yarı iletkenidir ve GaAs silisyuma benzer bir kristal yapıya sahiptir. Şekil 2.5’de GaAs bir külçe gösterilmiştir. GaAs yüksek ışık emme gücüne sahiptir. 200 – 300 mikronluk tabaka kalınlığındaki bir kristal silikon ile aynı miktarda güneş ışınımı emmek için GaAs sadece birkaç mikron kalınlığında bir tabakaya ihtiyaç duyar. Ayrıca, GaAs’in kristal silisyuma göre % 25-30 ulaşan çok daha yüksek bir enerji dönüşüm verimliliği vardır. Isıya karşı yüksek direnci nedeniyle, hücre sıcaklıkları yüksek olan yoğunlaştırıcı sistemler için ideal bir seçimdir. Bunlara ek olarak GaAs güçlü radyasyon hasar direnci ve yüksek hücre verimliliği gerektiren uzay uygulamalarında da popülerdir [7].



Şekil 2.5. Galyum arsenit.

2.1.1.2. İnce Film Malzemeler

Güneş hücrelerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemini cazip bir yaklaşım olarak ortaya çıkarmıştır. Bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş hücreleri üretiminde kullanılabilecek birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerdeki cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerine kaplanabileceğini göstermiştir. İnce film fotovoltaik malzeme genellikle çok kristalli malzemedir. Başka bir deyişle, ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır [8]. İnce film güneş pili hücreleri Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. İnce film güneş pili hücreleri.

2.1.1.2.1. Amorf Silisyum (a-Si)

Amorf silikon, 1974 yılında keşfedilmesinden bu yana düşük güç çıkışı ve maliyeti gerektiren tüketici elektronik ürünlerinde çok kullanılan yarı iletken fotovoltaik malzeme olmuştur. Amorf silisyumda silikon atomu yapısı düzensiz silikon yani kristalin olmayan bir şeklidir. a-Si önemli bir avantajı, tek kristal silikona göre yaklaşık 40 kat daha yüksek ışık emme potansiyelinin olmasıdır. Bu nedenle a-Si'nin sadece ince bir tabakası fotovoltaik hücreleri yapmak için yeterlidir. Ayrıca a-Si demir, cam, plastik gibi ucuz maliyetli materyallerin üzerine kaplanmasıyla kullanmak mümkündür. Bu yüzden, toplam malzeme ve üretim maliyetleri kristalin silikon hücreler ile karşılaştırıldığında birim alan başına daha düşük olmaktadır. Ekonomik avantajlara rağmen, düşük hücre enerji dönüşüm verimliliği dezavantajı olarak gösterilebilir. Amorf silisyum hücrelerden oluşan güneş pili Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



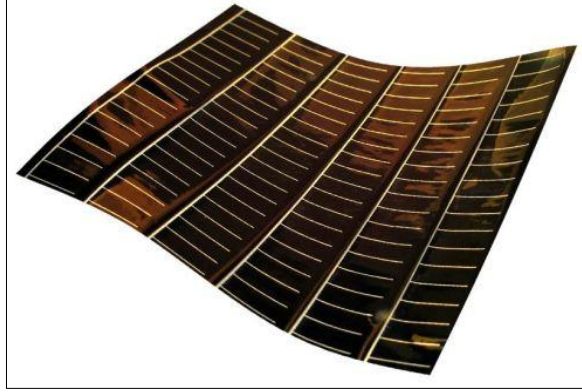
Şekil 2.7. Amorf silisyum güneş pili.

2.1.1.2.2. Kadmiyum Tellür (CdTe)

Kadmiyum ve tellür kullanılarak yapılmış bir polikristal yarı iletken bileşik olan CdTe, yüksek ışık emme potansiyeline sahiptir ve sadece bir mikrometre olan kalınlıktaki tabakası güneş spektrumunun % 90'ını emebilmektedir. Ayrıca buharlaştırma, püskürtme veya serigrafî gibi işlemler ile imalatının nispeten kolay ve ucuzdur. Bir ticari CdTe güneş pili için dönüşüm verimliliği, a-Si aynı oranlardadır. Şekil 2.8'de CdTe hücreleri gösterilmiştir.

Hücre ve güneş pili performansındaki istikrarsızlık CdTe kullanmanın önemli dezavantajlarından biridir. Bir başka dezavantaj ise kadmiyum toksik bir madde olmasıdır.

CdTe güneş pillerinde çok az kadmiyum kullanılmasına rağmen, üretim sürecinde birçok önlemin alınması gerekir.



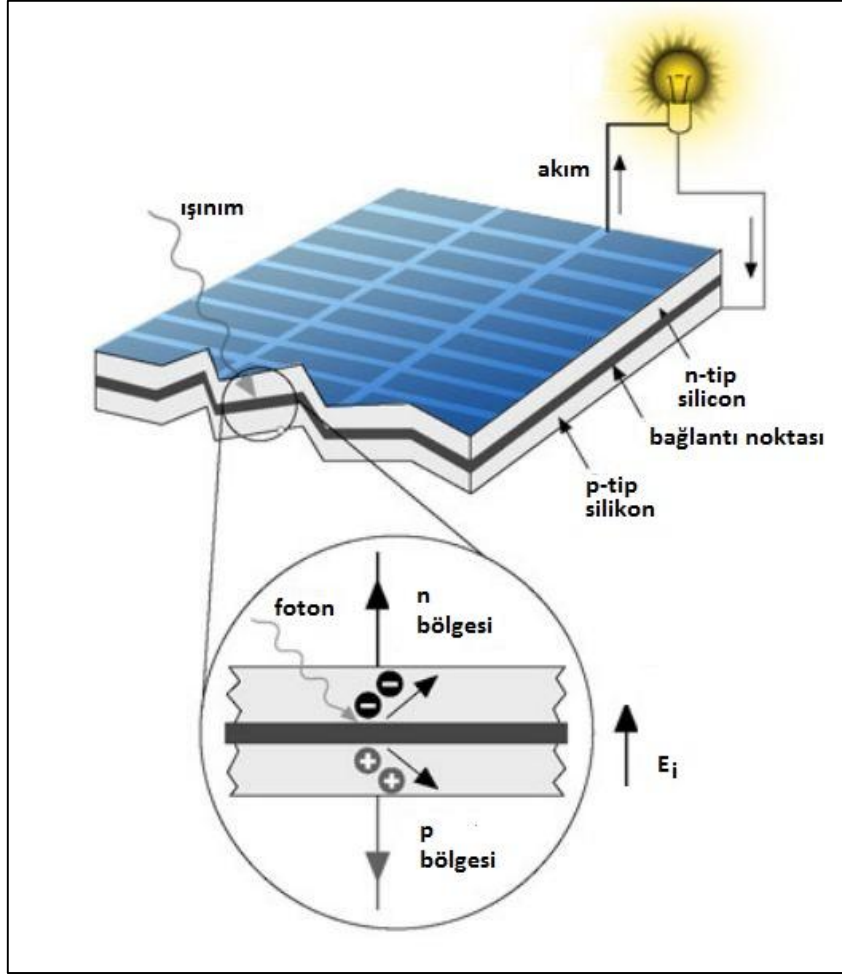
Şekil 2.8. Kadmiyum tellur güneş hücreleri.

2.1.1.2.3. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂, veya CIS)

Polikristal yarı iletken bir bileşik olan CIS, ince film endüstrisinin en önemli araştırma alanlarından biri olmuştur. 1996 yılında yapılan bir araştırma ile CIS'in mevcut tüm ince film malzemeler arasında en yüksek enerji dönüşüm verimliliğine sahip olduğu gösterilmiştir. CIS aynı zamanda en hafif emici yarı iletkenlerden biridir. Bu özelliklerinin yanında CIS etkin ama karmaşık bir malzemedir. Bu karmaşıklık üretim sürecini zorlaştırmaktadır [7].

2.2. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

Enerji dönüşümü fotovoltaiik olaya dayanmaktadır. Fotovoltaiik olayda, ışık fotonları özellikle eklem bölgesine ulaştığında elektronlara çarparak serbest yük çiftleri oluşturlar. Uyarılan negatif yüklü her elektron, gerisinde pozitif yüklü bir boşluk bırakır. Bu yük taşıyıcıları, eklemle kurulan doğal iç ters elektrik alanla akım katkısı oluşturmak üzere çoğunlukta oldukları bölgelere sürülür. Bu alan, fotonla enerji kazanan yük taşıyıcılarının hareketlerinde hangi tarafa eğilimli olduklarını ifade eden bir enerji engeli olarak düşünülebilir. Böylece fotonlarla üretilen negatif yüklü elektronlar n-bölgesinde, pozitif yüklü taşıyıcılar p-bölgesinde toplanarak bir gerilim üretilmektedir [9]. Bu durum prensip olarak Şekil 2.9'da verilmektedir.



Şekil 2.9. Güneş pilindeki fotovoltajik enerji dönüşümü.

Işık uyarımı altındaki bir güneş hücresi, ışıının şiddetine bağlı olarak daha büyük ters sızıntı akımı üretmektedir. Üretilen bu akımı hücre uçlarında bir gerilim oluşturmaktadır. Diğer yandan üretilen gerilim, p-n eklemine ileri yönde uyardığından akım ters yönlü bir diyot akımına da neden olmaktadır. Dış devreye aktarılabilecek akımı bu iki akımın farkı olmaktadır [9]. Güneş pillerine bağlanacak yükün gücüne göre üretilecek akım ve gerilimin şiddetini arttırmak için birden fazla sayıda güneş pili birbirine seri veya paralel ya da hem seri hem de paralel bağlantı yapılarak gerçekleştirilir [9].

2.3. Güneş Pillerinin Kullanım Alanları

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pilleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, batarya şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür. Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde bataryalar bulundurulur. Güneş pili sistemleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bataryaları doldurur. Gece veya güneş ışınımının yetersiz olduğu zamanlarda gerekli olan enerji bataryalardan alınır. Bataryanın aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise bataryaların durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da bu enerjiyi kullanan cihazların çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek bataryalardaki DC gerilim, 220 V, 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur.

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçteki sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine aktarılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir [10].

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır [10].

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri,
- Petrol boru hatlarının katodik koruması,
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan koruması,

- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları,
- Bina içi ya da dışı aydınlatma,
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması,
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı,
- Orman gözetleme kuleleri,
- Deniz fenerleri,
- İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri,
- Deprem ve hava gözlem istasyonları,
- İlaç ve aşı soğutma,
- Otoyol ışıklandırması.

3. TARIMSAL ALANLARDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI KULLANIMI

Dünyada yaygın kullanılan enerji kaynağı fosil yakıtların yakılması sonucu oluşmaktadır. Fakat fosil yakıtların yakılması karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarını meydana getirmekte ve atmosferdeki yoğunlukları artmaktadır. CO₂, metan (CH₄) ve diazotmonoksit (N₂O) gazlarının atmosferdeki birikimleri, insan etkinleri nedeniyle 1750 yılından beri artmıştır ve en az son 800.000 yıllık dönemde hiç olmadığı kadar yüksek bir düzeye ulaşmıştır. Bu gazların 2011 birikimleri, sanayi öncesi düzeylerine göre sırasıyla % 40, % 150 ve % 20 oranında artarak, aynı sırayla 391 ppm (milyonda bir), 1803 ppb (milyarda bir) ve 324 ppb düzeylerine yükselmiştir. Okyanuslar atmosfere salınan insan kaynaklı karbonun yaklaşık % 30'unu emerek asitlenmiştir [11].

İnsanların fosil yakıt kullanmalarına bağlı olarak, ortalama küresel yüzey sıcaklığını 21. yüzyılın sonunda 1.4 ile 5.8 °C derece artıracığı ve ortalama deniz seviyesinin sadece ısı genleşmeye bağlı olarak 0.59 metreye kadar artacağı öngörülmektedir. Bu değerlendirme 1980-1999 arasındaki seviye baz alınarak sunulmaktadır. Bu iklimsel değişikliklerden en fazla nasibini alan bölgelerin başında Avrupa ülkeleri gelmektedir. 2013 enerji raporuna göre Avrupa Birliği ülkelerinin yakıt kullanımından kaynaklı CO₂ emisyonun 4.174 milyon ton olduğu ve bu emisyonun % 22'si ulaşımdan kaynaklandığı açıklanmıştır. 1990 – 2010 yılları arası CO₂ emisyon oluşum değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir [12-13].

Tablo 3.1. 1990 – 2010 yılları arası CO₂ gazı oluşum değerleri [12-13].

Milyon Ton CO ₂	CO ₂ Emisyonu	Yakıt Yakma Faaliyetleri	Enerji Endüstrisi	İmalat Endüstrisi ve İnşaat	Ulaşım	Ticari / Kurumsal	Konut	Tarım / Ormancılık / Balıkçılık
1990	4 601	4 114	1 658	852	762	199	502	92
1991	4 545	4 090	1 637	806	770	207	535	90
1992	4 385	3 936	1 558	759	792	194	506	86
1993	4 315	3 870	1 497	742	797	186	520	88
1994	4 293	3 834	1 504	738	803	174	488	87
1995	4 345	3 873	1 504	756	816	180	488	88
1996	4 458	3 983	1 535	746	841	197	535	89
1997	4 390	3 894	1 487	745	853	182	502	87
1998	4 396	3 892	1 504	715	880	182	492	84
1999	4 329	3 832	1 462	693	899	181	479	84
2000	4 366	3 844	1 491	702	897	175	465	81
2001	4 443	3 929	1 530	683	911	192	499	82
2002	4 415	3 900	1 548	664	923	180	473	80
2003	4 521	3 989	1 599	676	932	182	487	80
2004	4 553	3 992	1 586	678	951	186	479	80
2005	4 551	3 970	1 574	673	951	182	478	80
2006	4 566	3 965	1 583	671	958	180	465	77
2007	4 523	3 907	1 592	664	967	165	412	73
2008	4 426	3 828	1 515	636	949	176	445	75
2009	4 063	3 552	1 390	536	924	172	427	73
2010	4 174	3 652	1412	577	919	179	461	75

Avrupa Birliği'nin 2020 için devreye soktuğu iklim ve enerji politikası, sera gazı salınımının 1990 yılına kıyasla en az % 20 azaltılmasını ve yenilenebilir enerjinin payının % 20'ye yükseltilmesini hedeflemektedir. Bu hedef çerçevesinde 2010 yılında 1990 yılına oranla sera gazı emisyonlarında % 17 bir azalış gerçekleştirmeyi başarmıştır [13]. Sera gazı emisyonunun azaltılması için bir yöntemde elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araçların yerine kullanılmasına başlanmasıdır [14]. Bu dönüşümde, çoğunlukla dizel yakıtlar ile çalışan tarım araçlarının yerine elektrikli araçların kullanılması da kaçınılmaz olmuştur. Kırsal alanlara elektrik ulaştırılması da dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için önem arz etmiştir. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla fotovoltaiik sistemleri kullanılması faydalı olmuştur ve olacaktır. Mobil uygulamalara yatkın, bakım maliyetleri düşük ve elektrik üretimi doğrudan güneşten yapabilen bu sistemlerin tarım alanında kullanılabilirlikleri de yüksek olmaktadır.

Zirai araçlara güç sağlayacak çeşitli enerji kaynakları incelendiğinde içten yanmalı motorlu araçların dizel yakıtta bulunan enerjinin %23'ünü mekanik enerjiye çevirirken elektrikli araçlarda bu oranın % 85 olduğu görülmüştür [15]. Bu oranlar arasındaki farkın

fosil yakıtta bulunan kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüştürürken açığa çıkan enerjinin büyük çoğunluğunun ısı olarak kaybedilmesidir [16]. Sıcak bölgelerdeki elektrik tedarigi için güç sağlayacak olan hibrit fotovoltaiik-dizel-batarya sistemleri incelendiğinde sonuçlar şunu göstermektedir: Bir hibrit 4 kWp fotovoltaiik pilinin 10 kW'lık dizel jeneratör sistemi ile 3 saatlik batarya depolamasının elektrik tedarikinin % 22'sini karşıladığı bulunmuştur [17].

Tarım alanında kullanılmak üzere, fotovoltaiik pil ve kurşun asit bataryalar kullanılarak enerji ihtiyacı sağlanan bir elektrikli aracın bataryalarındaki kimyasal enerjinin % 75'inin mekanik enerjiye dönüştürülebileceği bildirilmiştir [18]. Ayrıca elektrikli araç sisteminin uygulanması yıllık CO₂ salınımı % 23 önlemektedir ama bu durumda araç kullanım süresi boyunca kurşun asitli bataryaların % 20.5 kurşun emisyonu meydana getireceği gösterilmiştir [19]. Buna karşın kurşun asit bataryaların çevreye verdiği kurşun emisyonunu ortadan kaldırmak, daha yüksek dönüşüm oranı elde etmek yeni gelişen bataryalar ile mümkündür [20].

Güney Akdeniz bölgesinde, kırsal çiftlik alanlarında kullanılmak üzere batarya kaynaklı elektrik araçlar incelenmiştir. Sonuç olarak bu araçların tamamen içten yanmalı araçların yerini kullanılamasa da % 63 oranında enerji ihtiyacının karşıladığını ortaya koymuştur [21].

Suudi Arabistan'da yapılan tarım alanında yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili bir çalışmada, tarımsal alanların sürdürülebilir elektrik tedariki amacı ile şebekeden bağımsız hibrit fotovoltaiik-dizel-batarya güç sistemlerinin değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlar şunu göstermektedir ki; 2.5 MWp panel, 4.5 MW dizel jeneratör ve 1 saatlik batarya depolamasından oluşan bir hibrit sistem, tedarik edilecek elektriğin % 27'sini sağlamakta ve yalnız dizel sistem ile karşılaştırıldığında karbon emisyonunu % 24 kadar azaltmaktadır [22].

Tarımsal üretim işlemleri arasında çok fazla miktarda enerji tüketilen diğer başlıca işlemler: sulama, ürün kurutma, sera ve hayvan barınaklarının ısıtma ve soğutulmasıdır. Bu işlemler sırasında yaygın olarak; motorin, doğal gaz, elektrik, sıvılaştırılmış petrol gazı veya propan gibi yakıtlar kullanılır. Fosil yakıtların doğrudan veya dolaylı olarak kullanımıyla ortaya çıkan çevresel sorunların etkin bir şekilde önlenmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması gerekir. Bununla birlikte, tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yöntemi bölgesel koşullara bağlı olarak değişir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir

enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir [23].

Güneş enerjisinden faydalanılarak kurutma da yapılabilmektedir. Kurutma işlemi tarım ürünlerinin bünyesinde bulunan fazla suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması olarak tanımlanmıştır. Kurutulmuş gıdalar, diğer muhafaza yöntemlerinden farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış nitelik kazanırlar [24]. Güneş enerjisinden yararlanılarak yapılan kurutma yöntemlerinden birincisi, kurutulacak ürünün güneş altına serilerek açık havada kurutulmasıdır, ikincisi ise güneş kolektörleri kullanılarak yapılan kurutma şeklidir. Güneş enerjisinden yararlanılarak yapılan kurutma örnekleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir [25-28].



a) Doğal Kurutma



b) Kollektörle (yapay) kurutma

Şekil 3.1. Güneş enerjisi ile kurutma şekilleri.

Güneş enerjisini tarım alanında kullanımının bir yolu da güneş pilleri ile elektrik üreterek bu elektriği tarımda kullanmaktır. Güneş pillerinin bu alanda kullanılması elektriğin ulaşmadığı veya bulunmadığı her yerde şebekeden bağımsız olarak kullanılabilmesi olarak gösterilebilir. Bu enerji uzak noktalara su pompalamadan çiftliklerin ve seraların aydınlatılmasından ısıtılmasına kadar birçok alanda kullanılabilir.

Büyükbaş ve küçükbaş hayvan barınaklarında uygun ortam koşullarının sağlanmasında jeotermal enerjiden yararlanılabilir. Uygulama örneği olarak bir çiftlikte 50 °C sıcaklıktaki jeotermal su kullanılmaktadır. İşletmenin ısı gücü 372 kW’dır. Jeotermal su

havalandırılmadan tanktan pompalanmakta ve geriye dönen 25 °C'deki su odalardaki hava sıcaklığına bağlı olarak sistemdeki suya yeniden karıştırılmaktadır. Isıtma sistemi bir fan yardımıyla çalışan konvektör tipi ısı değiştiricidir. Sistemde içeri giren temiz hava ısıtılarak dağıtım kanallarından üfleme deliklerine iletilmekte ve geriye dönen su bir depoda toplanarak sistem tamamlanmaktadır [29].

Hayvan barınaklarının ısıtılmasının yanında balık yetiştiriciliğinde de jeotermal enerji kullanılmaktadır. Balık yetiştiriciliğinde uygulama sıcaklığı, balık türlerine bağlı olarak değişmekle birlikte, 21–27 °C gibi düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan balıkçılık işletmelerinde yararlanılabilir. Birçok balık türü, jeotermal enerjiyle daha kısa sürede yetiştirilebilir. Jeotermal enerjinin balık yetiştiriciliğinde kullanılması, akışkandan çok enerjinin sıcaklığına bağlıdır. Su ve karada yaşayan hayvanlar için ortam sıcaklığı çok önemlidir.

Mantar üretiminde jeotermal enerjiden faydalanılmaktadır. Mantar üretiminde verim artışı; ortam koşullarının, özellikle sıcaklık, nem ve havalandırmanın tam olarak sağlanmasına bağlı olduğundan, üretim odalarında ortam koşullarının sağlanmasında ve pastörizasyon odalarında jeotermal enerjiden yararlanılmaktadır. ABD'nin Utah eyaletinde en büyük jeotermal kaynağın bulunduğu alanda tesis edilen bir mantar işletmesinde, bu enerji halen kullanılmaktadır [29].

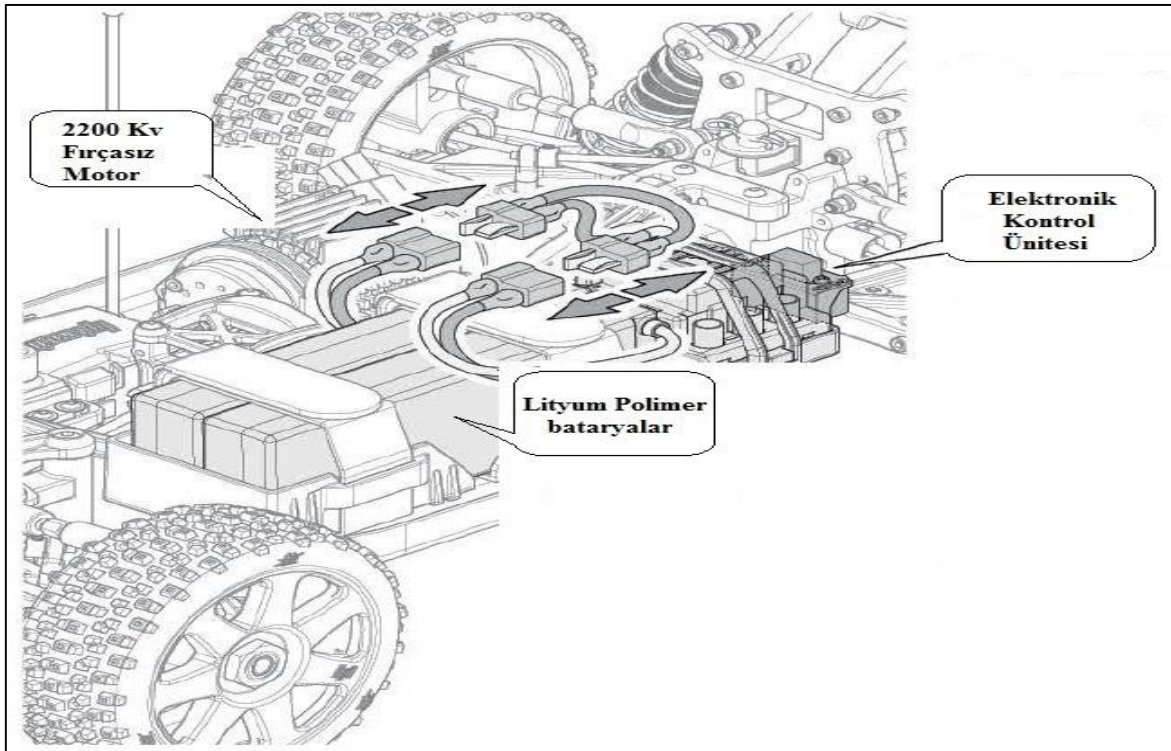
Isıtma amacıyla yenilenebilir doğal enerji kaynaklarının kullanılmasına ve fosil yakıtların tüketildiği geleneksel ısıtma sistemlerine alternatif olarak, düşük maliyetli ve etkinliği yüksek ısıtma sistemlerine yönelilmiştir. Teknoloji düzeyi ve ekonomik uygulanabilirlik açısından, sera ısıtmada yararlanılabilecek doğal enerji kaynaklarından en önemlisi jeotermal enerjidir. Jeotermal enerji kaynaklarının kullanıldığı, düşük-sıcaklıkta ısıtma uygulamalarında, sıcaklık düzeyi 20–60 °C aralığındadır. Bu sıcaklık değerleri, seralarda yaygın olarak kullanılan geleneksel ısıtma sistemleri için çok düşüktür. Jeotermal enerji ile sera ısıtma sistemleri, jeotermal akışkanın çıkarıldığı bölgeden tüketicilerin bulunduğu alanlara taşınması için kullanılan elemanlar topluluğu olarak değerlendirilir. Jeotermal enerjiyle ısıtma sistemleri; ısı transferi, kullanılan malzemeler ve ısı değiştiricilerin yerleşimine bağlı olarak incelenebilir. Jeotermal enerjiyle ısıtma sistemleri teknik özelliklerine bağlı olduğunu belirterek son yıllarda örtü altı yetiştiriciliğinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak yapılan araştırmaları göstermiştir [30].

Tarım alanında kullanılan enerji çeşitlerinden biri de biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisinin tükenmez bir kaynak olması, her yerde elde edilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir [31]. Biyokütle için mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, denizdeki algler, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöpler kaynak oluşturmaktadır. Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisinin fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir [31].

4. FOTOVOLTAİK GÜÇ KAYNAKLI AKILLI SENSÖR TABANLI BUĞDAY BİÇME MAKİNASININ TASARIMI

4.1. Taşıyıcı Aracın Tasarlanması

Fotovoltaik güç kaynaklı akıllı sensör tabanlı buğday biçme makinası (FBBM) prototip olarak hazırlanırken bir arazi aracı 1/8 oranında küçültülmüştür. Bu değer bize üretici firma tarafından verilmiştir ve araç gerçek bir aracın tasarımında sahip olduğu özellikleri taşımaktadır. Panel boyutları ve taşıyıcı araçta kullanılacak olan motor seçimi araç boyutları göz önüne alınarak seçilmiştir. 85 x 64 cm boyutlarında olan prototip araçta fırçasız motor kullanılmıştır. Motora giden elektrik akımını düzenlemek için elektronik hız kontrol kartı adı verilen özel bir elektronik devre bulunmaktadır. Bu devre motora giden akım ve voltajı düzenleyerek motorun aşırı akım çekmesini ya da düşük akımda çalışmasını engellemek için tasarlanmıştır. Araçta lityum polimer (LiPo) bataryalar kullanılmıştır. LiPo bataryalar şu anda elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon bataryaların gelişmiş sürümüdür. FBBM’de kullanılan fırçasız DC motor, elektronik kontrol ünitesi, lityum polimer bataryaları şematik olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Fırçasız motor, elektronik kontrol ünitesi ve lityum polimer bataryaların görünümü.

4.1.1. Fırçasız DC Motor

Fırçasız DC motorlar hareketli kısımları olan rotor bölümündeki manyetik alanın doğal yoldan karşılandığı motor tipleridir. Yani bu tür motorların rotor bölümlerinde güçlü doğal mıknatıs kullanılır [32]. Rotor bölümünde akım olmadığı için rotora akım taşıyacak fırça ve kollektör düzeneklerine de gerek yoktur. Bu nedenle bu tür motorlar fırçasız motor olarak adlandırılırlar. Temel prensip ve çalışma şekli fırçalı DC motorlarla hemen hemen aynıdır. Çalışmadaki farklılık bobinlerin stator gövdesine sabit olması, rotor üzerinde bobin bulunmaması, sabit mıknatısların rotora bağlı olmasından kaynaklanır. Yani bu motorda rotor ve stator yeri bir bakıma değiştirilmiştir. Bunun avantajı; fırça ve komütatör sisteminin kalkması, dolayısı ile sürtünmeden ve fırça/komütatör (kollektör) ikilisinin oluşturduğu dirençten dolayı oluşan elektrik/mekanik kayıpların ortadan kalkmasıdır. Aynı zamanda bu tasarım, mekanik olarak denetlenmediğinden ve bobinlerin sayısının artırılmasına da izin verdiğinden, bu motorlardan çok yüksek tork almak mümkündür. Fırçasız DC motorlarda tork değeri, K_t tork sabiti ve akımla ilişkilidir [33].

$$\text{Tork} = K_t \times \text{Akım (A)} \quad (4.1)$$

Sistemimizde kullanılan fırçasız motor 2200 Kv değere sahiptir. Burada bahsedilen Kv; sadece fırçasız elektrikli motorlarda kullanılan bir motor gerilim sabiti olup motorun volt başına yaptığı dakikadaki dönüş hızı (rpm)'dir [23]. Aşağıdaki şekilde bulunur;

$$\text{RPM} = K_v \times \text{Volt} \quad (4.2)$$

Fırçasız DC motorların dezavantajları ise bobinlere gelen akımın elektronik bir devre ile kontrol edilmesi yani motorun çalışabilmesi için ek donanımlar gerektirmesidir [32]. Kurulan FBBM sisteminde kullanılan fırçasız motor Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. FBBM sistemindeki fırçasız motorun görünümü.

4.1.2. Elektronik Hız Kontrol Ünitesi

Elektronik hız kontrol ünitesi motora uygulanan gerilimin değerini ayarlar. Böylece motorun hızı gerilim değeri ile kontrol edilir. Gerilim değerinin ayarlanması bir DA-DA kıyıcı ile gerçekleştirilir. DA gerilim kıyılarak çıkış geriliminin ortalama değeri ayarlanır. Araçta kullanılan elektronik kontrol ünitesi Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. FBBM sisteminde kullanılan elektronik hız kontrol ünitesinin görünümü.

4.1.3. Lityum Polimer Bataryalar

Lityum polimer bataryalar ilk olarak Armand tarafından polimer elektrolitin lityum bataryalarda kullanılmasıyla hayata geçirilmiş olup sürekli geliştirilmektedir [34]. LiPo bataryalar günümüzde elektrikli araçlarda kullanılmakta olan lityum iyon bataryaların gelişmiş halidir. LiPo bataryalar, lityum iyon bataryalara kıyasla daha az yer kaplamakta,

daha fazla güç vermektedir. LiPo bataryalar küçük hücrelerin yan yana getirilip, seri ya da paralel bağlanmasıyla istenilen akım ve gerilim değerlerine dönüştürülebilir. Hücrelerin seri bağlanmasıyla gerilim, paralel bağlanmasıyla akım artırılmaktadır. Ortalama hücre voltajları 3.7 Volttan başlar ve bu hücreler bir araya getirilerek 7.4, 11.1, 14.8 Volt gibi 3.7 Voltun katları şeklinde bataryalar elde edilir. Şarj oldukça artan batarya gerilim değerleri her bir hücre için 4.2 Volt ile sınırlandırılmıştır. Lityum polimer bataryalarda bir diğer karakteristik özellik ise C değeridir. C değeri bataryaların en fazla verebilecek akım değerini hesaplamada kullanılan bir parametredir ve üretici firma tarafından bataryalar üzerinde belirtilmektedir. Bu değer şu şekilde açıklanabilir;

$$\text{En fazla deşarj oranı (Amper)} = C \times \left(\frac{\text{mAh}}{1000} \right) \quad (4.3)$$

FBBM sisteminde kullanılan bataryaların teknik özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

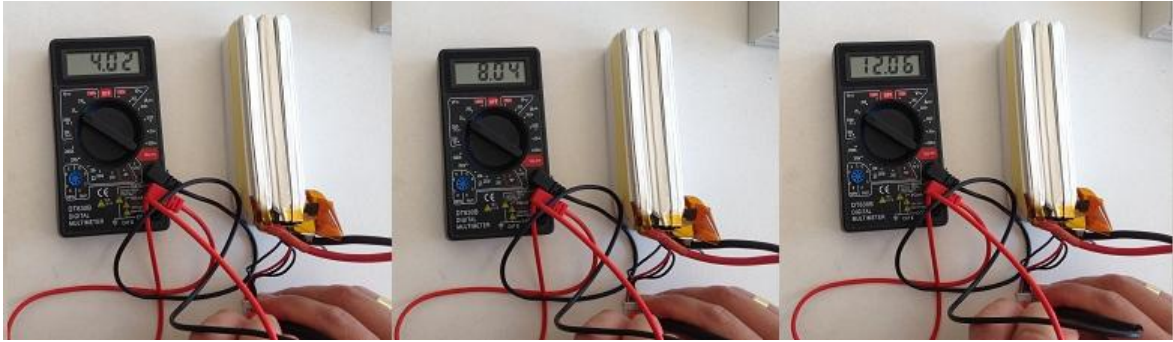
Tablo 4.1. Lityum polimer bataryaların teknik özellikleri.

Teknik Özellikleri	
Hücre Sayısı	3 adet
Batarya En Düşük Çalışma Gerilimi	11.1 Volt
Batarya En Yüksek Çalışma Gerilimi	12.6 Volt
Batarya Kapasitesi (mAh)	5100 mAh
C Değeri	40
Gücü	56.61 Wh

FBBM sisteminde kullanılan polimer bataryanın görünümü Şekil 4.4’de, tam dolu hücre gerilim değerleri ise Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.4. FBBM sisteminde kullanılan lityum polimer bataryanın görünümü.



Şekil 4.5. Tam dolu batarya hücreleri voltaj değerlerinin görünümü.

4.1.4. LiPo Şarj Cihazı

LiPo bataryalar şarj olmak için özel şarj cihazlarına ihtiyaç duyarlar. Bu şarj cihazları her bir hücrenin gerilim değerlerini aynı oranda doldurarak şarj ederler. Bataryaların aşırı şarj olmasını ya da uygun olmayan gerilim değerinde şarj olmalarını engelleyen elektronik devrelerden oluşmaktadır.

4.2. Fotovoltaik Sistem

FBBM sisteminde kullanılan güneş pili iki parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar, güneşten aldığı ışınlardan eşit sayıda pozitif ve negatif yükler oluşturarak güneş enerjisini

doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş pili ve güneş pilinden gelen elektrik enerjisini düzenleyerek batarya ya da sisteme gönderen şarj kontrol ünitesidir.

4.2.1. Güneş Pili

Sistemde kullanılacak güneş panelleri esnek güneş pili adı verilen belirli bir oranda esneyebilen ve günümüzde kullanılan güneş pillerine göre % 75-80 oranında daha hafif güneş pilleridir ve cam türevi malzeme içermediği için kırılma tehlikesi yoktur. Esneklik özelliği ve kırılma tehlikesinin olmaması bu güneş pillerinin mobil uygulamalarda kullanılmasına olanak sağlar ve sabitleme yapısına ihtiyacı ortadan kaldırır. Taşıyıcı aracın üzerine binen yük harcanan enerjiyi artıracığından sistemde tercih edilen hafif güneş pilleri diğer güneş pilleri ile kıyaslandığında m² başına ürettikleri güç oranı düşüktür. FBBM’de kullanılan esnek güneş pilinin teknik özellikleri tablo 4.2’de, görünümü ise Şekil 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.2. Güneş pilinin teknik özellikleri.

Teknik Özellikleri	
Hücre Sayısı	35 kristal hücre
En Yüksek Gücü	68 Watt
Günlük Güç Üretimi	272 Wh/d
Açık Devre Gerilimi	22 Volt
Tüketimdeki En Yüksek Akım Değeri	3.67 Amper
Kısa Devre Akımı	3.80 Amper
Çalışma Gerilimi	12 Volt
Boyutlar	800 x 646 x 2 mm
Ağırlık	5.4 Kg



Şekil 4.6. 68 Watt'lık esnek güneş pili.

4.2.2. Şarj Kontrol Ünitesi

Şarj kontrol üniteleri güneş pilinden sağlanan elektrik enerjisini batarya ya da doğrudan çalışılan sisteme düzenli olarak iletilmesini sağlayan elektronik devrelerdir. Şarj kontrol ünitesi ihtiyacı olan gücü güneş pillerinden sağlar. Kontrol ünitesi içinde bulunan devreler sayesinde güneş pilinden gelen gerilim belirlenen değerin üzerinde olduğu anlarda gerilimi uygun seviyelere düşürülerek gerilimi sabit tutulmaktadır. Batarya kullanılan sistemlerde şarj kontrol ünitesi bataryanın aşırı şarj olmasını engeller. Sistemde kullanılan şarj kontrol ünitesinin teknik özellikleri tablo 4.3'de, görünümü ise Şekil 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Şarj kontrol ünitesinin teknik özellikleri.

Teknik Özellikleri	
En Yüksek Akım Değeri	8 Amper
Çalışma Gerilimi	12 Volt
Tüketim Değeri	4 mA
Boyutlar	80 x 100 x 32 mm
Ek Özellikler	Yanlış Bağlantı Koruması
	Düşük bağlantı Koruması



Şekil 4.7. Şarj kontrol ünitesi.

4.3. Kesici Takım

Kurulan FBBM sisteminde buğday biçme işleminin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan kesici takımlar, özel olarak çalı, çim vs. kesmeye yarayan özel biçme aletlerinden oluşmaktadır. Kesici takımların teknik özellikleri tablo 4.4’de, görünümü ise Şekil 4.8’de verilmiştir. Bu kesici takımlar bir sağ bir sol ünite olmak üzere iki adet olarak taşıyıcı aracın önüne monte edilmiştir. Daha yüksek performans alınması için kesici takımların kendine ait motorları kullanılmıştır. Bu motorlar DC akım ile çalışan motorlardır.

Tablo 4.4. Kesici takım teknik özellikleri.

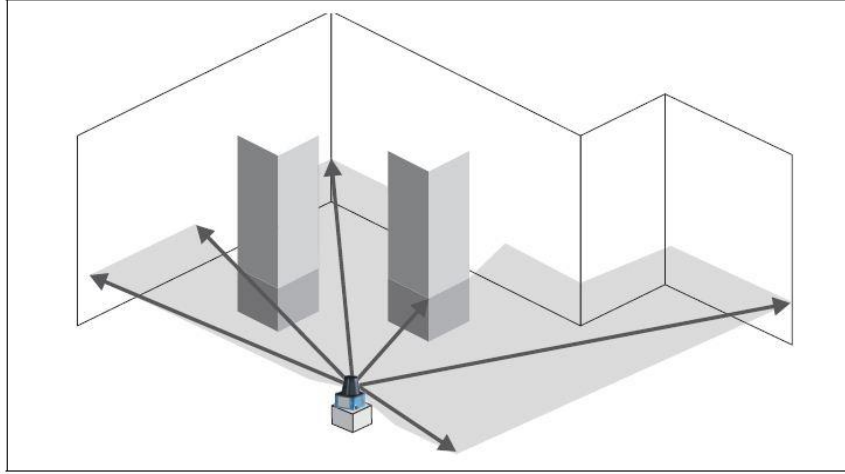
Teknik Özellikleri	
Kesici Takım Genişliği	160 mm
Çalışma Gerilimi	10.8 Volt
Dönüş Hızı	1100 rpm
Boyutlar	330 x 172 x 135 mm
Ağırlık	1.1 kg



Şekil 4.8. Kesici takımın görünümü.

4.4. Akıllı Sensör Sistemi

FBBM sisteminde kullanılan akıllı sensör sistemi (ASS) iki boyutlu bir şekilde yüzey taraması yaparak önündeki nesneleri uzaklık ve konum bakımından değerlendiren iki parçadan oluşmaktadır. Bu parçalardan biri Lazer ışınları yardımıyla yüzey taraması gerçekleştiren, işleyen Lazer tarayıcı ve bu bilgileri işleyip kullanan bağlantı modülünden meydana gelmiştir. Çalışmada kullanılan ASS 270° açığa kadar düzlem yüzeydeki tüm cisimlerin konumları belirleyebilmektedir. ASS'nin görüş açısı Şekil 4.9'da gösterilmiştir. ASS'nin lazer ışınlarından yararlanarak çalışması çoğu sistemde olduğu gibi taranan alanda bulunan cismin arkasındaki nesneleri tanıyamamasına neden olmaktadır.



Şekil 4.9. Akıllı sensör sistemi görüş alanı.

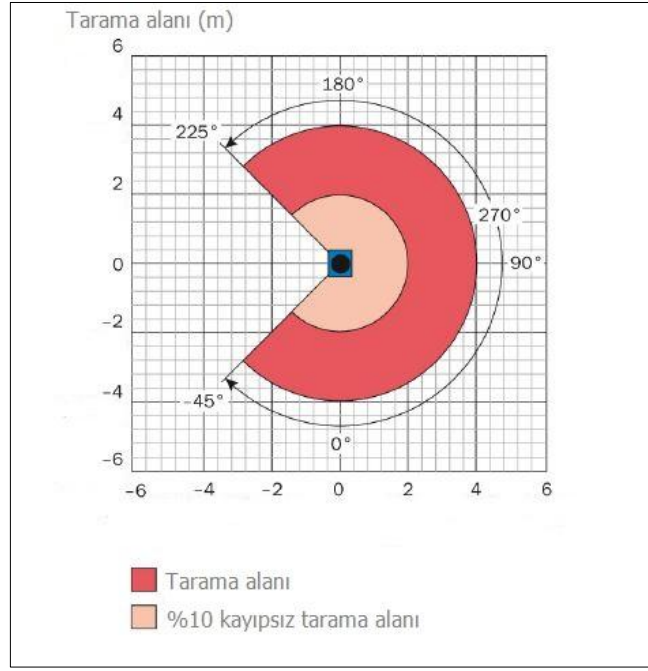
4.4.1. Lazer Tarayıcı Sistem

Lazer tarayıcı sistem hassas ölçüm yapmaya yarayan sensörler ile donatılmıştır. Bu sensörler iki boyutlu olarak tarama yapabilmektedir. Taranan alandaki nesnelerin konumlarını çok yüksek hassasiyette belirleyebilen bu sensörler 0.05 m’den 4 m’ye kadar her yüzey şeklini tanıyabilmektedir. Lazer tarayıcı sisteminin teknik özellikleri Tablo 4,5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Lazer tarayıcı sistemin teknik özellikleri.

Teknik Özellikleri	
Lazer Tipi	1. Sınıf
Görüş Açısı	270°
Tarama Mesafesi	0.05 – 4 m
Hata Oranı	2 m’den sonra % 10
Tepki Süresi	134 mili saniye
Çalışma Gerilim Aralığı	10 V ile 28 V arası
Güç Tüketimi	3 Watt
Çalışma Sıcaklığı	-10 ile 50 °C

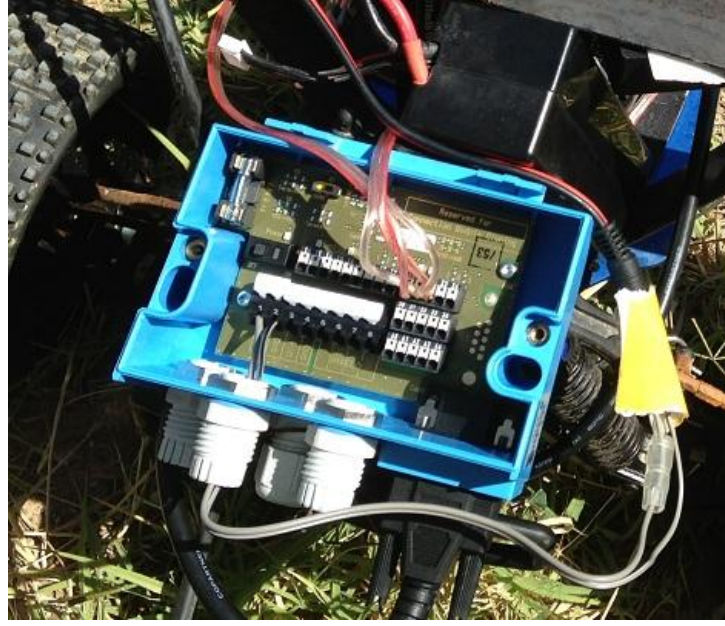
Bu çalışmada kullanılan Lazer tarayıcı sistemin çalışma alanı Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. Lazer tarayıcı algılama alanı görüntüsü.

4.4.2. Bağlantı Modülü

Bağlantı modülü lazer tarayıcıdan aldığı bilgileri işleyerek kullanan ve son kullanıcıya çıktı halinde sunan elektronik cihazlardır. Üzerinde 16 adet çıkış bulunan bağlantı modülü bir bilgisayar programı yardımıyla yönetilmektedir. Program bize taranacak alanın ayarlanmasından çıkış gücünün hangi sensörler ile aktif olacağına kadar birçok düzenlemeyi yapmamızı sağlamaktadır. Sistemde kullanılan Bağlantı Modülü Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



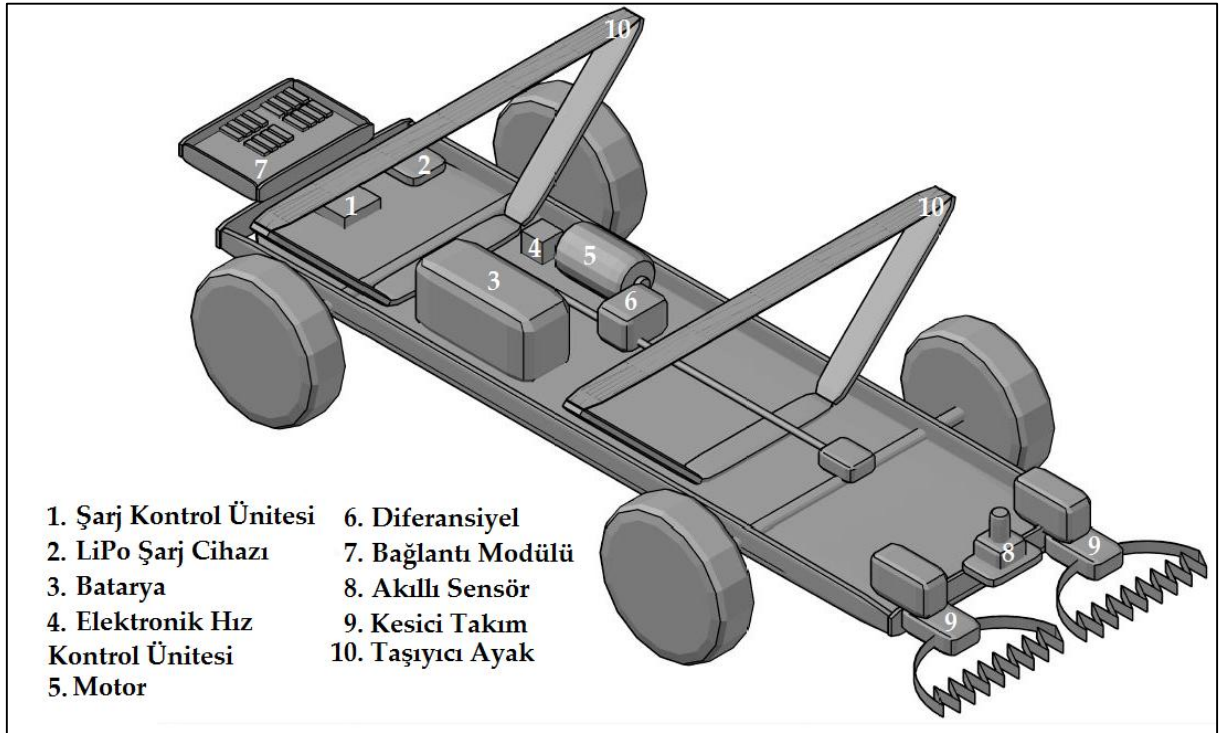
Şekil 4.11. Bağlantı modülünün görünümü.

4.5. Prototipin Oluşturulması

Bu çalışmada tasarlanan FBBM sistemindeki prototip için en önemli parametre güç/ağırlık oranıdır, çünkü fazla ağırlık fazla enerji tüketimine sebep olacağından sistemi oluşturan tüm parçalar hafif malzemelerden seçilmiştir. Bir önceki bölümde bahsi geçen bu parçalar aşağıda belirtilmiştir.

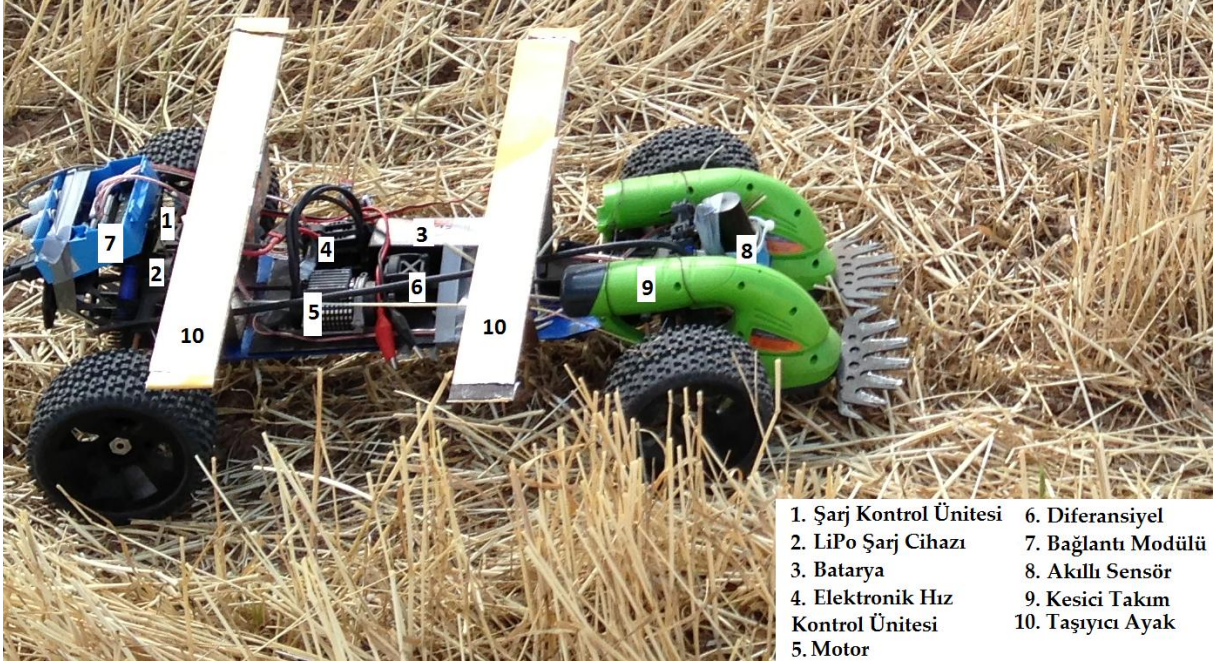
- Güneş Pili,
- Şarj Kontrol Ünitesi,
- LiPo Şarj Cihazı,
- Bataryalar,
- Elektronik Kontrol Ünitesi,
- Motor,
- Akıllı Sensör,
- Bağlantı Modülü,
- Kesici Takım.

Prototip hazırlanmadan önce aracın teknik çizimleri yapılmıştır. Hazırlık aşamasındaki en önemli konu, güneş pilinin boyutları ve ağırlığı hesaba katıldığında çıkabilecek zorlukların üstesinden gelinip gelinmeyeceğidir. Aracın ihtiyacı olan gücü sağlayacak en küçük boyutlarda ve en hafif güneş pili seçilmiştir. Güneş pilinin araç üzerine dengeli bir biçimde yerleştirilmesi için taşıyıcı ayaklar tasarlanmıştır. Taslağın teknik resmi Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. FBBM sisteminin taslak çizim hali.

Taslak çizimlerle birebir aynı olan sistemin fotoğrafı ise Şekil 4.13’de gösterilmiştir.

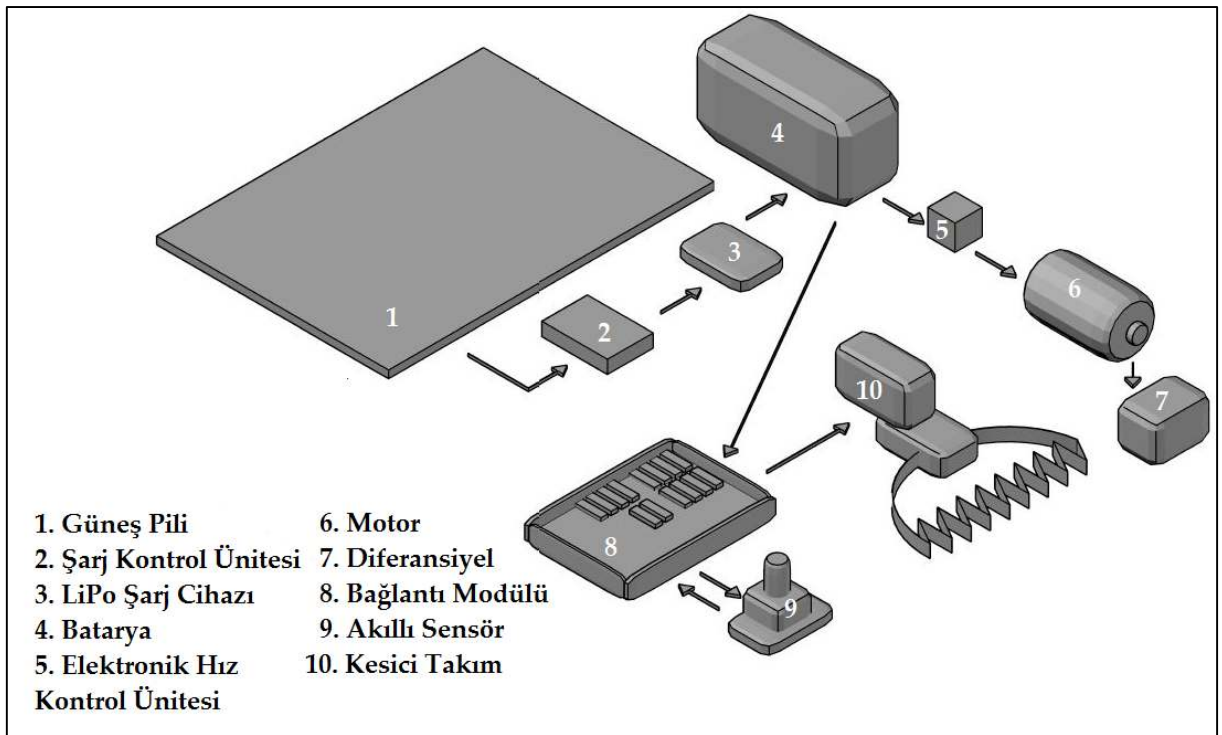


Şekil 4.13. Prototip araç parçalarının yerleşimi.

4.6. FBBM Sisteminin Çalışma Prensibi

Taşıyıcı aracın üzerine ayaklar yardımıyla yerleştirilen güneş pilinin alt kısmına şarj kontrol ünitesi ve LiPo şarj cihazı yerleştirilmiştir. Şarj kontrol ünitesi tüm sistemi besleyecek gücü dağıtmaktadır ve şarj kontrol ünitesinden çıkan elektrik enerjisi öncelikle LiPo şarj cihazı yardımıyla bataryaların şarjı için kullanılmaktadır. Bataryalar taşıyıcı aracın yan kısmına yerleştirilmiştir. LiPo bataryalar şarj olmak için özel geliştirilmiş şarj aletlerine ihtiyaç duydukları için bu şarj aletlerinin araç üzerine konumlandırılması gerekmektedir. Bataryalar belirli bir akım ve gerilimde şarj olmaktadır. Bu akım ve gerilim değerinin yüksek tutulması pillerin kullanım ömrünü kısaltmaktadır. Pillerden çıkan enerji kablolar yardımıyla elektronik kontrol ünitesine iletilmekte, bu ünite ile motora güç verilmektedir. Piller aynı zamanda ASS'nin ve kesici takımın ihtiyaç duyduğu enerjiyi de sağlamaktadır. ASS sisteminin güç tüketim değeri 3 Watt'dır. ASS' nin Lazer algılayıcısı aracın ön kısmına monte edilmiş olup bağlantı modülü aracın arkasına konumlandırılmıştır. Kesici takımların güç bağlantıları bağlantı modülünün birinci ve ikinci çıkışlarına bağlanmıştır. Program yardımıyla kontrol edilen alan belirlenmesi yapıldıktan sonra Lazer algılayıcılar bir cisim algıladıklarında bağlantı modülü üzerindeki devreyi tamamlamakta ve kesici takıma güç vermektedir.

Aracın genel olarak çalışmasını özetlemek gerekirse, güneşten aldığı ışınımını elektrik enerjisine dönüştüren güneş pili sistem çalışırken güneşin konumuna ve ışınım değerine bağlı olarak değişen bir gerilim ve akım vermektedir. Bu gerilim ve akım şarj kontrol ünitesi yardımıyla düzenlenmekte ve LiPo şarj cihazına aktarılmaktadır. LiPo şarj cihazı da bataryaları şarjı için bu gerilim ve akımı kullanmaktadır. Bataryalar FBBM sisteminin ihtiyacı olan gücü sağlamada kullanılmaktadır. Bataryadan çıkan güç hem elektronik kontrol ünitesini hem de bağlantı modülünü beslemektedir. Elektronik kontrol ünitesi bataryalardan aldığı gücü düzenleyerek motora vermekte, motor da bu gücü diferansiyel yardımıyla tekerleklere aktarmaktadır. Bağlantı modülü ise ASS'den aldığı tarama verileri ile bağlantı modülü üzerinde bulunan çıkışları açıp kapatarak kesici takımın çalışmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada kurulan FBBM sisteminin çalışma şeması 1'den başlayarak 10'a kadar numaralandırılarak Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. FBBM çalışma şeması.

Bıçmenin kullanıcı ile biçme olayı arasındaki süreçlerinin tam olarak gösterildiği FBBM akış şeması Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. FBBM akış diyagramı.

Prototip olarak 10000 TL’ye yakın bir bütçe ile hazırlanan FBBM’nın parçalarının teknik özellikleri ve maliyeti Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. FBBM'nin teknik özellikleri ve maliyet analizi.

Sistem	Malzeme	Teknik Özellikleri	Fiyat (TL)
Fotovoltaik Sistem	Esnek Güneş pili	35 kristal hücre, En Yüksek Gücü 68 W, Günlük Güç Üretimi 272 Wh/d, Açık Devre Gerilimi 22 V, Tüketimdeki En Yüksek Akım Değeri 3.67 A, Kısa Devre Akımı 3.80 A, Çalışma Gerilimi 12 V, 800 x 646 x 2 mm, 5.4 Kg	2200 TL
	Şarj Kontrol Ünitesi	En Yüksek Akım Değeri 8 A, Çalışma Gerilimi 12 V, Tüketim Değeri 4 mA, Boyutlar 80 x 100 x 32 mm	125 TL
Taşıyıcı Sistem	Taşıyıcı Araç	2200 kv fırçasız motor, max 25.2V ESC kontrol kartı 25.2V 120A, Servo Motor (6 Volt 12 KG tork) (770x470x290mm)	3200 TL
	Kumanda	2.4 Ghz 4 kanallı dijital ayarlanabilir.	820 TL
Depolama Sistemi	Lityum Polimer Batarya	12.6 Volt, 5100 mAh, 40 C, 56.61 Wh.	800 TL (2 Adet)
	Şarj Cihazı	Giriş Gerilimi: 11~18v Max şarj: 50W / Max Disşarj: 5W, Şarj Akım aralığı: .1~5.0A, Ni-MH/NiCd hücre: 1~15, Li-ion/Poly hücre: 1~6 Pb batarya voltajı: 2~20v, 133x87x33mm, 580g	200 TL
Akıllı Sensör Sistemi	Sensör	1. Sınıf Lazer, Görüş Açısı 270° Tarama Mesafesi 0.05 – 4 m, Hata Oranı 2 m'den sonra % 10, Tepki Süresi 134 mili saniye, 10 V ile 28 V, Güç Tüketimi, 3 Watt, Çalışma Sıcaklığı -10 ile 50 °C.	1900 TL
	Bağlantı Modülü	16 set 3 lü alan tanımlanabilir, USB arayüz, 10 V ile 28 V veya "touch and teach" programlanabilme	200 TL
Biçme Sistemi	Kesici Takım	Kesici Takım Genişliği 160 mm Çalışma Gerilimi 10.8 Volt, Dönüş Hızı 1100 rpm, Boyutlar 330 x 172 x 135 mm, 1.1 kg	350 TL (2 Adet)
Toplam			9795 TL

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

FBBM sistemi genel olarak üç ana başlık (Güneş Pili Sistemi, Akıllı Sensör Sistemi, Taşıyıcı Araç Sistemi) altında incelenmiştir. Bu sistemlerin bir araya getirilmesiyle biçme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan cihazların kalibrasyon işlemi de gerçekleştirilmiştir.

5.1. Deneylerde Ölçülen Parametreler

Deneyde belirli aralıklarla akım-gerilim ve biçilen alan (saha) ölçümleri yapılmıştır.

5.1.1. Akım - Gerilim Ölçümleri

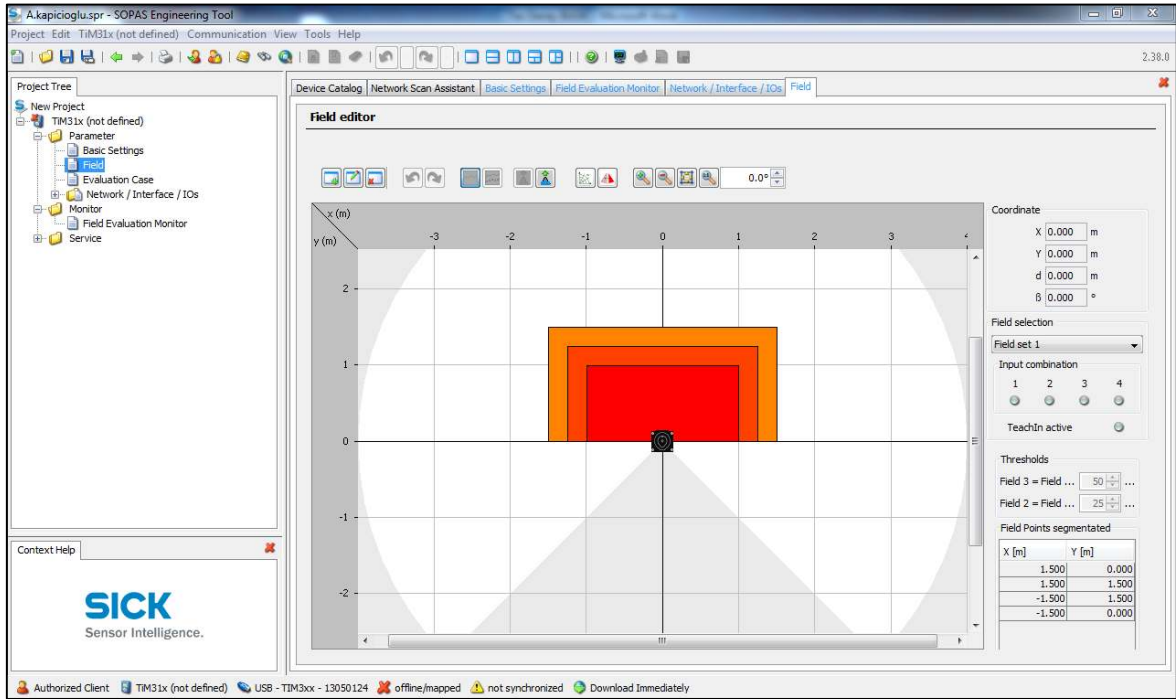
15 dakika aralıklarla sistemden akım ve gerilim değerlerinin ölçümleri yapılmıştır. Deneylerin akım ve gerilim ölçümlerinde sırasıyla IMAX B6AC markalı charger/discharger ve DT830B klasik multimetre kullanılmıştır. Güneş pilinden şarj olan bataryaların belirli aralıklarla doluluk oranları mAh olarak ölçülmüştür. Kullanılan cihaz, verilen akım değerini ve pil gerilim değerini her hücre için ayrı ayrı gösterebilmektedir. Deneylerde kullanılan bu cihazların birlikte görünümü Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Akım- gerilim ölçümleri.

5.1.2. Biçilen Alan (Saha) Ölçümleri

Saha ölçümleri için ASS'den alınan bilgileri yorumlayan SICK firmasına ait Sopas Engineering Tool adlı program kullanılmıştır. Bu program sayesinde alan ölçümlerinin miktarı, nesne konumları ve farklı tarama alanları elde edilebilir. Şekil 5.2'de bu programın ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.2. Sopas Engineering Tool yazılımı ekran görünümü.

5.2. Deneylerin Yapılışı

Deneyler, 27.07.2013 – 03.08.2013 tarihleri arasında açık güneşli yaz günlerinde yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada deneyler üç başlık altında incelenmiştir. Bunlar sırasıyla;

- Güneş pili veri deneyleri
- Saha deneyleri
- Araç (biçme) deneyleri

5.2.1. Güneş pilinin Genel Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi

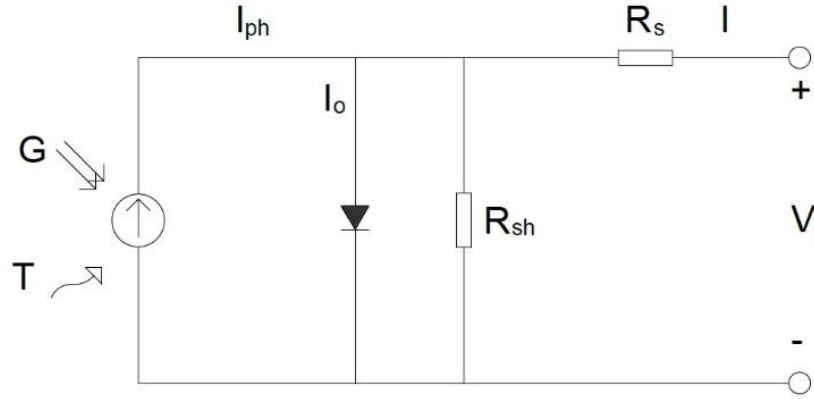
Sistemin genel performansını incelemeye başlamadan önce fotovoltaiik panel performansını incelemek faydalı olacaktır. Bu nedenle çalışmada güneş pili karakteristikleri ayrı bir başlık altında incelenmiştir.

Bir fotovoltaiik panel; üretici solar hücreler, bağlantılar, koruyucu parçalar ve yardımcı elemanların birleşiminden oluşan bir bütündür. Solar hücreler, ince bir silikon devre levhasında veya yarı iletken katmanda bir araya getirilen p-n bağlantılarından oluşmaktadır.

Bir solar hücrenin karanlıktaki akım-gerilim (I-V) sonuç nitelikleri bir diyotunkine benzer üstel niteliğe sahiptir. Solar enerji (fotonlar) solar hücreye yarı iletkenin kuşak aralığı enerjisinden daha büyük bir enerji ile ulaştığında malzemedeki atomlardan serbest kalan elektronlarla çarpışma olur, elektron-delik çifti oluşur. Bu taşıyıcılar, p-n bağlantılarının dâhili elektrik alan etkisi altında ayrı bir yere süpürülür ve anlık ışımaya orantılı bir akım meydana getirir. Panel hücresinde kısa devre olduğunda bu akım dış devreye ilerler; açık devre olduğunda bu akım yerleşik p-n bağlantı diyotu tarafından dâhili paralel devreye yönlendirilir. Bu nedenle bu diyotun özellikleri panel hücresinin açık devre gerilim özelliklerini şekillendirmektedir. Dolayısıyla en basit bir solar hücre eşdeğer devresi, diyot ile paralel bir akım kaynağıdır. Akım kaynağından elde edilen ürün, panel hücresinde düşen ışıqla doğrudan orantılıdır. Solar hücre karanlık esnasında aktif bir donanım değildir, bir diyot gibi işler, akım ve gerilim oluşturmaz. Bununla birlikte, eğer harici bir kaynağa bağlı ise diyot akımı veya karanlık akım olarak isimlendirilen bir akım oluşturur [35, 36].

Diyot, hücrenin I-V niteliklerini belirler. En iyi grafik eğimi eşleşmesini elde etmek için diyot kalite faktör ile tekil bir paralel diyot kullanılmıştır. Bu model, Gow ve Manning [37] tarafından sunulan iki-diyot modelinin yalınlaştırılmış bir halidir. Solar hücre devre diyagramı Şekil 5.3'de gösterilmektedir. Burada verilen I_0 sıcaklığa bağlı diyot doyma akımı, I_{ph} sıcaklığa bağlı fotoakımdır. Maksimum güç noktası ile açık devre gerilimi daha doğru bir şekilde ifade etmek için seri direnç R_s devreye dâhil edilmiştir. R_s , akımın akışından dolayı meydana gelen dâhili kayıpları temsil etmektedir. R_{sh} diyot ile paralel olan

paralel dirençtir, topraklanan kaçak akıma karşılık gelir. R_{sh} genelde ihmal edilir ve eşdeğer devrede verilmemiştir. İdeal panel hücresinde $R_s = R_{sh} = 0$ 'dır [38].



Şekil 5.3. Solar hücre devre diyagramı.

Bir güneş pili hücresindeki I-V karakteristikleri aşağıda verilen denklemler ile hesaplanabilir. Bu çalışmada orta derece karmaşıklık modeli kullanılmıştır [39].

$$I_{ph} = I_d + I \quad (5.1)$$

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) \quad (5.2)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) \quad (5.3)$$

Denklemlerde verilen diğer sabitler şu şekilde ifade edilebilir;

q , Elektron yükü ($1,602 \times 10^{-19}$ C),

n , diyot kalite faktörü,

k , Boltzman sabiti ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K),

T , Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık.

5.1, 5.2 ve 5.3 numaralı denklemler I-V grafiğini çizmek için yeterli gelmemektedir. Modeli tamamlayabilmek için I_{ph} , V_{oc} ve I_0 bilinmesi gerekmektedir.

$$I_{ph} = I_{ph}(T_{ref}) + K_0(T - T_{ref}) \quad (5.4)$$

$$I_{ph}(T_{ref}) = I_{sc}(T_{ref}) \frac{G}{G_{ref}} \quad (5.5)$$

$$I_0(T_{ref}) = \frac{I_{sc}(T_{ref})}{\left(e^{\frac{qV_{oc}(T_{ref})}{nkT_{ref}}} - 1 \right)} \quad (5.6)$$

$$I_0 = I_0(T_{ref}) \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{3}{n}} e^{\frac{qV_g(T_{ref})}{nk \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)}} \quad (5.7)$$

Burada verilen;

ref. standart test koşullarını, ($T_{ref} = 25^{\circ}C$, $G_{ref} = 1000 \frac{W}{m^2}$)

K_0 ; akım sıcaklık katsayısını,

I_{sc} kısa devre akımını,

V_{oc} açık devre gerilimini

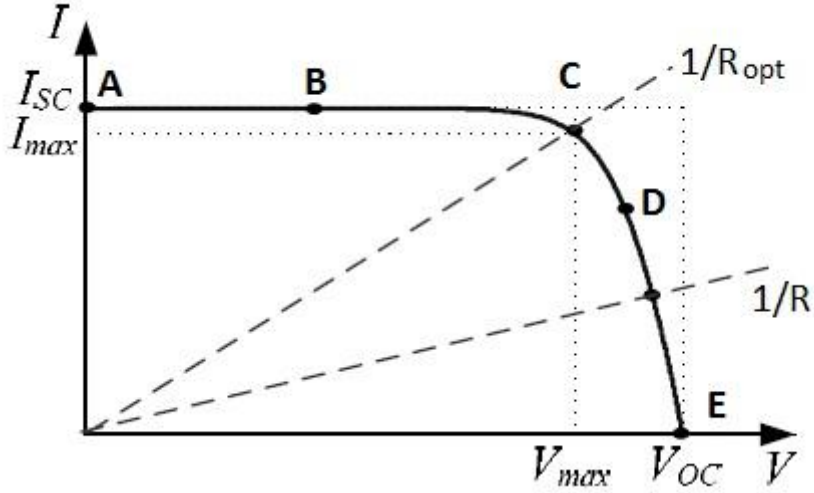
ifade etmektedir.

R_s değeri I-V grafiğinde önemli etkiler yaptığı için bu değerinde bilinmesi gerekmektedir.

$$R_s = -\frac{dV}{dI_{Voc}} - \frac{1}{X_v} \quad (5.8)$$

$$X_v = I_0(T_1) \frac{q}{nkT_{ref}} e^{\frac{qV_{oc}(T_{ref})}{nkT_{ref}}} \quad (5.9)$$

Belirli bir ortam ışıması ve belirli bir sabit panel hücresi sıcaklığı için solar hücrenin kendine özgü I-V karakteristikleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Bir direnç gösteren yük için bu yükün niteliği $I/V=1/R$ kapsamında düz bir çizgidir. Bu yüke ulaşan gücün sadece direncin değerine bağlı olduğu da belirtilmelidir [39].



Şekil 5.4. Solar hücre I-V karakteristikleri.

Bununla birlikte, eğer R küçük ise hücre eğim grafiğinin A-B bölgesinde etki eder, hücre burada sabit bir akım kaynağı gibi davranır; kısa devre akımına hemen hemen eşittir. Diğer taraftan, eğer R büyük ise hücre eğim grafiğinin D-E bölgesinde etki eder, hücre burada daha çok sabit bir gerilim kaynağı gibi davranır; açık devre gerilimine hemen hemen eşittir [38].

Gerçek bir solar hücre, Şekil 5.4’de de çizilmiş olan, aşağıdaki temel parametreler ile nitelendirilebilir.

Kısa devre akımı: $I_{sh} = I_{ph}$. Bu, hücre tarafından üretilen akımın en büyük değeridir. Kısa devre şartlarıyla üretilir: $V=0$

Açık devre gerilimi, fotoakım I_{ph} tarafından çaprazlandığında, diyottaki (p-n bağlantısı) düşen gerilime karşılık gelmektedir, yani üretilen gerilim $I=0$ olduğunda. Karanlıkta hücre gerilimini yansıtır ve matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$V_{OC} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) = V_t \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (5.10)$$

$$V_t = \frac{mkT_c}{e} \quad (5.11)$$

Burada verilen V_t ; Termal Gerilim, T ; Kelvin cinsinden hücre mutlak sıcaklığıdır.

Maksimum güç noktası, direnç gösteren yükün maksimum olduğu durumdaki harcanan güç olan $P_{max} = V_{max}I_{max}$, Şekil 5.4’deki $C(V_{max}, I_{max})$ çalışma noktasıdır.

Maksimum verim, maksimum güç ve düşen ışık gücünün arasındaki orandır.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{max}V_{max}}{AG_a} \quad (5.12)$$

Burada verilen G_a Ortam ışıınımı, A panel hücresi alanıdır. Sistemimizin verimi % 19.92 olarak hesaplanmıştır.

Doluluk oranı, yüke ulaşabilen maksimum güç ile I_{SC} ve V_{OC} 'nin ürünü arasındaki orandır

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{OC}I_{SC}} = \frac{I_{max}V_{max}}{V_{OC}I_{SC}} \quad (5.13)$$

Doluluk oranı, gerçek I-V niteliklerinin bir ölçüsüdür. İyi denebilecek hücreler için bu değer 0.7'nin üstündedir. Sistemimizde kullanılan panelin doluluk oranı 0.81 çıkmaktadır. Hücre sıcaklığı arttıkça doluluk oranı azalır.

Kısa devre akımı ortam ışıınınımının doğrusal bir fonksiyonu iken açık devre gerilimi ortam ışıınınımı ile logaritmik olarak artış göstermektedir. Hücre sıcaklığının artmasıyla oluşan baskın etki, açık devre geriliminin doğrusal bir şekilde azalmasıdır, bu nedenle hücre, daha az verimlilik gösterir. Kısa devre akımı, hücre sıcaklığı ile çok az bir artış göstermektedir.

Ortam ışıınınımı G ve hücre sıcaklığı T'nin hücre nitelikleri üzerindeki etkileri denklemlerden elde edilebilmektedir. Fotovoltaik hücre fotoakımı solar ışıımayla doğrudan orantılıdır. Solar hücre kısa devre olduğunda diyotta ihmal edilebilir bir akım oluşur. Böylece, Denklem 5.5 hesaplanan ışıınınım değeri ile ilişkili oransal sabit kısa devre akımı I_{SC} ile ayarlanır. Genel olarak panel verileri deniz seviyesinde, nemin ve havadaki asılı parçacık yoğunluğunun ortalama değerlerde olduğu koşullardaki tam solar ışııma ($1 \text{ Güneş} = 1000 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$) altında hesaplanmaktadır. Fotovoltaik hücre performansı tam güneşlilik ve bulutluluk şartları arasında mühim bir değişim göstermemektedir. Güç çıkışı, gelen solar enerji ile hemen hemen doğrusal olarak düşüş gösterir; ama verim oranı, istenen ile yaklaşık olarak örtüşmektedir.

Fotoakım ve sıcaklık arasındaki ilişki doğrusaldır (denklem 5.4) ve bu sonuca sıcaklık değişiminin fotoakımda meydana getirdiği değişikliklerin kaydedilmesiyle varılmıştır (denklem 5.4). Panel hücresine bir ışııma olmadığı durumda, hücrenin uç gerilimi ve akımı arasındaki ilişki Shockley denklemi ile verilmektedir [35]. Hücre, açık devre

konumundayken ve ısıma alırken, akım bütün olarak diyotta meydana gelir. I-V eğim grafiği, ısımanın oluşturduğu akım tarafından orijinden ötelenir (Denklem 5.3). 25°C sıcaklıktaki doyma akımı değeri I_0 , bu sıcaklıktaki açık devre gerilimi ve kısa devre akımı kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 5.6). “ideallik faktörü” normal çalışma durumunda 1.2-1.3 olarak önerilmiştir ve daha sonra eğri grafiği benzetimi ile daha kesin bir değer hesaplanana kadar başlangıç olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. I_0 ’ın sıcaklıkla olan ilişkisi karmaşıktır; ama değerlendirme gerektiren herhangi bir değişken içermemektedir. I-V eğri grafiğinin $V = V_{OC}$ noktasındaki eğiliminin üzerinde paneldeki seri dirençlerin güçlü bir etkisi yoktur. 5.8 ve 5.9 numaralı denklemler; 1 numaralı denklemin türevinin alınması, $V = V_{OC}$ noktasında değerlendirme yapılması ve R_s cinsinden yeniden düzenleme yapılmasıyla bulunmuştur [37].

5.2.2. Güneş Piliin MATLAB Modeli

Sistemimizde kullanılan güneş pili Solara S225M36’dır. Solara S225M36 güneş pili 68 Watt’lık maksimum güç sağlamaktadır ve seri bağlı 35 çok kristalli silikon hücreye sahiptir. Güneş pili katalog verileri Tablo 5.1’de gösterilmektedir.

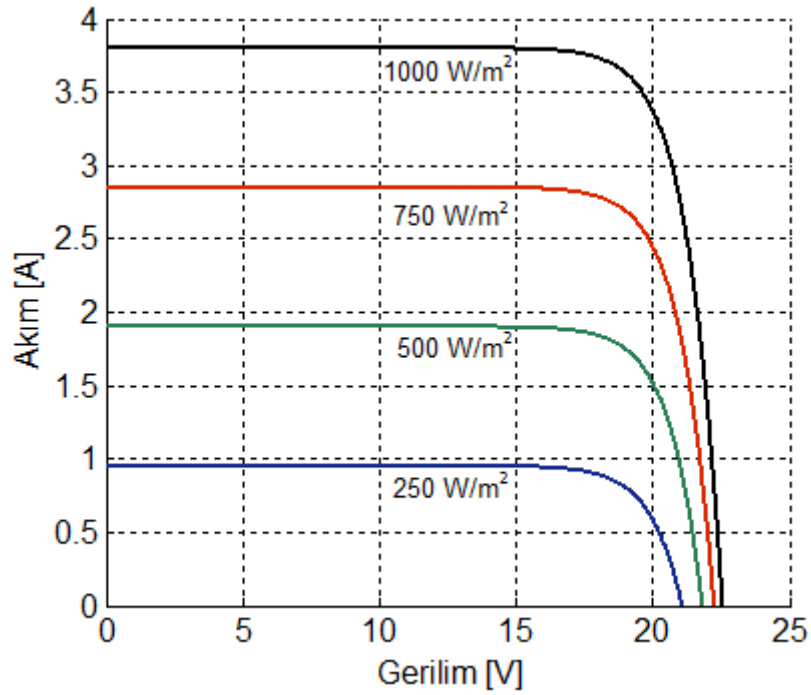
Güneş pili modeli, bir Matlab programı kullanılarak hesaplanmıştır. Model parametreleri uygulama esnasında, bir önceki bölümde sıralanmış olan denklemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Program, pilin kendine has elektriksel parametrelerini (I_{SC} , V_{OC}) ve Gerilim, Işınm (G) ve Sıcaklık (T) değişkenlerini kullanarak akımı (I) hesaplamaktadır.

Tablo 5.1. S225M36 güneş pili katalog verileri.

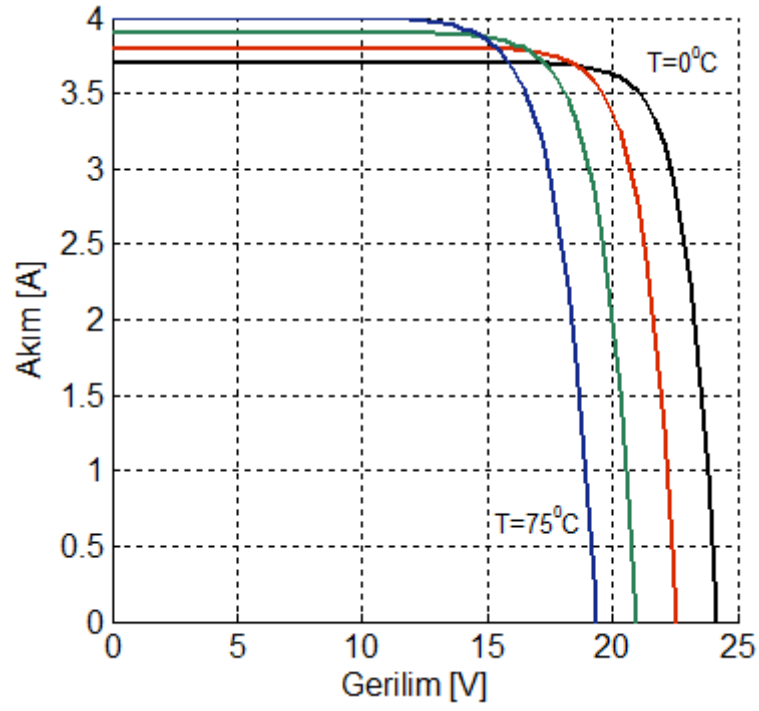
Parametre	Kısaltma	Değer
Maksimum Güç	P_M	68 W
Maksimum Güçteki Gerilim	V_M	19 V
Açık Devre Gerilimi	V_{OC}	22.6 V
Maksimum Güçteki Akım	I_M	3.67 A
Kısa Devre Akımı	I_{OC}	3.8 A
Hücre Sayısı	N_P	35

Program ayrıca, modeldeki seri dirençleri göz önüne almaktadır. Bu direnç, akım I için bir çözüm oluşturmaktadır (Denklem 5.3). Bu programda, hem pozitif hem de negatif akımlar için çok daha hızlı bir hesaplama sağladığı için Newton-Raphson yöntemi kullanılmıştır.

Matlab fonksiyonunun çıktısı önce değişken ışınlam seviyeleri için Şekil 5.5'te ve sonra değişken sıcaklıklar için Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

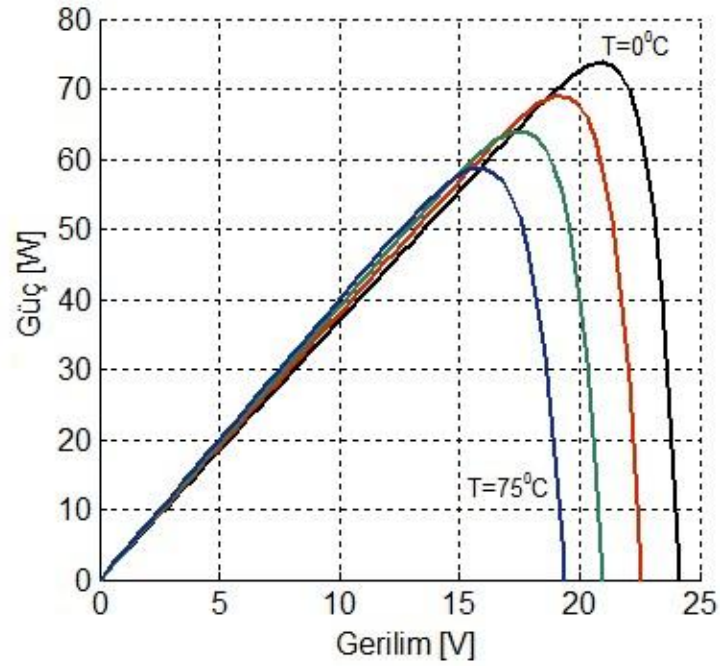


Şekil 5.5. Panelin değişken ışınlam değerlerindeki I-V grafiği.



Şekil 5.6. Panelin değişken sıcaklık değerlerindeki I-V grafiği.

S225M36 için gösterilen eğim grafiklerinde, T 'nin 25°C 'den 75°C değişmesiyle I_{ph} 'nin 3.80 Amperden 4 Ampere değiştiği (% 5) görülmektedir. Şekil 5.7. birkaç sıcaklık değeri için P-V eğimlerini göstermektedir.



Şekil 5.7. Panelin değişken sıcaklık değerlerindeki P-V grafiği.

Model sonuçlarında görülen değerler farklı sıcaklıklarda panelin üretebileceği güç, akım ve gerilim değerlerini vermektedir. Literatür çalışmalarında Matlab kodları ile hazırlanan ve doğru bir biçimde çalıştırılan hesaplama programlarının panel gerçek ortam verileri ile örtüştüğü görülmüştür. Bu bilgiden yola çıkarak hazırlanan grafiklerde hangi ışınlam ve sıcaklık değerinde panelin hangi değerleri güç, akım ve gerilim üreteceği belirlenmiştir.

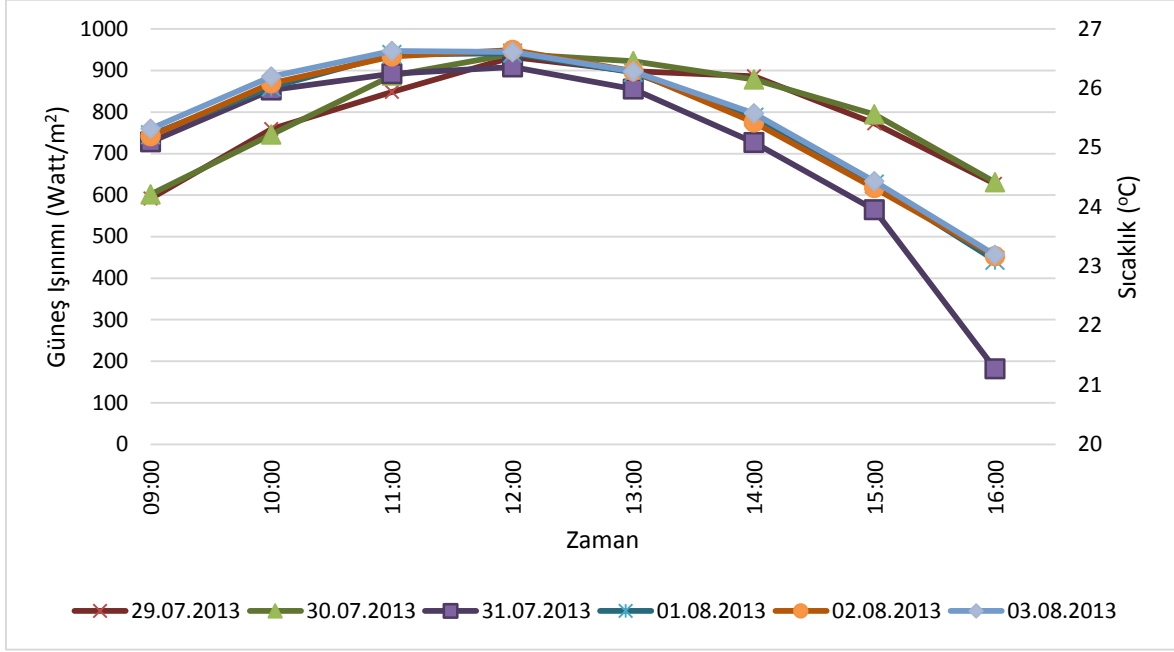
5.2.3. Panel Veri Deneyleri

Bu çalışmada fotovoltaiik sistem iki kısımdan oluşmaktadır. Bu iki sistem güneşten aldığı ışınlamaları elektrik enerjisine çeviren güneş pili (güneş hücresi, solar cell) ve bu elektrik enerjisini düzenleyerek sisteme veren şarj kontrol ünitesidir. Güneş pillerinin araç üzerindeki farklı görünüşleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. FBBM sistemi üzerindeki güneş pilinin farklı görünüşleri.

Açık güneşli günlerde panelin sağladığı gerilim değerleri şarj kontrol ünitesine hem bağlanarak hem de bağlanmadan ölçülmüştür. Deneyler yapıldığında solarimetre (Piranometre/Kipp&Zonen CM3) ile günlük ışınlam değerleri ölçülmüştür. Aşağıda Şekil 5.9’da deneylerin yapıldığı Sivas ilindeki dış ortam sıcaklığı ile güneş ışınlamının 6 günlük deney süresi boyunca olan değişimi verilmiştir. Deneylerin yapıldığı tarih ve saat aralıklarında güneşlenme oranının günlük ortalama 700 Watt/m²’nin altına düşmediği görülmüştür. Bu değerde panele bataryaları şarj edebilecek ışınlam değerlerini sağlamaktadır.



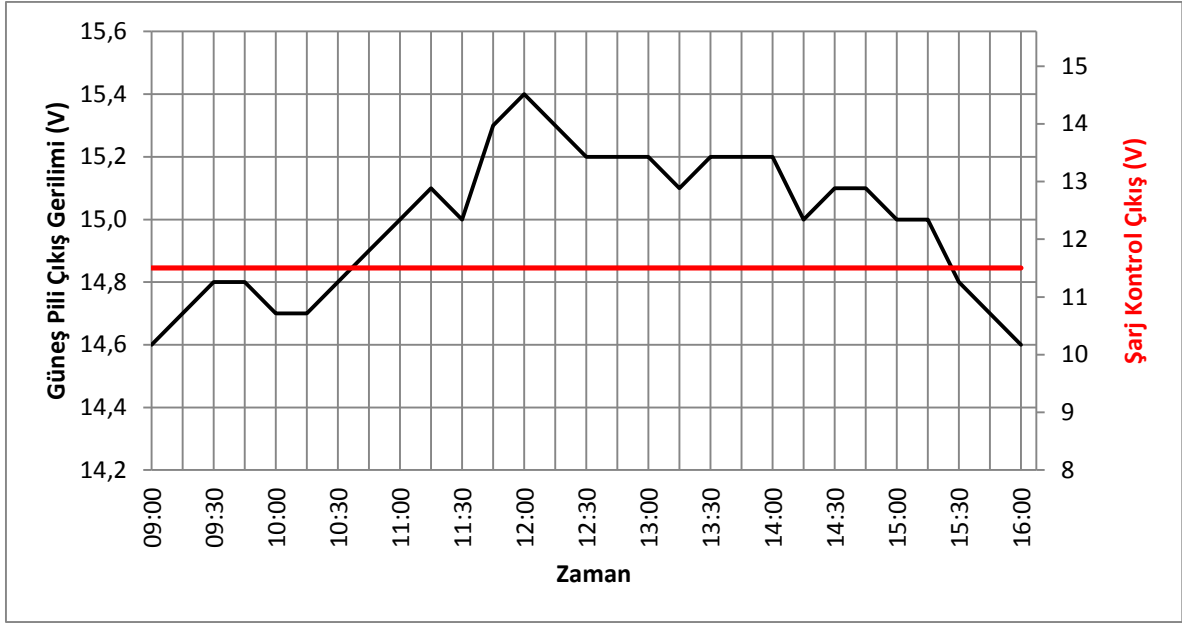
Şekil 5.9. Belirlenen tarihlerdeki saatlik güneş ışınlam ve sıcaklık değışim grafiği.

Sistemin yüksüz gerilim değeri 20 ile 22 Volt arasında güneş ışınlam değeriine bağlı olarak değışmektedir. Bu değeri sisteme yük bağlandığında 15 Volt seviyesine düşmektedir. Panelin sıcaklık ve ışınlam oranıyla bağlantı olarak çıkış gerilimi değışmektedir. Buna karşın panelin sağladığı çıkış gücünün ihtiyaç duyulan güçten fazla olması şarj kontrol cihazı lityum polimer bataryaların şarjı için kullandığı gerilimde bir dalgalanmaya neden olmamaktadır. Tablo 5.2’de verilen zamana bağlı panel veri değeriinde $T_{ort}(^{\circ}C)$ saatlik ortalama sıcaklığı, $I_{şınım_{ort}}$ saatlik ortalama panelin sağladığı ışınlam değeriini, $V_{pç}$ panelden çıkan gerilim, $V_{şç}$ şarj kontrol cihazından çıkan gerilimi, $I_{şç}$ ise panelden şarj esnasında çekilen akımı göstermektedir.

Tablo 5.2. Zamana bağlı ortam ve panel verileri

Zaman	$T_{ort}(C)$	$I_{şınım_{ort}} (W/m^2)$	$V_{pç}$	$V_{şç}$	$I_{şç}$
09:00	23.9	592	14.6	11.5	1.3
10:00	24.1	759	14.7	11.5	1.8
11:00	24.2	848	15	11.5	1.9
12:00	25.1	932	15.4	11.5	2.1
13:00	24.1	899	15.2	11.5	1.8
14:00	23.5	886	15.2	11.5	1.7
15:00	22.9	773	15	11.5	1.7
16:00	20.3	627	14.6	11.5	1.3

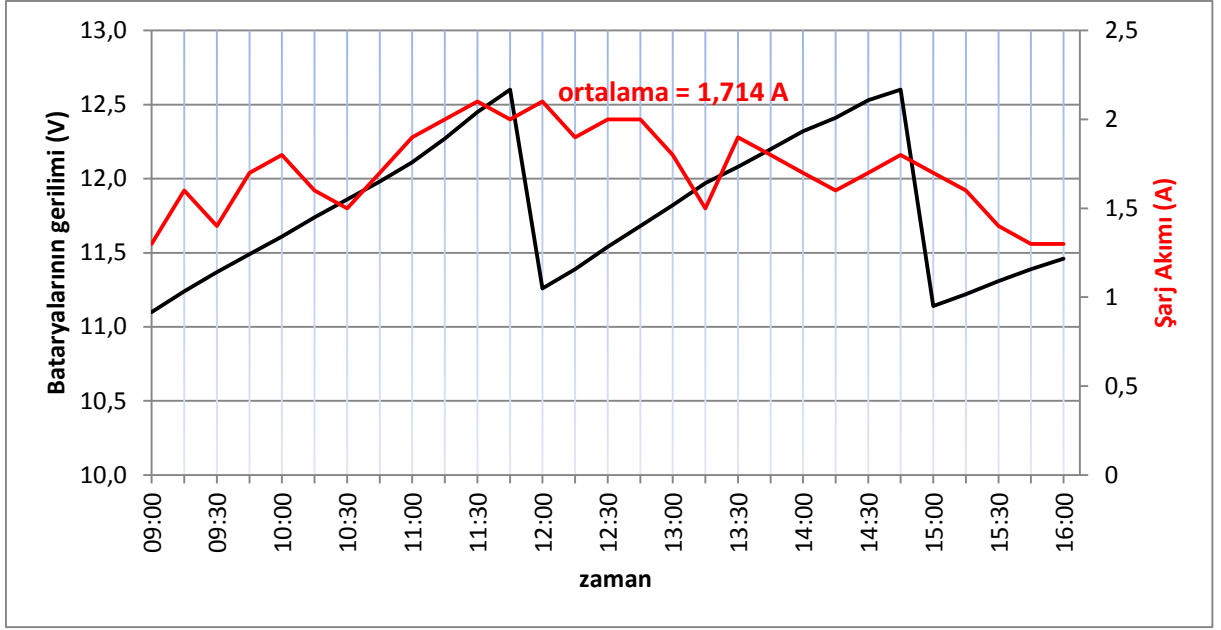
Devreye LiPo bataryalar bağlandığında, zamana bağlı olarak değişen gerilim değerleri Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Bataryanın şarjı esnasındaki güneş pili ve şarj kontrol çıkış gerilim değerlerinin değişimi.

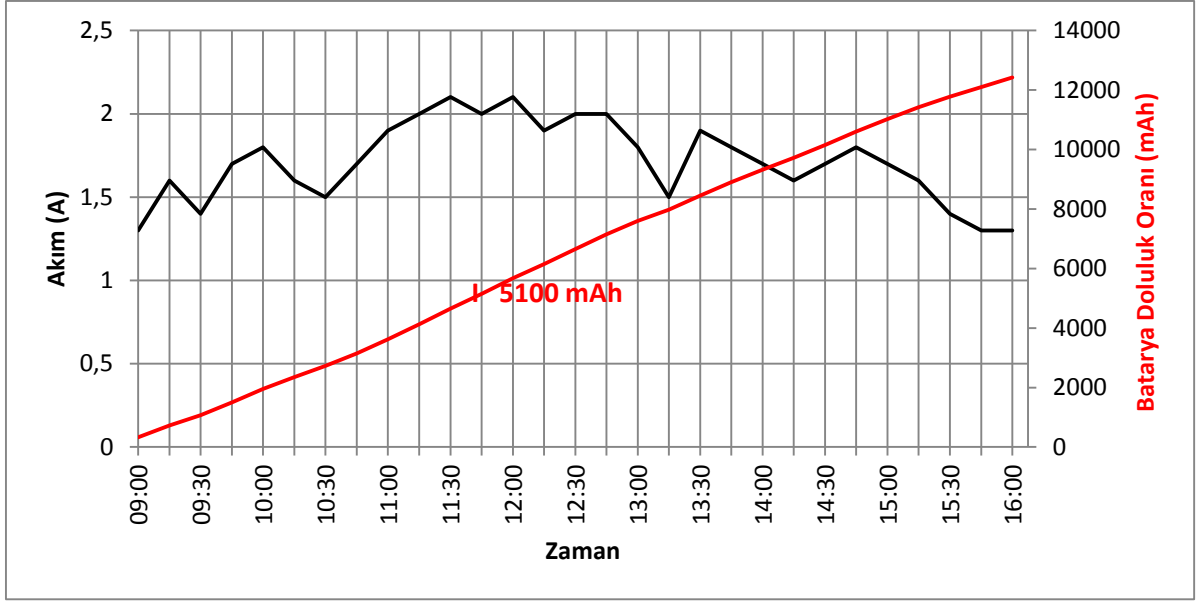
Yukarıda belirtilen günlerin 09:00 ile 16:00 saatleri arasında yapılan deneylerde güneş pillerinden sağlanan enerjinin bataryayı şarj etmeye yetecek seviyede olduğu görülmüştür. Deneylerle elde edilen sonuçlarda güneş pili sisteminin çıkış gerilim değerinin 14,6 Volt ile 15,4 Volt arasında değiştiği gözlenmiştir. Daha sonra şarj kontrol ünitesi üzerinden gerilim değerleri okunmuştur ve şarj kontrol ünitesinin geriliminin 11,5 Volt seviyelerine indirildiği, bu değerlerde gerekli olan sistem gerilimini sağladığı görülmüştür. Güneş pili sistemi ölçüm yapılan zamanlar dışında (saat 09:00'dan önce ve saat 16:00'dan sonra güneş ışınımı yetersiz) LiPo bataryaların özel şarj koşullarını sağlayamadığı görülmüştür.

Bataryaların şarj edilmesi esnasında gerilim değerlerinin yanında bataryalara verilen akımda oldukça önemlidir. Bataryaların şarj olması akım değerlerine bağlıdır. Bataryaların şarj kontrol ünitesi ile güneş pilinden çektiği akım değerleri Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Bataryaların şarj esnasındaki gerilim ve şarj akım değerlerinin değişimi.

Bataryaların şarj cihazı ile doldurulması esnasında 2.1 Amperin üzerinde akım çekildiğinde şarj cihazı gücün yetersiz kaldığı uyarısını vermektedir, bu nedenle en yüksek şarj akımı 2.1 Amper olarak belirlenmiştir. Akım değerinin düşük olması, bataryaların şarj süresini ve batarya çevrim oranını etkilemektedir. Burada bahsedilen batarya çevrim oranı pilin bir gün içerisinde şarj edilip kullanıldıktan sonra tekrar şarj edilmesi olayıdır. Bu çevrim ne kadar yüksek olursa gün içerisinde araç kullanım süresi o kadar artmaktadır. LiPo bataryalarda, bataryanın tam dolu olduğunu gösteren parametrelerden biri de her bir hücrenin sahip olduğu gerilim değeridir. Daha önce de bahsedildiği gibi deneyde kullanılan LiPo bataryaların nominal gerilim değeri her bir hücre için 3.7 Volt, toplamda üç hücre için 11.1 Volttur. Sadece bir hücrenin en fazla dolum oranı üretici tarafından 4.2 Volt olarak belirlenmiştir. 27.07.2013 tarihinde yapılan deneylerde saat 9:00'da şarj edilmeye başlanan bataryanın saat 11:38'de dolduğu gözlenmiştir. Daha sonra ikinci bataryanın şarj edilmesine başlanmıştır. Deneylerde bir bataryanın yaklaşık olarak 2 saat 40 dakikada dolduğu tespit edilmiştir. Bataryalara güneş pilinden şarj kontrol cihazı aracılığıyla 09:00 – 16:00 saatleri arasında gelen giriş akım değerleri ile bataryayı dolduran akım değerlerinin değişimi Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Bataryaların şarj esnasındaki giriş ve dolum akım değerlerinin değişimi.

Deneylerde ölçülen akım ve gerilim değerlerinden faydalanılarak bataryanın şarjı esnasındaki anlık güç değerleri aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır.

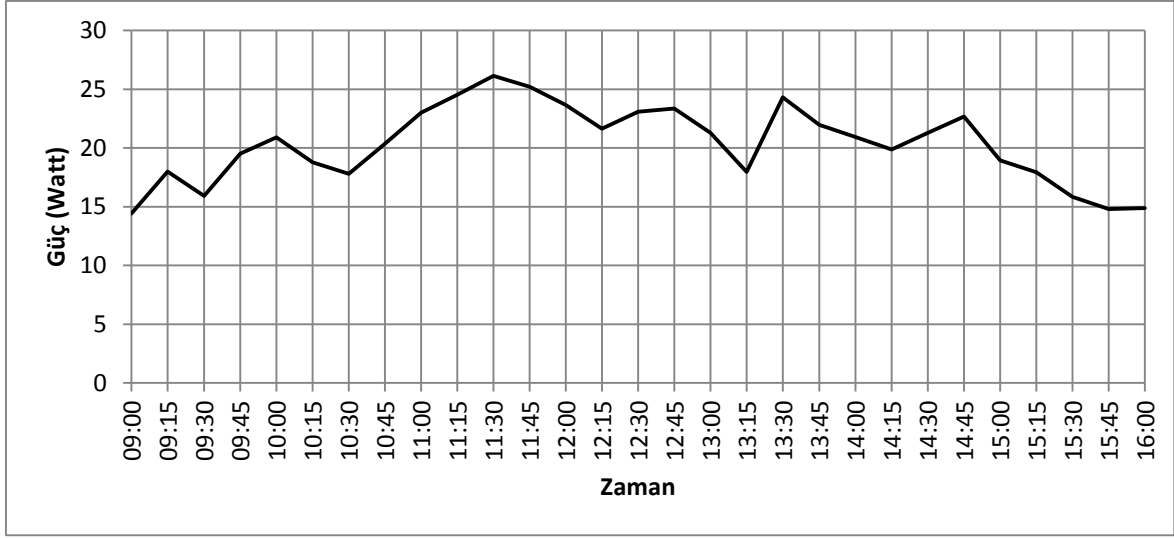
$$P(t) = I(t) \cdot V(t) \quad (5.14)$$

$P(t)$ anlık güç (Watt),

$V(t)$ gerilim (Volt),

$I(t)$ akım (Amper)'dir.

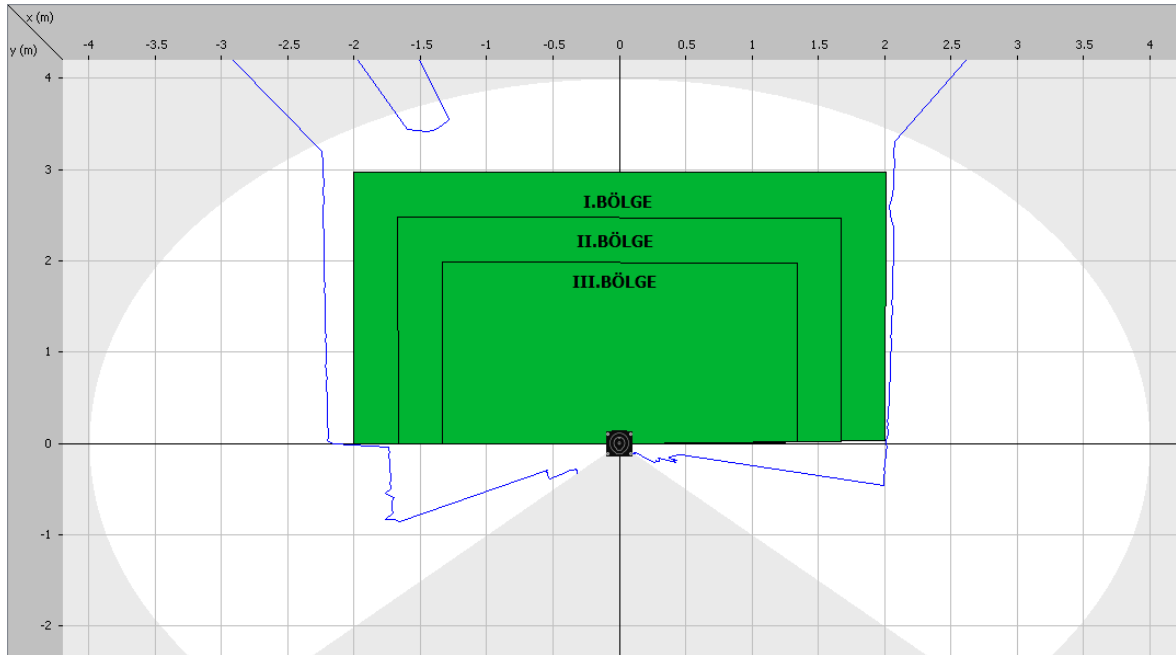
Bataryaların şarjı esnasında elde edilen anlık güç değişimleri Şekil 5.13'de verilmiştir. Deney yapılan günlerde esnek güneş pilinden çekilen en fazla güç 26.15 Watt'tır. Günlük ortalama çekilen güç değeri ise 20.31 Watt olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.13. Bataryanın şarjı esnasındaki anlık güç değişimi.

5.2.4. Saha Deneyleri

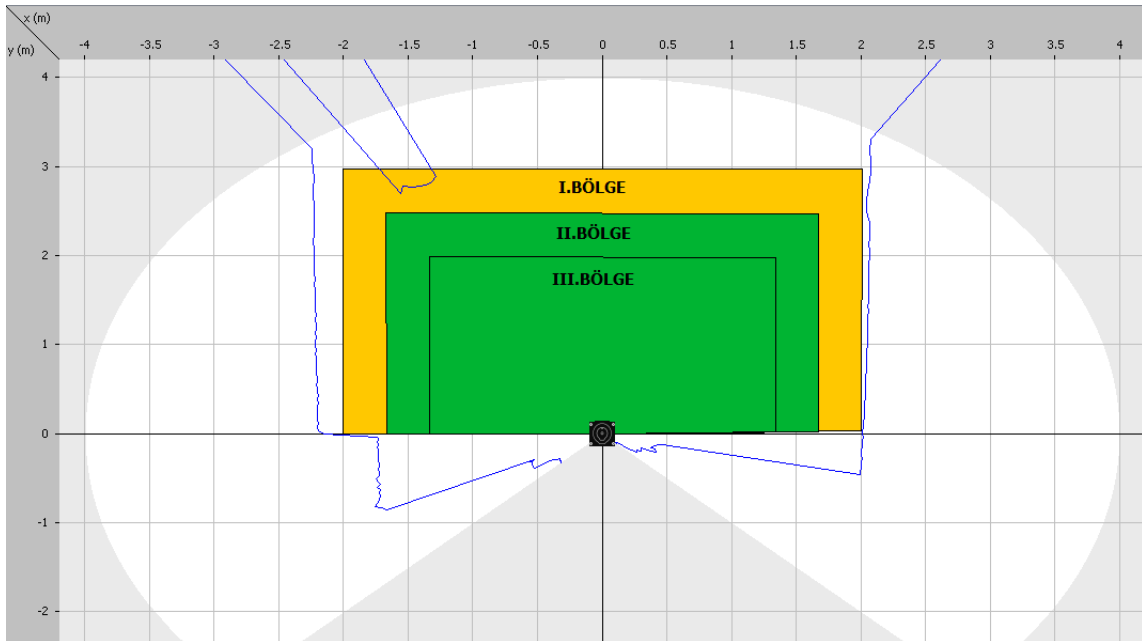
Deneylere başlamadan önce saha ölçümleri farklı alanlar için, değişik uzaklık ve tarama alanları denenerak yapılmıştır. Bu ölçümlerdeki asıl amaç, değişik şekillerdeki nesnelerin ASS sistemi tarafından algılanmasını incelemek ve performans değerlendirmesini yapmaktır. İlk deneyler kapalı ortamda yapılmıştır. 4 metre enindeki bir odada deneme amaçlı yapılan ölçümler Şekil 5.14’da gösterilmiştir.



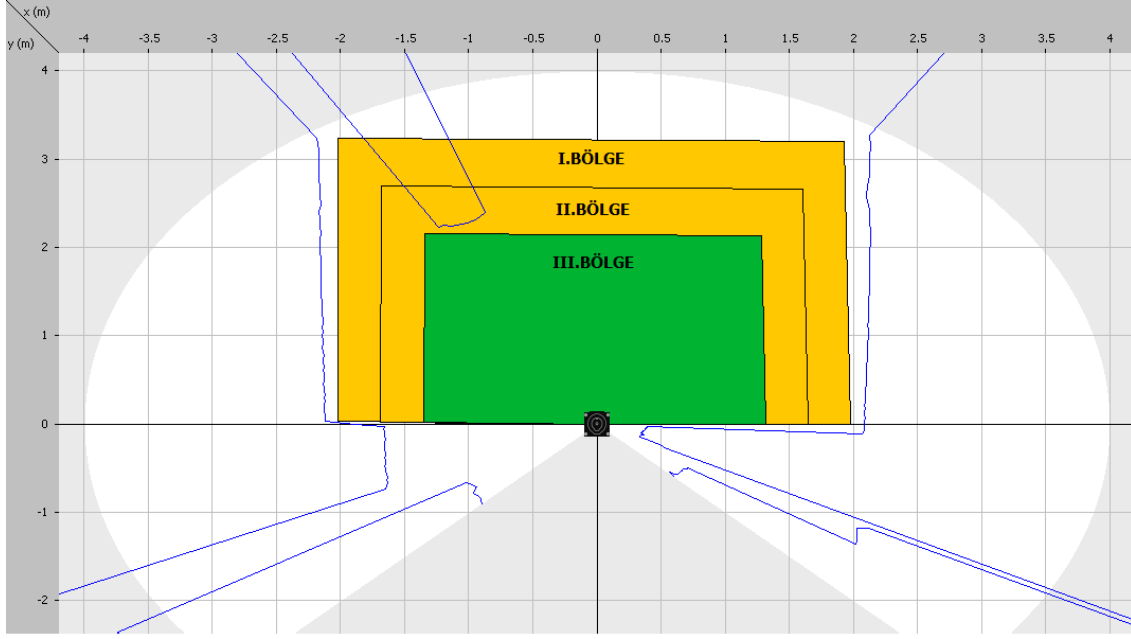
Şekil 5.14. 4 metre enindeki bir odada yapılan alan tarama denemesi.

Şekil 5.14’da gösterilen yeşil renk ile belirtilen alan tarama alanını, mavi renk ile gösterilen çizgiler sistemde algılanan nesneleri ve beyaz renk ile gösterilen elips şeklindeki alan ise en fazla tarama alanını belirtmektedir. Duvar ile ASS sisteminin tarama alanı arasındaki mesafe sağdan ve soldan toplam 20 cm hatalıdır. Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi nesnelerin gerçek uzaklıkları ile sensörün algıladığı uzaklıklar, ASS katalog değerinde yazan % 10 hata payı da hesaba katılırsa örtüşmektedir.

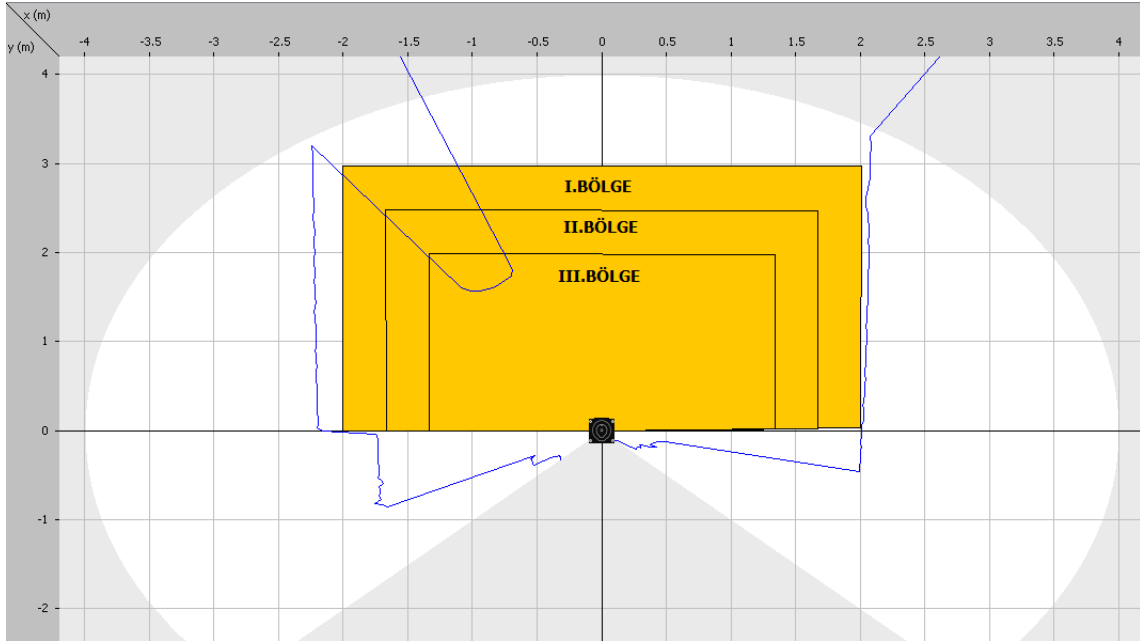
ASS sistemi ile yapılan ölçümler farklı bölgeler için tekrarlanmıştır. Burada belirtilen bölgeler yeşil renkli alan içerisinde çizgilerle birbirinden farklı alanları ifade etmektedir. Bu bölgelerin her biri değişik komutlar için programlanabilmektedir. Örneğin en dışta belirtilen birinci bölgeyi ele aldığımızda, bu bölgede herhangi bir nesne algılandığında bağlantı modülünden ilk anahtara bağlanan cihaz aktif olabilmektedir ya da cihazı kapatabilmektedir. Şekil 5.15’de ilk bölgeye giren 30 cm çapındaki bir nesne görünmektedir. Aynı deneyler Şekil 5.16 ve 5.17’de ikinci ve üçüncü bölge için tekrarlanmıştır. Şekillerden de anlaşılacağı üzere algılanan nesnenin boyutları üzerinde önemli bir fark yoktur. Burada belirtilen yeşil bölgenin sarıya dönmesi orada algılanan bir nesne olduğunu bize belirtmektedir.



Şekil 5.15. İlk bölgeye giren nesnenin algılanması.

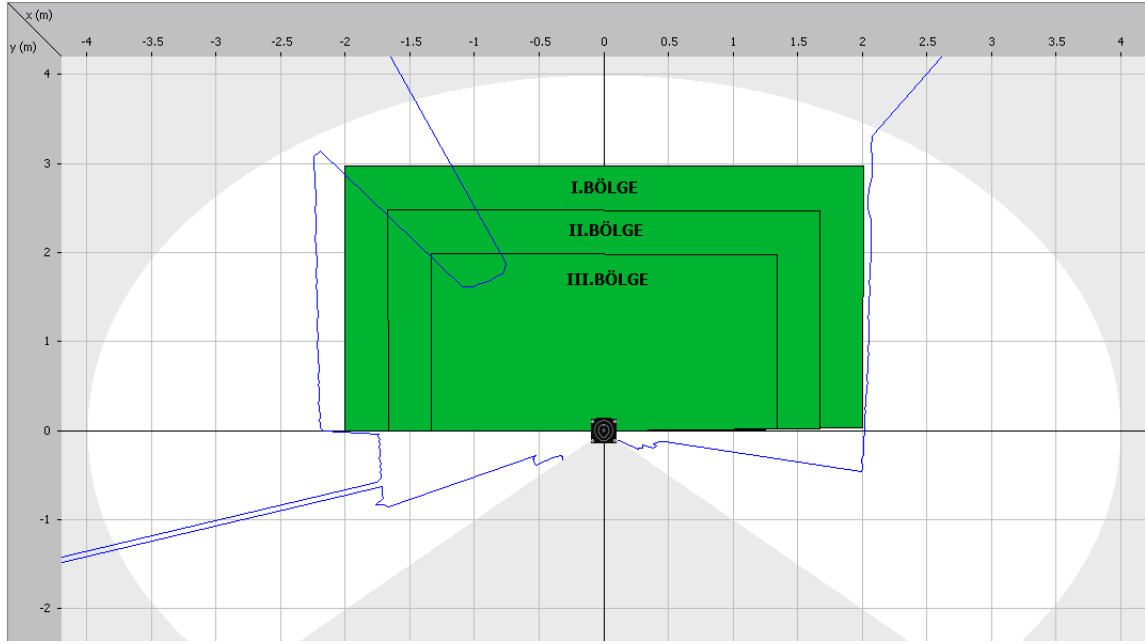


Şekil 5.16. İkinci bölgeye giren nesnenin algılanması.



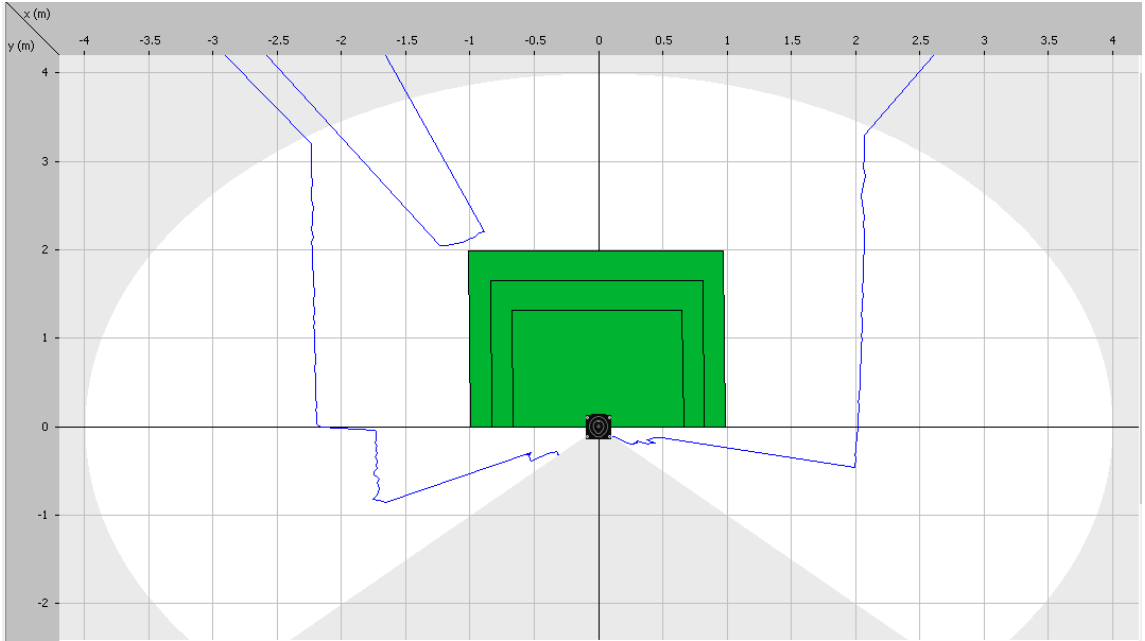
Şekil 5.17. Üçüncü bölgeye giren nesnenin algılanması.

Şekil 5.18'de tarama alanında 40 cm'den büyük nesnelerin tanınması olarak ayarlandığında bölgenin hala yeşil olduğu yani çıktı değeri vermediği görülmektedir. Bu özellik sayesinde sistemin farklı değerler için çalışması ayarlanabilmektedir.



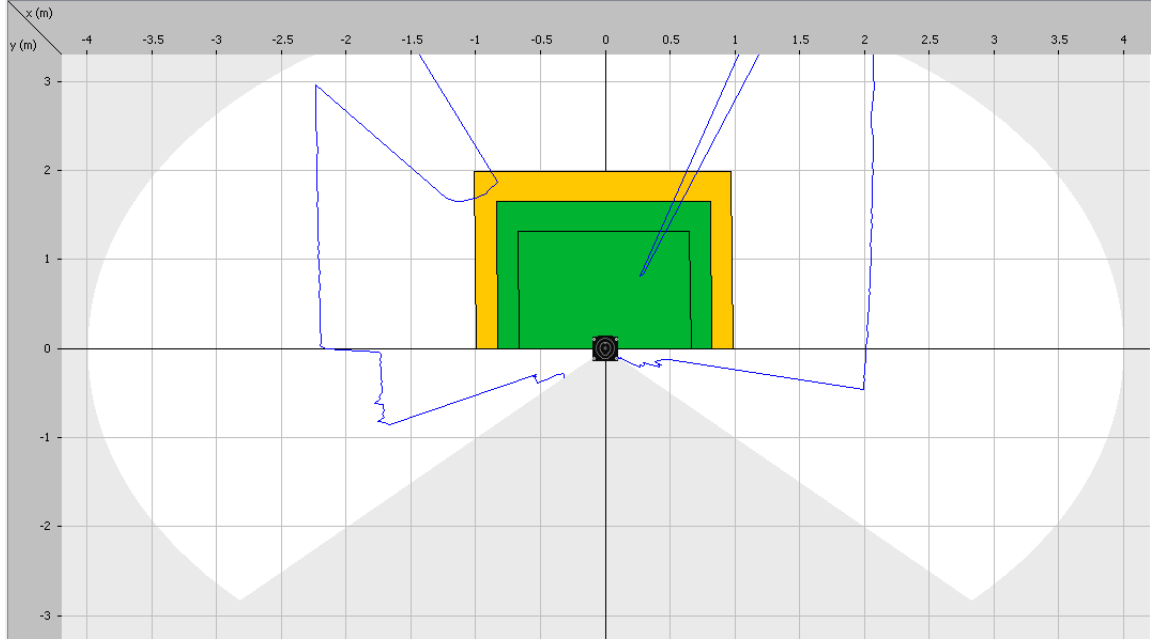
Şekil 5.18. Sistemin 40 cm çaptan küçük nesneleri tanımaması.

ASS'nin tarama alanı program yardımıyla değiştirilmektedir. Değiştirilen tarama alanına bir örnek Şekil 5.19'de gösterilmiştir.



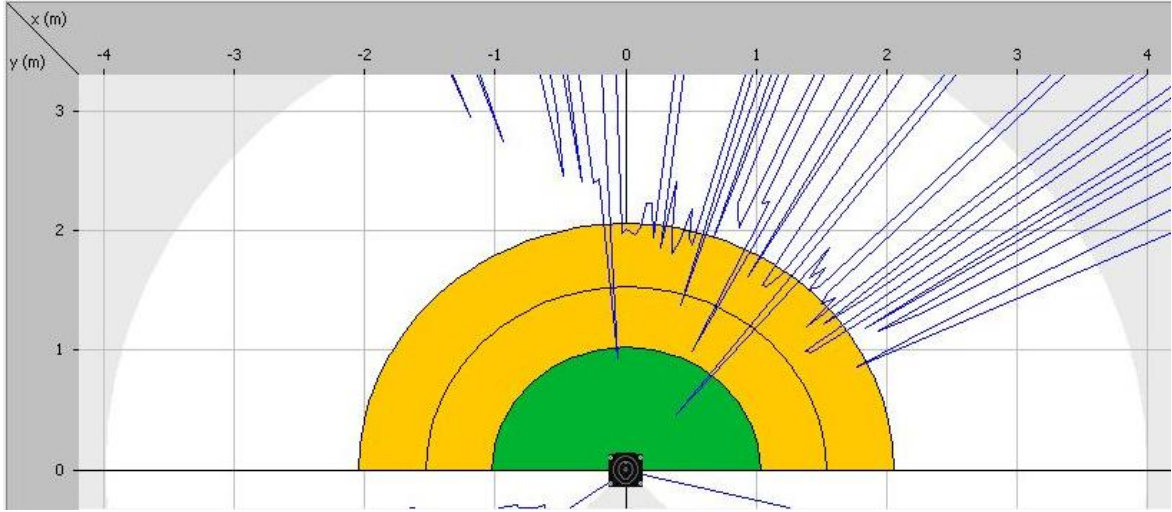
Şekil 5.19. ASS'nin tarama alanının değiştirilmesi.

Şekil 5.20’de ASS sistemin algılama çapı olarak 10 cm’ye çekilmesi durumunda birinci bölgedeki 30 cm çapındaki nesneyi algıladığı ancak üçüncü bölgeye kadar giren 6 cm çapındaki nesneyi algılamadığı görülmüştür.

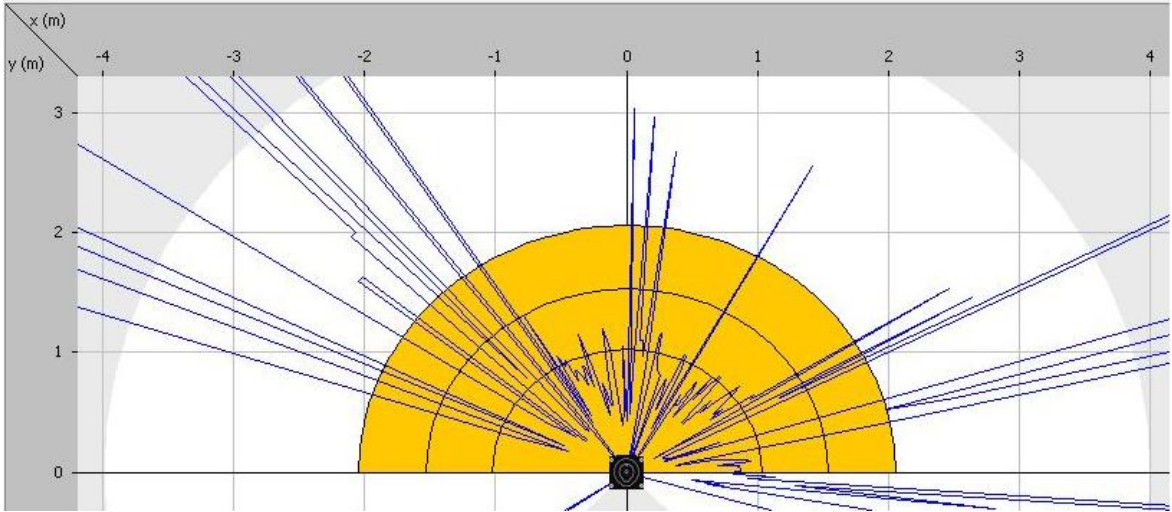


Şekil 5.20. İki farklı nesnenin algılanma durumu.

Başlangıç deneylerinde kullanılan tarama alanı yarım daire olarak belirlenmiştir. Burada amaçlanan algılanacak nesnelerin her noktadan sensöre uzaklığının aynı olmasını ve dolayısıyla daha iyi bir biçme alanı sağlamaktır. Şekil 5.21’de dairesel alanda buğdayların nasıl algılandığı görülmektedir. Mavi renkle gösterilen çizgiler ile sensör tarafından algılanan buğday sapları rahatlıkla görülebilmektedir. Şekil 5.21’deki algılamada özellikle bırakılan birkaç buğday sapının sistemi çalıştırmadığı fakat ikinci bölgede aktif olduğu görülmektedir. Şekil 5.22’de birinci bölgeye yaklaştırılan buğdayların algılanmasını verilmektedir. Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de gösterilen başlangıç deneylerindeki yarım daire şeklindeki tarama alanının gereksiz olduğu gözlemlenmiştir. Sağdan ve soldan yaklaşan nesneler ile sistemin aktif olması istenmeyen bir durumdur. Bu durum hem sistemin gereksiz çalışmasına neden olmakta hem de cihaza sağdan ve soldan boş alanda yaklaşılmasına izin vermemektedir. Bu nedenle FBBM sisteminde kullanılacak alanın 1/6 daire şeklinde olmasına karar verilmiştir. Belirlenen tarama alanı hem sisteme yaklaşılmasına izin vermekte hem de gereksiz çalışmanın önüne geçmektedir.

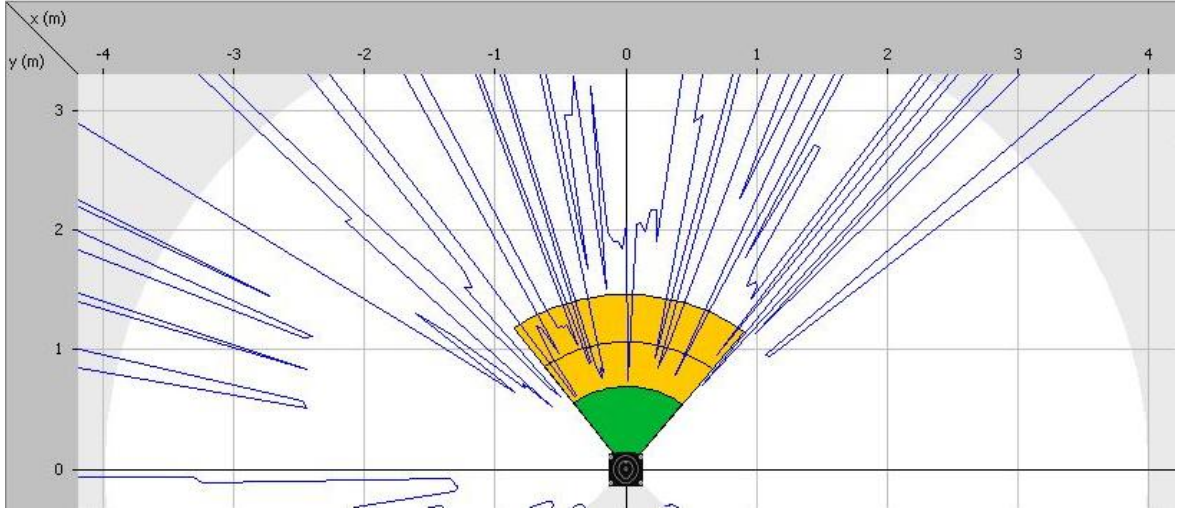


Şekil 5.21. Dairesel alanda buğdayların algılanması.

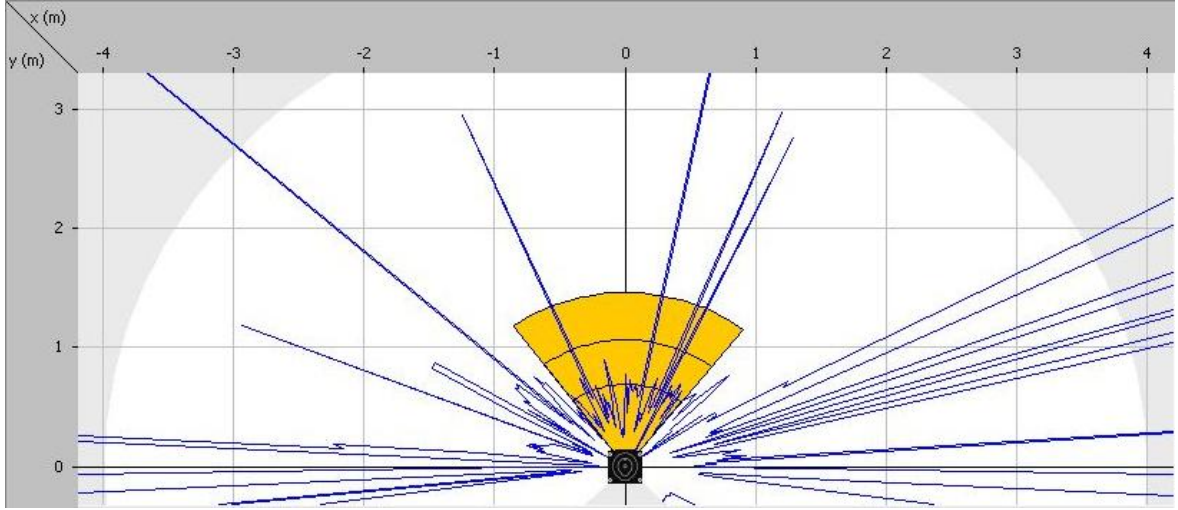


Şekil 5.22. Dairesel alanda birinci bölgeye kadar yaklaştırılan buğdayların algılanması.

Şekil 5.23’de buğday biçme sırasındaki yaklaşılan buğday saplarının algılanması gösterilmektedir. Şekil 5.24’de buğday biçme işleminin başlamış haldeki görüntüsü verilmiştir.



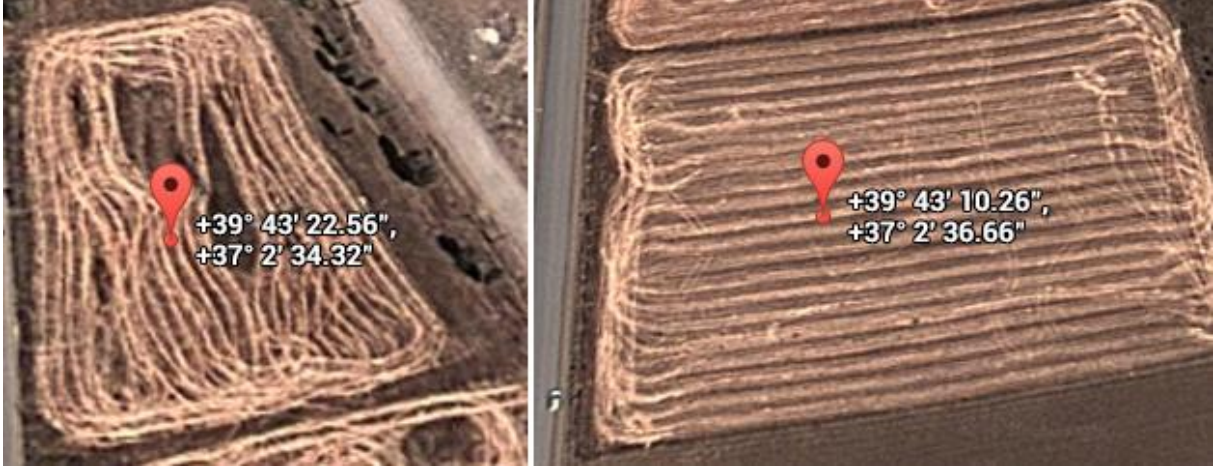
Şekil 5.23. FBBM sistemine en uygun alanda biçme alanın görüntüsü.



Şekil 5.24. Buğday biçme işleminin başlaması.

5.2.5. Araç (biçme) Deneyleri

Biçme deneyleri $+39^{\circ}43'10.26''$, $+37^{\circ}2'36.66''$ ve $+39^{\circ}43'22.56''$, $+37^{\circ}2'34.32''$ konumlarında iki tarlada gerçekleştirilmiştir. Bu tarlalardan ilki buğday başaklarıyla birlikte biçme işleminin yapıldığı 5 m^2 'lik bir alan ve ikincisi 50 m^2 'lik sadece başakları alınmış buğday sapları bulunan bahçede gerçekleştirilmiştir. Biçme deneylerinin gerçekleştirildiği tarlaların uydu görüntüsü Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.25. Biçme deneylerinin gerçekleştirildiği tarlaların uydudan görünümü.

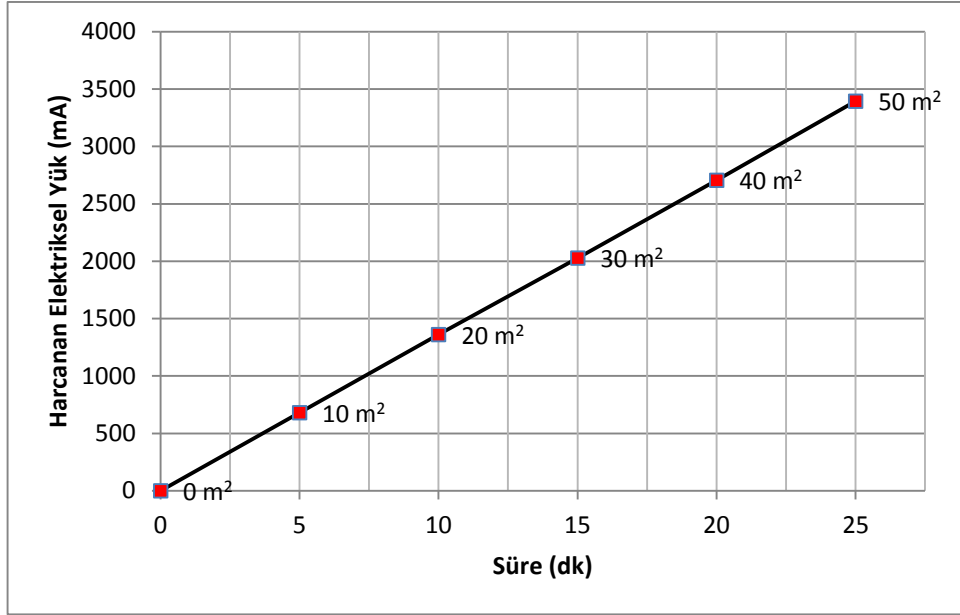
Aracı hareket kontrol etmek için FUTABA T4PL dijital kumanda kullanılmıştır. Bu kumanda sayesinde, araç ivmesi, dönüş çapı, en yüksek hızı gibi birçok parametresinin kontrol edilebilmektedir. Biçme süresi ve çalışma süresi bu kumanda üzerindeki zaman ölçer yardımıyla kontrol edilmiştir. Kumanda ana sayfası ve zaman ölçerin kayıt esnasındaki görünümü Şekil 5.26’de gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Kumanda ekran görüntüsü ve zaman ölçerin çalışması

Biçme deneyleri sırasında 5 m²'lik alanda yaklaşık olarak 500 mAh elektriksel yük harcanmıştır. 50 m²'lik alanda yapılan deneylerde harcanan elektriksel yük 3395 mAh'tir.

Harcanan elektriksel yük ile biçilen alanın zamanla değişim grafiği Şekil 5.27’de gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Harcanan elektriksel yük ve biçme alanının zamana göre değişimi.

FBBM alan taraması yaparak deney yapılan bölgedeki güneşlenme oranlarına bağlı olarak başarılı bir biçme işlemi gerçekleştirmiştir. Bu biçme işlemlerinin gerçekleştirildiği alanlar boyutlar göz önüne alındığında başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada oluşturulan araç ile 127 cm kesme genişliğine, 7.5 kW tek silindirli dizel motor sahip 22.000 TL satış fiyatı olan bir biçme aracı ile kıyaslandığında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. 1000 m²’lik bir alanı biçmek için kullanılan yakıt, aracın katalog değerlerine göre 1.4 lt’dir. Dizel yakıt fiyatı 21.03.2014 tarihinde 3.68 TL (vergiler dahil) olduğu hesaba katılırsa toplam 5.152 TL’lik yakıt sarfiyatı söz konusudur. Aynı hesap gerçekleştirilen araç için hesaplandığında 1000 m² alan için;

50 m² için 3395 mAh,

3395 x 20 = 67900 mAh = yaklaşık olarak 68 Ah olacaktır (1000 m² için).

$P=I.V$

68x14.9= 1013 Wh ~ 1 kWh elektrik enerjisi harcanacaktır (1000 m² için).

Elektrik kWh fiyatı 21.03.2014 tarihinde 0.36 TLolarak alınırsa biçme aracımız 1000 m²'lik alanda 0.36 TL'lik harcamada bulunacaktır. Fakat tasarlanan araç bir prototip olduğu için boyutları, batarya kapasitesi ve güneş pili gücü nispeten küçüktür. Bu nedenle, Şekil 5.12'de gösterildiği gibi günlük yaklaşık olarak 12 Ah güç depolayabilmektedir. Bu değerle de biçme olayı yaklaşık olarak 6 gün sürmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından ülkemizde oldukça bol miktarda bulunan güneş enerjisi kullanarak tarım sektöründe uygulanabilirliği araştırılmıştır. Dünyada son yıllarda güneş enerjisinden elektrik elde edilmesinde etkin kullanılmaya başlanan güneş pilleri ile buğday biçme makinası tasarlanmıştır. Buğday biçme makinası prototipi akıllı sensör sistemi ile donatılarak sisteme gerekli bildirimler sağlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- a. Literatürde karşılığı olmayan bu sistem sayesinde etkin bir biçme gerçekleştirilmiştir.
- b. Güneş pilleri sayesinde prototip aracın çalışma süresi % 30 artırılmıştır.
- c. Biçme deneyleri sırasında 5 m² ve 50 m²'lik alanlar için yapılan deneylerde harcanan elektriksel yükler sırasıyla 500 ve 3395 mAh olarak elde edilmiştir.
- d. Bir batarya ile sabit güçte 75 m²'lik alan için 37 dakika çalışma süresi hesaplanmıştır.
- e. Yapılan deneylerde gün içerisinde maksimum güç 26.15 Watt olarak hesaplanmıştır.
- f. Lazer tarayıcı sistemlerin her alanda kullanılabileceği ortaya konulmuştur.
- g. Esnek güneş pillerinin tarımsal alanlarda kullanıma uygun olduğu fakat çıkış güçlerinin artması ile daha başarılı çalışmalara neden olacağı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Niknam, T., Firouzi, B.B.**, 2009. A Practical Algorithm For Distribution State Estimation Including Renewable Energy Sources, *Renewable Energy*,34,2309–2316.
- [2] **Oktik, Ş.**, 2011. Türkiye'nin ve Dünyanın Enerji Sorununa Nihai Çözüm: Güneş Enerjisi, *Bilim ve Teknik*, Haziran 2011, 44-49.
- [3] **Köroğlu, T., Teke, A., Bayındır, Ç., Tümay, M.**, 2010. Güneş paneli sistemlerinin tasarımı, *Elektronik Mühendisliği*, 439, 98-104.
- [4] **Paridaa, B., Iniyana, S., Goic, R.**, 2011. A review of solar photovoltaic technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1625-1636.
- [5] http://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş_pili Güneş Pili. 25 eylül 2013.
- [6] **Çolak, M.**, 2009. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Dönüşüm, *Bilim ve Teknik*, Mayıs 2009, 32-35.
- [7] **Mah, O.**, 1998. Fundamentals of Photovoltaic Materials, In National Solar Power Research Institute (NSPRI) Report, 21.12.1998.
- [8] <http://www.solar-bazaar.com/menus/fotovoltaik-gunes-gozeleri-ve-guc-sistemleri.pdf>, Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri, 26.Eylül 2013.
- [9] **MEGEP**, 2012. Güneş Pillerinde Üretilen Doğru Akımın Temelleri, Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, Ankara, 522EE0359.
- [10] <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>, Fotovoltaik Piller, 25 Eylül 2013.
- [11] **Türkeş M.**, IPCC'nin Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliğine İlişkin Yeni Bulgu ve Sonuçlarının Değerlendirmesi – 5 Ekim 2013
- [12] **IPCC**, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- [13] **European Communities**, 2013. EU Energy and transport figures, Statistical Pocketbook, Belgium.
- [14] **SET-Plan**, 2009. Strategic Energy Technology Plan (SET Plan). available at: http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm (17.02.2013).

- [15] **Stout, B.A., McKiernan, M.**, 1992. New technology-energy implications, chapter 11. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in World Agriculture. Energy in Farm Production*, vol 16. Elsevier, Amsterdam, Holland, pp. 131-171.
- [16] **Edwards K. D., Wagner R.M.**, Briggs T. E., Theiss T. J., 2011. Defining engine efficiency limits, 17th DEER Conference, Detroit, MI, USA.
- [17] **Shaahid, S.M., & Elhadidy, M.A.**, 2008. Economic analysis of hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for residential loads in hot regions-A step to clean future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 488-503.
- [18] **Mousazadeh, H., Keyhani, A., Mobli, H., Bardi, U., Lombardi, G., el Amsar, T.**, 2009. Environmental assessment of RAMseS multipurpose electric vehicle compared to a conventional combustion engine vehicle. *Journal of Cleaner Production* 17, 781-790.
- [19] **Mousazadeh, H., Keyhani, A., Mobli, H., Bardi, U., Lombardi, G., el Amsar, T.**, 2009. Technical and economical assessment of a multipurpose electric vehicle for farmers. *Journal of Cleaner Production* 17, 1556-1562.
- [20] **Albright, G., Edie J., Al-Hallaj S.**, 2012. A comparison Lead Acid to Lithium-ion in Stationary Storage Applications, *The Alternative Energy eMagazine*, AllCell Technologies LLC, April 2012.
- [21] **Redpath, D.A.G., Wright D. M., Kattakayama, T., Hewitt, N. J., Karlowski, J., Bardi U.**, 2011. Battery powered electric vehicles charged via solar photovoltaic arrays developed for light agricultural duties in remote hilly areas in the Southern Mediterranean region, *Journal of Cleaner Production* 19, 2034-2048.
- [22] **Shaahid, S.M., El-Amin, I.**, 2009. Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia-a way forward for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 625-633.
- [23] **Öztürk, H., Yasar, B., Eren Ö.**, Tarımda Enerji Kullanımı Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü
- [24] **Yağcıoğlu, A.**, 1996. Ürün işleme Tekniği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 517, İzmir, ISBN 975- 483-303-6.
- [25] **Kısakürek, B.**, 1980. Kurutma Modelleri. *Isı Bilimi ve Tekniği*. Cilt 2, 37-40.
- [26] **Ünalın, S.**, 2006. Alternatif Enerji Kaynakları, <http://me.erciyes.edu.tr/sunalan/alt-ener-kay.pdf>.

- [27] **Dalgıç, A.C.**, 2006. Güneş Enerjili Kurutucular,
<http://www1.gantep.edu.tr/~dalgic/gunes.htm>
- [28] **Weiss, W., Buchinger, J.**, 2003. Solar Drying, Erneuerbare Energie Institute for Sustainable Technologies, Austria.
- [29] **Tüzel, Y., Gül, A., Dura, S.**, 1994. Jeotermal Enerjinin Tarımda Kullanım Olanakları, Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu Bildiri Kitabı: 485-490, Denizli.
- [30] **Öztürk, H.H.**, 2006. Seracılıkta Jeotermal Enerji Kullanımı, Türkiye Ziraat Odaları Birliği Yayın No: 259, S (394), ISBN: 975-8629-46-8.
- [31] http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx, Biyokütle Enerjisi, 25 Eylül 2013.
- [32] **MEGEP**, 2007. Motorlar, Bilişim Teknolojileri, Ankara.
- [33] **Brown, W.**, 2002, Brusless DC Motor Control MadeEasy, DS00857,1-48.
- [34] **M.B. Armandand M. Duclot**, Eur. Patent No. 0 013 199.
- [35] **Walker G.**, 2001. Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model, Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, IEAust, vol.21, No. 1, pp.49-56.
- [36] **Lorenzo, E.**, 1994. Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems. Artes Graficas Gala, S.L., Spain,
- [37] **Gow, J. A., Manning, C. D.**, 1999. Development of a photovoltaic array model for use in power electronics simulation studies, IEE Proceedings on Electric Power Applications, vol. 146, no. 2, pp. 193-200.
- [38] **CIGRE TF38.01.10**, 2000. Modeling New Forms of Generation and Storage.
- [39] **González-Longatt F.M.**, 2005. Model of Photovoltaic Module in Matlab, 2do Congreso Iberoamericano De Estudiantes De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Computación, II Cíbelelec.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah KAPICIOĞLU, 03.06.1984 yılında Ünye’de doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Ünye’de tamamladı. 2011 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2013 Yılında İkinci Üniversite kapsamında Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümünden Mezun oldu. 2012 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı. Şu anda Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve devam etmektedir.