



**KLOROFİL İLE ORGANİK GÜNEŞ PİLİ ÜRETİMİ
VE VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI**

Abdulkakim KAHYAOĞLU

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU**

**KLOROFİL İLE ORGANİK GÜNEŞ PİLİ ÜRETİMİ VE VERİMLİLİĞİNİN
ARTIRILMASI**

Abdulkakim KAHYAOĞLU

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU**

**KARABÜK
Ocak 2021**

Abdulkakim KAHYAOĞLU tarafından hazırlanan “KLOROFİL İLE ORGANİK GÜNEŞ PİLİ ÜRETİMİ VE VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/01/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ahmet KESKİN (AİBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdülhakim KAHYAOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KLOROFİL İLE ORGANİK GÜNEŞ PİLİ ÜRETİMİ VE VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

Abdulkakim KAHYAOĞLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU

Ocak 2021, 51 sayfa

Bu çalışmada, doğal klorofil molekülleri kullanılarak klorofil bazlı organik güneş pili üretilmiştir. Klorofil molekülleri ıspanağın yeşil yapraklarından etil alkol ile ayrıştırılmıştır. Klorofil, güneş hücrelerinde fotosentez işlemini taklit ettiği için güneş hücrelerinde ışığa duyarlı hale getirici olarak işlev görmektedir. Elde edilen doğal klorofil moleküllerinin aktif görev alması ile elektrik enerjisi üretilmiştir. Klorofil çözeltisinin çözücü tipi ve pH 'ı klorofil stabilitesini ve daha sonra organik güneş pillerinin performansını da etkileyecektir. Klorofil kullanarak elde edilen güneş pili elde edilen değerler bakımından elektrik enerjisi üretmiştir. Klorofil gibi doğada fazla miktarda bulunan doğal moleküller, elektrik enerjisi üretimi uygulamalarında olumlu bir sonuç vermiştir. Saf klorofil tabanlı güneş pillerinin verimsel artışını sağlayabilmek için ek doğal maddeler ilave edilerek yeni güneş hücreleri üretilmiştir. Elde edilen klorofil güneş pilinden testinde dijital multimetre ile ölçüm yapılmıştır.

6 saat aydınlık testinde dijital multimetre ile ölçüm yapılmış olup, 0,798 Volt gerilim elde edilmiştir. Bu iki testin devamı olarak 0,798 Volt elde edilmiş olan güneş pilinden 3 adet yapılmıştır. Üç adet güneş pili seri bağlanarak 2,396 Volt elde edilmiştir. Sisteme bir adet Diyot Led entegre edilerek led aydınlatılmıştır. Enerjisi biten üç adet pil ertesi gün şarj edilmesi için güneş ortamına bırakılmıştır. Şarj olan bir adet pilden 0,694 Volt enerji elde edilmiştir. Üretilen klorofil tabanlı güneş pilinin, elektrik enerjisi üretmiş olduğu ve pil özelliği gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Klorofil, güneş paneli, organik, yapay fotosentez.

Bilim Kodu : 91408

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ORGANIC SOLAR BATTERY PRODUCTION WITH CHLOROPHYLL AND INCREASING EFFICIENCY

Abdulahkim KAHYAOĞLU

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Selami SAĞIROĞLU

January 2021, 51 pages

In this study, chlorophyll-based organic solar cell has been produced by using natural chlorophyll molecules. Chlorophyll molecules were separated from the green leaves of spinach with ethyl alcohol. Since chlorophyll mimics the photosynthesis process in solar cells, it functions as a light-sensitizer in solar cells. Electric energy was produced by the natural chlorophyll molecules obtained taking active part. The solvent type and pH of the chlorophyll solution will affect the stability of chlorophyll and then the performance of organic solar cells. The solar cell obtained by using chlorophyll produced electrical energy in terms of the values obtained. Natural molecules such as chlorophyll, which are found in large amounts in nature, have given positive results in electrical energy production applications. In order to increase the efficiency of pure chlorophyll-based solar cells, additional natural substances were added and new solar cells were produced. In the chlorophyll solar cell test obtained, measurements were made with a digital multimeter.

In the 6 hour luminance test, measurement was made with a digital multimeter and a voltage of 0,798 Volts was obtained. As a continuation of these two tests, 3 solar cells of 0,798 Volt were made. 2,396 Volts were obtained by connecting three solar cells in series. A Diode LED is integrated into the system and the LED is illuminated. Three batteries whose energy has run out are left in the solar environment to be charged the next day. 0,694 Volts of energy was obtained from one charged battery. It has been observed that the produced chlorophyll-based solar cell has produced electrical energy and has a battery feature.

Key Word : Chlorophyll, solar cell, solar panel, organic, artificial photosynthesis.

Science Code : 91408

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU' na sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili eőim Esra KAHYAOĞLU' na ve aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbim ile teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
GÜNEŞ PANELLERİ.....	4
2.1. ORGANİK GÜNEŞ PANELLERİ & HÜCRELERİ.....	6
2.3. ORGANİK GÜNEŞ PANELLERİNDE ARA KATMAN OLARAK KULLANILAN MALZEMELER.....	8
2.3.1. Konjuge Polimer Tabaka	8
2.3.2. Fulleren Türevli Tabaka	8
2.3.3. Metal Oksitli Tabaka	9
2.4. ORGANİK GÜNEŞ PANELLERİNİN YAPISI VE TÜRLERİ	9
2.4.1. Tek Katmanlı Organik Güneş Panel Hücreleri.....	9
2.4.2. Çift Katmanlı Organik Güneş Panel Hücreleri.....	10
2.4.3. Heteroeklem Katmanlı Organik Güneş Panel Hücreleri	11
2.4.4. Tandem Katmanlı Güneş Pilleri	12
2.5. ZORLUKLAR.....	13
2.5.1. Verim	13
2.5.2. İstikrar.....	15

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	16
KLOROFİL TABANLI ORGANİK GÜNEŞ PİLLERİ.....	16
3.1. KLOROFİL VE KLOROFİL ELDESİNDE ÖNEMLİ BİLGİLER	18
3.2. KLOROFİLİN TEORİK NİTELİKLERİ VE DİĞER DOĞAL PİGMENTLERDEN FARKLILIKLARI.....	20
3.3. KLOROFİL GÜNEŞ PİLLERİNİN TEMEL YAPISI.....	21
3.4. KLOROFİL TABANLI ORGANİK GÜNEŞ PANELİ TEMEL YAPISI	22
BÖLÜM 4	24
METERYAL VE METOD	24
4.1. METERYAL	24
4.2. METOD.....	28
4.3. KLOROFİL GÜNEŞ PİLİ YAPIMI	28
4.4. KLOROFİL TABANLI GÜNEŞ PANELİ YAPIMI.....	31
BÖLÜM 5	36
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	36
BÖLÜM 6	45
SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Türkiye elektrik enerjisi talebi tahmini	2
Şekil 1.2. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritası.....	3
Şekil 2.1. Kristal yapılu silisyum güneş pilleri	5
Şekil 2.2. İnce film tabakalı güneş pilleri.....	5
Şekil 2.3. a) İnorganik güneş hücresi temel yapısı, b) Organik güneş hücresi temel yapısı.	7
Şekil 2.4. Organik güneş pillerinin çalışma düzeneği.	8
Şekil 2.5. Tek katmanlı organik güneş panel şeması.....	10
Şekil 2.6. Çift katmanlı organik güneş panel şeması.....	10
Şekil 2.7. Heteroklem katmanlı organik güneş panel şeması.	11
Şekil 2.8. Tandem katmanlı güneş pili.	12
Şekil 2.9. Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL)' na göre güneş hücrelerinin tarihsel gelişimi.....	14
Şekil 3.1. Nano boyutta planlanmak istenen klorofil güneş hücresi	18
Şekil 3.2. Klorofil güneş pili örneği.	22
Şekil 3.3. Klorofil güneş paneli örneği.....	23
Şekil 4.1. Yalıtkan cam beher.....	25
Şekil 4.2. Etil alkol.	25
Şekil 4.3. Bakır ve çinko elektrot.	26
Şekil 4.4. Gerilim ölçüm cihazı multimetre.	26
Şekil 4.5. Mezür.	27
Şekil 4.6. Hassas terazi.	27
Şekil 4.7. Özel odak camı.	28
Şekil 4.8. Klorofil özütünün filtre kağıdından geçirilmesi.....	30
Şekil 4.9. Klorofil güneş pili.	30
Şekil 4.10. Klorofil güneş paneli temel yapısı	31
Şekil 4.11. Üretilen klorofil güneş paneli temel yapı şeması.	33
Şekil 5.1. Klorofil ekstraktı türüne göre voltaj verileri.	37
Şekil 5.2. Klorofil güneş pilimizin 6 saat gündüz verim testi voltaj ölçümü.	38

Sayfa

Şekil 5.3. Klorofil güneş pilimizin 6 saat gece verim testi voltaj ölçümü.	38
Şekil 5.4. Gece sonrası güneş ışığında şarj işlemi verileri.	39
Şekil 5.5. Bir aylık ölçüm parametresi.	40
Şekil 5.6. Üretilen farklı güneş pillerinin verim- gerilim grafiği.	41
Şekil 5.7. Üretilen farklı güneş pillerinin ömür dayanım testi.	42
Şekil 5.8. Güneş hücrelerinin parametrelerinin kıyası.	43
Şekil 5.9. Klorofil çözücü maddelerinin kararlılık grafiği.	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Organik güneş hücreleri için maksimum verim değerleri.....	13
Çizelge 3.1. Klorofil çözücü malzemeler.....	19
Çizelge 3.2. Klorofil tabanlı organik güneş panelinde kullanılan tabakalar ve malzemeler.....	23
Çizelge 5.1. Üretilen organik güneş pillerinin parametreleri.	41
Çizelge 5.2. Üretilen organik güneş panellerinin parametreleri.	42

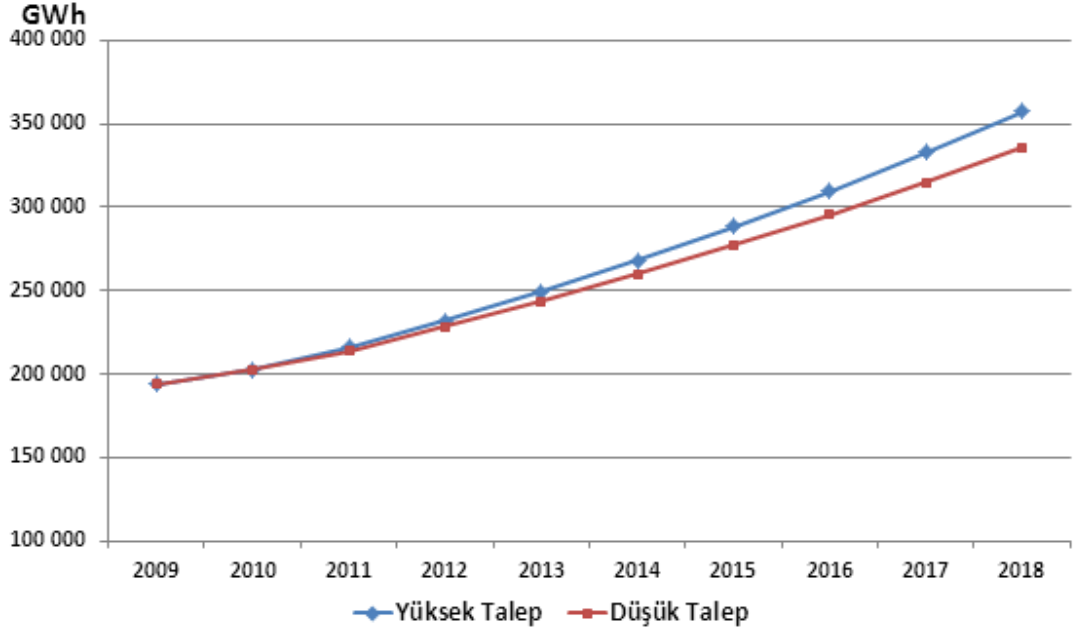
BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlamasından bugüne kadar en önemli ihtiyaçlardan biri her zaman enerji olmuştur. Enerji insanlık yaşamında, şehirleşmede, sanayileşmede ve teknolojik ihtiyaçların her geçen gün artmasıyla ihtiyacımız da bu oranda artmıştır. Dünyanın enerji ihtiyacı her geçen yıl % 5 - % 7 oranında artmaktadır. Bir önceki asra göre insanlık nüfusu 4 kat artarken enerji ihtiyacı 20 kat artmıştır. Bu nedenle enerjinin temel ihtiyaçlar listesindeki yeri ilk sıralara taşınmıştır. Enerji ihtiyacının artmasıyla klasik enerji kaynaklarının tükenme olasılığı ve mevcut rezervlerin azalması, yeni enerji kaynaklarına ihtiyacı göz önüne getirmiştir. Klasik enerji kaynakları olarak adlandırabileceğimiz fosil kaynaklı yakıtların bu ihtiyacı karşılaması mümkün görülmemektedir. Gün geçtikçe tükenen, doğayı ve doğal yaşamı kirleten bu enerji tipi maliyet ve verimlilik açısından yeterli görülmemektedir. Yenilenebilir, uygun maliyet ve tükenmezlik açısından daha temiz, çevreci ve sonsuz enerji kaynakları araştırılması ve uygulanması göz önüne gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında evrenin temel enerji kaynakları göz önüne gelmektedir. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve hidrojen enerjisi başlıca yenilenebilir enerji kaynakları olarak gösterilmektedir. Bu enerji türleri arasında en popülerleri güneş enerjisidir. Verimlilik açısından Güneş, diğerlerine fark atmaktadır. Dünyanın enerji kaynakları açısından temeli, güneşe dayanmaktadır. Diğer enerji türleri güneş enerjisinden türetilmektedir. Dünya üzerinde çıkan savaşların bir çoğuna bakıldığında, savaş çıkmasının temel nedeninin enerji kaynakları olduğu aşikardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının türetilmesi ve yeni kaynakların keşfedilmesi ile bu sorunun ortadan kaldırılması öngörülmüştür [1].

Ülkemizin 2009 - 2018 yılları arasında elektrik enerjisine ihtiyaç talep tahmini Şekil 1.1' de gösterilmiştir [2]. Türkiye'nin elektrik enerjisi talep artışı, 2010 yılında 200 000 GWh iken, 2018 yılında 350 000 GWh in üzerinde olacağı ve artarak devam

edeceği tahmin edilmektedir. Buna benzer şekilde, Türkiye'nin elektrik enerjisi talep azalışının da, 2010 yılında 200 000 GWh iken, 2018 yılında 350 000 GWh in altında olacağı ve artarak devam edeceği tahmin edilmektedir. Bunun nedeni, elektrik ile çalışan alet, cihaz ve makinelerinin artacağıdır. Bütün bu sebeplerden ötürü, yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır.



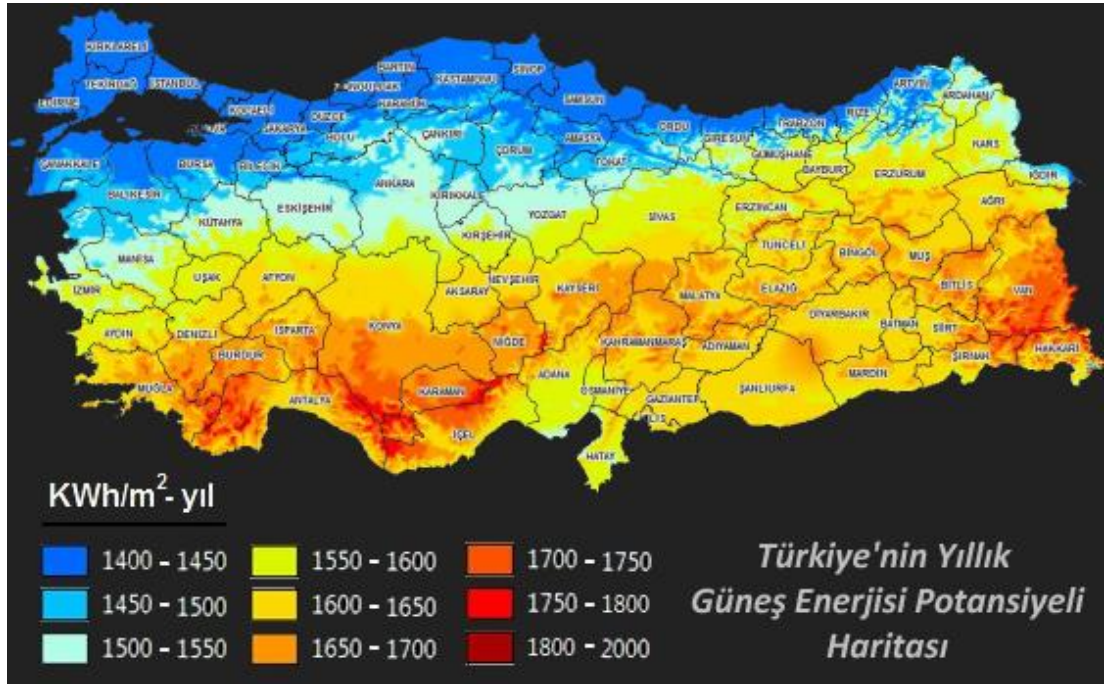
Şekil 1.1. Türkiye elektrik enerjisi talebi tahmini [2].

1.1. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki füzyon değişimde açığa çıkan ışıma enerjisidir. Atmosfer katmanının dışında güneş enerjisi miktarı, yaklaşık olarak 1370 W/m² değerindedir, fakat atmosfer nedeniyle bize ulaşan değer 0-1100 W/m² arasındadır. Bu enerji, insanlığın mevcut enerji tüketiminden oldukça fazladır. 1970 yılından bugüne hızlıca artan güneş enerjisinin kullanılması çalışmaları devam etmektedir. Güneşin dünyamıza uzaklığı 150 000 000 km'dir. Güneşten bize gelen enerji, Dünya geneline bir yılda tüketilen enerji miktarının 20 bin katıdır. Güneş enerjisi ışınımının % 30 kadarı atmosferde geriye yansıtılır. % 20'si bulutlarda tutulan güneş enerjisinin, % 50 miktarı yeryüzüne iner.

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi işleminde güneş pilleri ve güneş panelleri aktif rol oynamaktadır. İnorganik diye adlandırılan güneş pillerinin verimi % 15 - % 20 arasında değişkenlik göstermektedir. İnorganik güneş pillerinin maliyet değerlerinin yüksek olması sebebiyle hala dünyanın bir çok lokasyonunda kullanımı azdır. Kullanımının artırılması ve maliyetinin düşürülmesi çalışmaları devam etmektedir. Organik güneş panelleri adı altında düzenlenen çalışmalar son yıllarda artmıştır [3].

Ülkemizin güneş enerjisi bakımından potansiyeli, dünyadaki çoğu ülkeden fazladır. Türkiye, coğrafi konumu açısından, dünya üzerinden güneş enerjisinden yararlanan ülkeler arasında ilk sıralardadır. Ülkemiz yılın 110 günü güneş enerjisini yüksek verimli olarak kullanmaktadır. Ülkemizde yıllık güneş enerjisi potansiyelini belirten harita Şekil 1.2'de gösterilmiştir [4]. Şekil 1.2'de ülkemizin Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, İç Anadolu bölgelerinde yılda 1 metrekare alana 1800 – 2000 KWh enerji düştüğü görülmektedir. Bu potansiyelin elektrik enerjisine dönüştürülüp, kullanılması için güneş hücreleri çok önemlidir. Yılın üçte biri ile ikisini güneşli geçiren ülkemizde, güneş enerjisi potansiyeli; Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak değerlendirilmelidir.



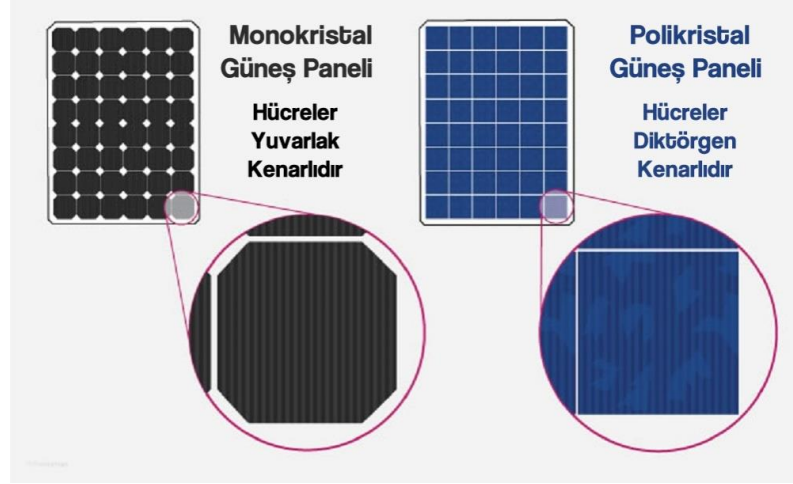
Şekil 1.2. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritası [4].

BÖLÜM 2

GÜNEŞ PANELLERİ

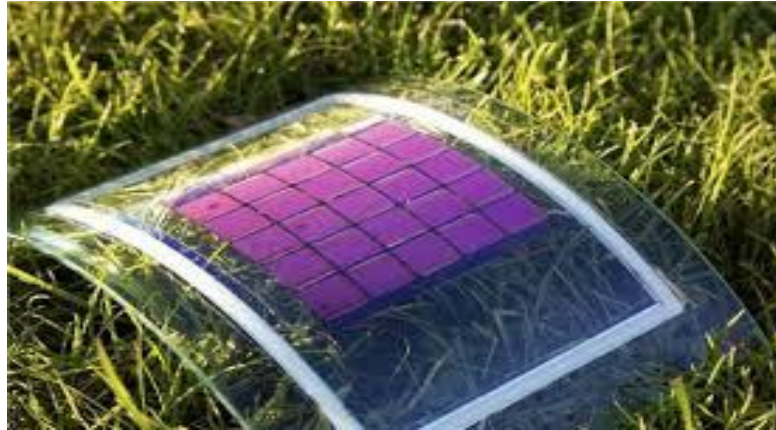
Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan sistem parçalarına güneş pilleri ya da güneş panelleri adı verilmektedir. Güneş enerjisinin temel enerji kaynağı olması yaygın ve kolay kullanımının olması diğer enerji kaynaklarına nazaran daha popüler olmuştur. Güneş enerjisinden ısı ve elektrik gibi iki temel ihtiyaç enerjisi çıkmaktadır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için fotoelektrik dönüşüm sistemi kullanılmaktadır. Fotoelektrik dönüşüm yapan sistemlere ise fotovoltaiik veya güneş pilleri denilmektedir. Fotovoltaiik güneş pil sistemleri dünya çapında gün geçtikçe çoğalmaktadır. Güneş panelleri, üretiminde kullanılan malzemeler ve imalat şekillerine göre çeşitli türler ve adlandırmalar içermektedir. Güneş pilleri şu ana kadar 3 kısım olarak incelenmektedir: 1. Kısım, Güneş hücreleri, Kristal yapılı silisyum güneş pilleri, 2. Kısım, Güneş hücreleri, incefilm tabakalı güneş pilleri, 3. Kısım, Güneş hücreleri, organik güneş pilleri'dir.

1. Kısım güneş hücreleri, Kristal yapılı silisyum güneş pilleridir. Yapısal ve dayanım mukavemetleri bakımından bu güneş pilleri uzun ömürlü olup, en yaygın kullanımlı güneş pilleridir. Ham maddesi olan Silisyum (Si) deniz kumu içerisinde bol miktarda bulunmaktadır. Deniz kumu içerisindeki silisyumun ayrıştırma işlemleri maliyet olarak yüksektir. Deniz kumu içerisindeki tüm metallerin ayrıştırılması gerektiğinden imalat süresi uzun sürmektedir. Kristal yapılı güneş pilleri genel görünüşü Şekil 2.1'de verilmiştir [5]. Şekil 2.1'de gösterilen Kristal yapılı güneş pillerinin verimleri oldukça yüksektir. % 12 ile % 28 arasında verim gösterebilmektedirler.



Şekil 2.1. Kristal yapılı silisyum güneş pilleri [5].

2. Kısım güneş hücreleri incefilm tabakalı güneş pilleri olarak adlandırılmaktadır. Kadmiyum Telür (CdTe) ve Bakır İndiyum Selenür gibi ince film tabakasının ham maddesi olan yapılar, zehirli yapı tespiti ve doğada az miktarda bulunması sebebiyle çok tercih edilmemektedir. İnce film tabakalı güneş pilleri genel görünüşü Şekil 2.2’de verilmiştir [6]. Şekil 2.2’de örneği gösterilen ince film tabakalı güneş hücreleri verimleri oldukça düşük olmasıyla birlikte son yapılan çalışmalar neticesinde % 23, 4 civarında verim göstermiştir.



Şekil 2.2. İnce film tabakalı güneş pilleri [6].

3. Kısım güneş hücreleri ise son döneme damgasını vuran organik güneş pilleri ve boya duyarlı güneş pilleridir. Diğer güneş pillerinde kullanılan inorganik maddelerin tedarikinin ve imalat ücretlerinin fazla olması bilim insanlarını organik madde

içerikli güneş pilleri üretimi üzerinde düşündürmüştür. Organik maddelerin yüksek moleküler ağırlığı ve yüksek iletkenlik kat sayısı içermesi organik güneş pelerine ilgiyi artırmıştır. Güneş pillerinde inorganik maddelerin yerine düşük maliyetli ve yüksek rezerve sahip organik maddelerin kullanılması fikri, bu konu üzerinde araştırmaları artırmıştır [3].

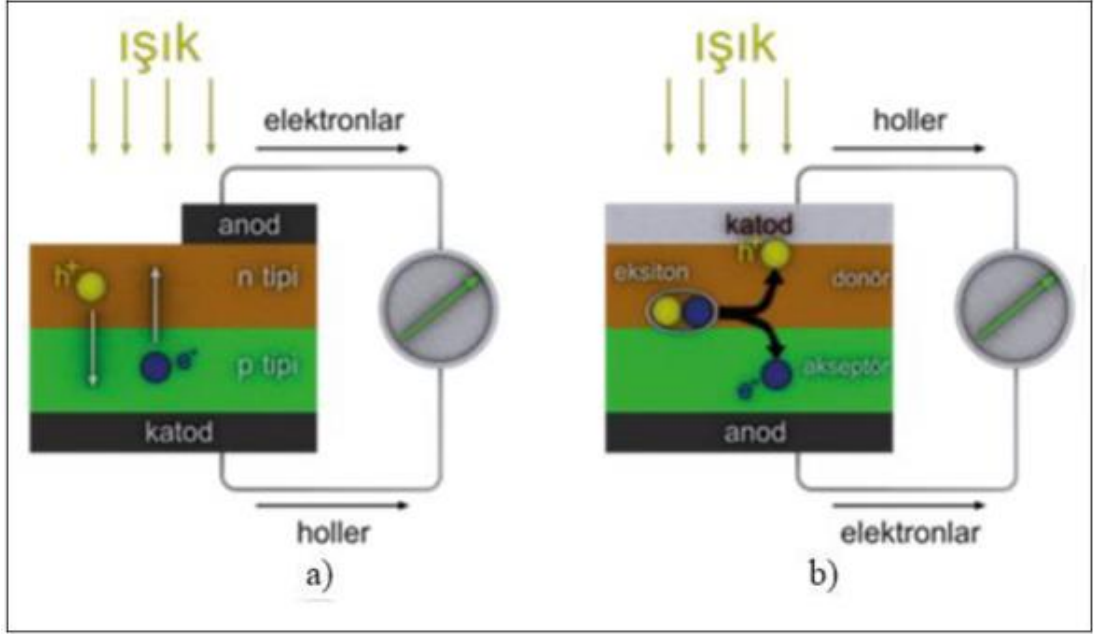
2.1. ORGANİK GÜNEŞ PANELLERİ & HÜCRELERİ

Organik güneş paneli diye adlandırılan hücreler, yarı iletken taban levhaları organik malzemelerden yapılan güneş hücreleridir. Günümüzde organik güneş pilleri gelişmektedir. İstenilen popülarite sağlanamasa da, ilerleyen yıllarda fotovoltaik sanayide adından fazlasıyla söz ettirecektir. Organik güneş panelleri (OSC), üretim ve maliyet bakımından diğer inorganik fotovoltaik hücrelerden gayet uygundur.

Organik ve inorganik yarı iletken malzemeler değişik özelliklere sahiptirler. Bu sebepten dolayı, oluşturulan güneş hücrelerinin özellikleri de değişiklik göstermektedir. İnorganik yarı iletken maddeler yüksek dielektrik sabiti ($\epsilon > 10$) ve düşük eksiton bağlanma enerjisi taşımaktadır. Organik yarı iletken maddelerin ise bu özellikleri inorganik maddelerin özelliklerinin tersidir. Organik yarı iletkenlerin dielektrik sabiti düşük olup ($\epsilon^{3,4}$), eksiton bağlanma enerjileri inorganik maddelere göre yüksektir. Organik yarı iletken maddelerin bu farklılığının üstesinden gelenebilmesi için akseptör ve donör adı verilen iki malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Organik ve İnorganik Güneş pillerinin arasındaki diğer bir fark ise kendine özgü bir biçimi olmayan organik hücrelerdeki yük taşınımının, inorganik Kristal tip yarı iletkenlere nazaran zor olmasıdır [4].

Günümüzde organik alıcı (akseptör) ve organik verici (donör) malzeme molekülleri arasında yük transfer sürecindeki verim artışı ile organik paneller üzerinde çalışmalar artış göstermektedir. Bu tip çalışmalarda organik boyalar, organik renk pigmentleri, yarı iletken organik sıvı kristal malzemeler gibi moleküller kullanılmaktadır. Sıradan bir organik güneş paneli hücresi, en az dört katmandan oluşmaktadır (Şekil 2.3).

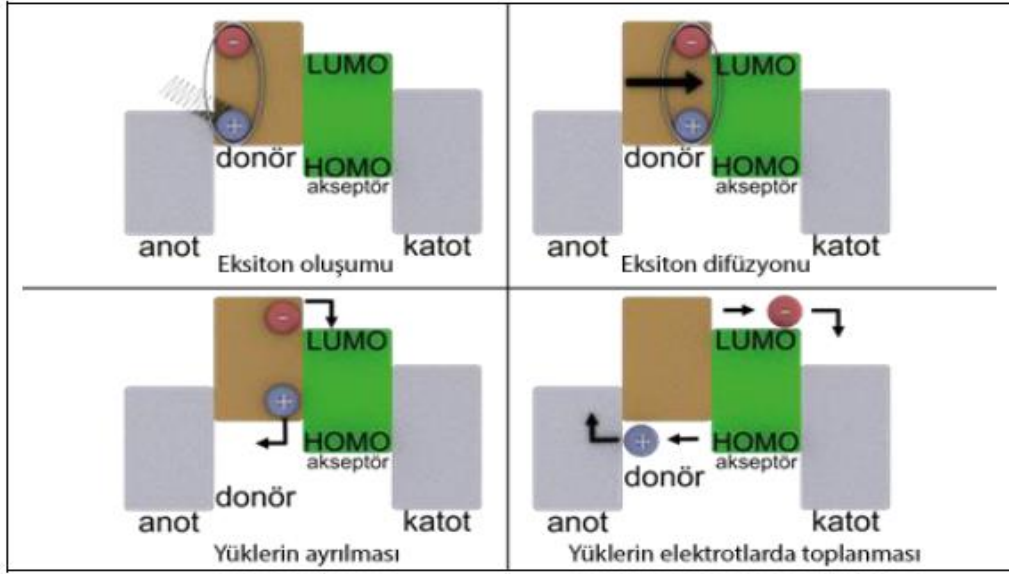
1. Güneş ışınının giriş yaptığı şeffaf katot parça (ör. indiyum kalay oksit)
2. Donör levha
3. Akseptör levha
4. Anot parça'dan oluşmaktadır.



Şekil 2.3. a) İnorganik güneş hücresi temel yapısı, b) Organik güneş hücresi temel yapısı.

2.2. ORGANİK GÜNEŞ PANELLERİNDE TEMEL FOTOVOLTAİK SÜREÇ

Şekil 2.4'te gösterildiği gibi; Güneş paneline ulaşan güneş ışın fotonları, fotonun enerjisi ve panelin fiziksel yapısına bağlı olarak yüzeyden yansıma yapabilir, soğurulabilir veya doğrudan güneş paneli saydam cam yapısından geçebilmektedir. Güneş panel hücresindeki aktif tabaka malzemesinin enerjisinden daha düşük enerjiye sahip fotonlar hücrelerden direkt geçmektedir. Yüksek enerji barındıran fotonlar ise aktif maddeli tabaka sayesinde fotonları emer ve böylece ortamda elektron - hol çiftleri oluşmaktadır. Fotonların emilmeden direkt geçmesi ve yansıması istenilmeyen bir durumdur. Bu durumlarda güneş enerjisi verimliliği düşmektedir. Bu temel istenilmeyen durumları yok edebilmek için, güneş paneli yüzeyi fotonları tutucu bir katmanla kaplanması gerekmektedir. Emici (soğurucu) tabakanın da daha kalın olması gerekmektedir [5].



Şekil 2.4. Organik güneş pillerinin çalışma düzeneği.

2.3. ORGANİK GÜNEŞ PANELLERİNDE ARA KATMAN OLARAK KULLANILAN MALZEMELER

Temel bir organik fotovoltaik güneş paneli üst katman, ara katman, alt katman olarak üç temel iletken veya yarı iletken katmandan oluşmaktadır. Burada da temel olarak dünyada en fazla kullanılan katman, organik ara katmanlardır.

2.3.1. Konjuge Polimer Tabaka

Düşük maliyetli ve düzenli yapısı olan bu makro organik yapılar çok güçlü foton emilimi yapabilmektedir. Bu polimerler organik çözücülerle çözünebilmektedir ve sıvı olarak da kullanılabilir. Konjuge polimer moleküller, iletken niteliklerini kazanabilmeleri için, inorganik yarı iletken moleküllerin aynısı gibi, ek malzemeler ilave edilmelidir [6].

2.3.2. Fulleren Türevli Tabaka

Karbon atomlarının düzenli, kafes şeklinde bir araya gelmesiyle oluşan çok iyi elektron akseptörüdür. Bu şekilde yapılan tandem güneş pilleri şu an en fazla verim rekorunu elinde taşımaktadır [7]. Verimsel değeri % 40'ın üzerindedir.

2.3.3. Metal Oksitli Tabaka

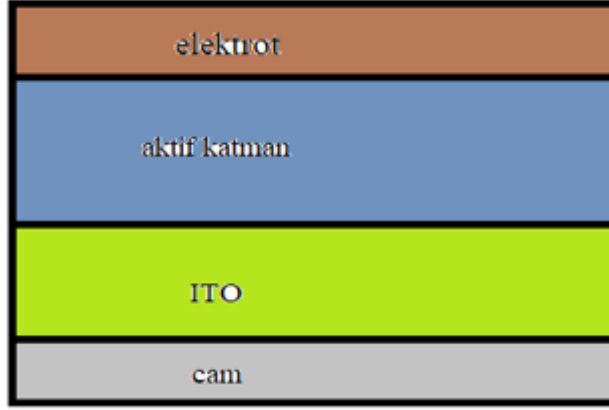
Metal oksitler doğada kolaylıkla ulaşılabilmesi, iyi bir optik geçirgenliği olması ve havaya karşı göstermiş olduğu direnç sayesinde organik güneş panellerinde ara katman olarak kullanılmaktadırlar. V_2O_5 , MoO_3 , WO_3 ve NiO gibi malzemeler PEDOT: PSS yerine anot ara katmanı olarak kullanılırlar. TiO_x ve ZnO gibi yarıiletkenler, güneş pillerinde kullanılan iyi uyumlu katot kontaklarıdır [8]. Güneş panel sistemlerinin verimsel artışını sağlamak için ara katman olarak kullanılan metal oksitler ara tabakada oksitlenme ve çürümeyi engellemektedir. Metal oksitlerin bu formda kullanılması maliyeti arttırmaktadır. Bu sebeple organik güneş pillerinde ki maliyeti düşürme ana fikrine ters düşmektedirler [9].

2.4. ORGANİK GÜNEŞ PANELLERİNİN YAPISI VE TÜRLERİ

İnorganik ve organik güneş pilleri diye isimlendirilen güneş hücreleri kendi aralarında da çeşitli yapılara ayrılmaktadır. İlk icat edilen organik güneş paneli, tek katmanlı poliasetilen oluşmaktadır. Tek katmanlı poliasetilen (OSC)'ler verim olarak çok düşük değerleri göstermektedir. Günümüzde çift katmanlı yapılar ile organik güneş pillerinin verimlerinin artırılması çalışmaları devam etmektedir. Nano teknolojinin artırılmasıyla gelişmiş sanayiye sahip ülkeler nano boyutlu yapılar ile çalışmaktadır.

2.4.1. Tek Katmanlı Organik Güneş Panel Hücreleri

Güneş pilleri tarihinde ilk defa ismi bahsedilen hücreler; birinci nesil güneş paneli hücreleridir. İki iletken elektrot levhanın ortasına yarı iletken polimer bir levha ile inşa edilen panel hücreleridir. 1950' lerde tasarımlanan ilk tek katmanlı güneş panel hücreleri yüzdesel olarak çok az değerler göstermiştir. Tek katmanlı organik güneş panelleri verimsel olarak düşük değerler taşımaya rağmen günümüz için ışık tutmuştur. Verimsel analiz miktarının düşük değerleri taşımalarının sebeplerinden başlıcaları; organik yarı iletken tabakanın yük dağılım hızlarının düşük olması ve elektron eksitonlarının yeteri kadar ayrışmamasından kaynaklanmaktadır [10]. Tek katmanlı organik güneş panel şeması genel görünüşü Şekil 2.5' de verilmiştir.



Şekil 2.5. Tek katmanlı organik güneş panel şeması.

2.4.2. Çift Katmanlı Organik Güneş Panel Hücreleri

Şekil 2.5'te gösterildiği gibi, tek katmanlı güneş hücrelerinin verim bakımından yetersizliği ve basit yapılı olması sebebiyle çift katmanlı organik güneş panel hücreleri üretilmeye başlanmıştır. Elektrot levhaların arasında elektron çiftlerinin ayrılmasını sağlayan donör ve akseptör adı verilen iki yarı iletken tabaka bulunmaktadır. Çift katmanlı güneş hücrelerinde eksiton ile ara tabaka arasındaki mesafe eksitonun difüzyon uzunluğuna eşit yada daha az olmalıdır. Bu da ara tabaka yüzeyine ulaşabilen eksiton sayısını önemli derecede azaltır. Heteroeklem katmanlı sistemler bu sıkıntıyı ortadan kaldırmak için daha elverişlidir [11]. Çift katmanlı organik güneş panel şeması genel görünüşü Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Çift katmanlı organik güneş panel şeması.

2.4.3. Heteroeklem Katmanlı Organik Güneş Panel Hücreleri

Organik güneş panelleri tarihinde heteroeklem yapıların buluşu ile verim artmıştır. Heteroeklem güneş pillerinin keşfi, organik güneş pilleri tarihindeki kırılma noktası olmuştur. Heteroeklem katmanlı güneş pillerinin verimleri %3-%4 miktarına ulaşmıştır [12].

Çift katmanlı pil hücrelerinin karıştırılıp tek katman üzerinden elektrotların arasında bulunmasıyla oluşmuştur. Bu yapıların kronik sıkıntıları, elektrotlar arasındaki bağlantının kurulmasında sıkıntılar yaşanmasıdır. Elektron ve hol transferini artırmak için yapıya bir hol bloklayıcı tabaka ve bir de elektron bloklayıcı tabaka, aktif tabakanın yanlarında olacak şekilde yerleştirilmelidir. Donör içinde oluşan akseptör veya akseptör içinde oluşan donör adacıklarında tuzaklanmış halde bulunan yük taşıyıcılarının, hareketli yük taşıyıcıları ile kolayca rekombine olması yığın heteroeklem yapının bir diğer dezavantajıdır [13].

Bu aksaklıkları ve sıkıntıları önlemek için 2004'te Coakley ve McGehee tarafından düzenli yığın heteroeklem (OBHJ) modeli önerilmiştir. Çift katmanlı hücre ile yığın heteroeklemlili hücrenin avantajlarının birleştirildiği bu yapıda yük taşıyıcılar için doğrusal yol sağlanarak taşıyıcı kayıpları minimuma indirilmektedir [14]. Heteroeklem katmanlı organik güneş panel şeması genel görünüşü Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Heteroeklem katmanlı organik güneş panel şeması.

2.4.4. Tandem Katmanlı Güneş Pilleri

Tandem güneş pillerinde birden fazla ara katman vardır. Bu ara alt katmanlar birbirlerine seri ve paralel bağlantı yapılabilir. Değerlerin maksimumda tutulabilmesi için ara bağlantıların seri yapılması daha iyi olmaktadır [15]. Ayrıca tandem güneş hücresinin toplam değeri de, birbirini tamamlayan farklı absorpsiyon spektrumuna sahip yığın heteroeklem katmanların seçilmesiyle önemli ölçüde artmaktadır. Cihaz içerisinde yer alan birbirlerine seri bağlı fazladan ara yüzeylerin ve aktif katmanların cihazın elektriksel direncini sıra dışı bir şekilde yükseltmesi bu yapının dezavantajıdır [16]. Tandem katmanlı organik güneş panel şeması genel görünüşü Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Tandem katmanlı güneş pili.

2.5. ZORLUKLAR

2.5.1. Verim

Organik güneş panellerinin verim değerleri, ilk buluş tarihinden bugüne kadar düşük değerler taşıması, eksiklik noktasında oldukça önemli bir unsurdur. Çizelge 2.1'e göre; inorganik güneş panelleri, organik güneş panellerine göre verimsel değerler bakımından fazladır. Organik panellerin veriminin düşük olması piyasa bakımında rekabet açısından yeterli seviyede değildir [17].

Çizelge 2.1. Organik güneş hücreleri için maksimum verim değerleri.

Cihaz türü	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF (%)	Verim (%)
Tek eklemli	17,5	0,75	70	9,2
Tandem	10,1	1,53	68,5	10,6
Modül	2,1	3,43	60	4,4

Şekil 2.9'da organik güneş paneli verimleri gösterildiği gibi, maksimum verim değerlerini Multijunction Cells (Çok bağlantılı Hücreler)-IMM= inverted, metamorphic tip (ters, metamorfik uç)- (Three-junction (concentrator) (Üç noktalı (yoğunlaştırıcı)) göstermiştir. En düşük verim değerini ise Emerging PV (Gelişen Foto-Voltaikler)- Quantum dot cells (Kuantum nokta hücreleri) göstermiştir. % 44 verimin üzerinde değerler gösteren çok bağlantılı güneş hücreleri, tandem yapılı güneş güneş hücreleri olarak bahsedilmektedir. Son yapılan iyileştirme çalışmaları ile organik güneş hücrelerinin verimlerinin; İnorganik güneş hücrelerinin verimlerini yakalamaları istenmektedir. Gelişen fotovoltaikler (kırmızı) olarak belirtilen grafiklerde, ciddi anlamda iyileştirmeler yapıldığı görülmektedir. Günümüzde organik güneş hücreleri % 7 ile % 19 arasında değerlere ulaşmaktadır.

2.5.2. İstikrar

Organik güneş panellerinin istikrar açısından yetersiz olmasının en önemli sebebi, organik polimer maddenin ömrünün az süreli olmasıdır. Klorofil pigmentlerinin ömrü diğer organik malzemelerden daha uzun sürelidir. Konuyla alakalı araştırmalar yapılmasına karşın hala inorganik güneş panelleriyle kıyas yapılamamaktadır. 1990 yılında üretilen ilk organik güneş paneli hücrelerinin ömür süreleri günler sürmektedir. 1994'de yapılan güneş hücrelerinin dayanım ve malzeme ömür testleri yapılmaya başlanmıştır. Yapılan testler kullanılan malzemelerin dayanımı ve gece - gündüz verim testleridir. 2001 Yılında yapılan testler sonrasında, iyileştirmeler ile haftalar süren malzeme ömür süreleri gözlenmiştir. Polimer düzeyde incelemeler 2003 Yılında yapılmıştır [18]. 2005'te çalışmalar enkapsülasyon yöntemlerine yönelmeye başladı. 2007'de ilk kez 1000 saatten daha uzun ömürlü bir güneş hücresi üretildi. 2009'da ilk kez bir yıl süreli dış ortam denemesi yapıldı. Bunun ardından yapılan çalışmalarda organik güneş hücrelerinin ömürlerini yıl mertebesine çıkarma denemeleri yapıldı. Günümüzde 10-10 (%10 verim ve 10 yıl ömür) adı verilen hedefe ulaşma çalışmaları sürdürülmektedir [19].

Organik güneş hücrelerinde kimyasal bozunuma sebep olan ana etkenler, oksijen, su ve elektrotların aktif polimer katman veya ara katmanlarla etkileşime geçmesidir. Küçük miktarda oksijen ve su güneş hücresinin yapımı esnasında farklı katmanlarda absorbe edilmiş olabilir ancak bundan daha önemlisi, yapım aşaması bittikten sonra da bu moleküller cihaz içine difüze olabilir [20].

Sıcaklık da hücrenin yaşlanmasında önemli bir faktördür. Bir çalışmada 80 °C'de hücrelerin 25 °C'de saklanan hücrelerden on kat daha hızlı yaşlandığı ve panel hücrelerinin ışık altında fotooksidasyon sebebiyle çok daha hızlı bir şekilde bozulduğu da bilinmektedir [21].

BÖLÜM 3

KLOROFİL TABANLI ORGANİK GÜNEŞ PİLLERİ

Klorofil (Chl) molekülleri tabiatta en fazla bulunan organik yarı iletkenlerdir. Yeşil bitkilerde fotosentez yapımı görevini üstlenen klorofil molekülleri, organik güneş pilleri konusunda da elverişli bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Klorofiller, doğal fotosentetik cihazlarda ışık hasadının yanı sıra, enerji ve elektron transferinin anahtar rollerini oynayan en bol doğal pigmentlerdir. Klorofil moleküllerinin fizyokimyasal yapıları, kolayca ayarlanabilmektedir. Bu sebeple son yıllarda klorofil güneş pilleri üzerinde araştırmalar artmıştır. Klorofil ve türevleri Boya Duyarlı Güneş Hücreleri (DSSC)'nde yapay fotosensitizatör olarak, Organik Güneş Pilleri (OSC)'lerde ise elektron alış-verişi ve eksiton yük ayırıcı olarak görev almaktadır [23].

Klorofilin kolay yoldan hasat edilebilmesi, eksilasyon dağılımı ve ayırımı, eksiton ayırımı ve yük taşınımı gibi çok yönlü fiziksel özelliklerinden dolayı güneş hücreleri yapımında değerlendirilmektedir. Dünyada klorofil moleküllerinin aşırı derecede bulunması sebebi ile klorofil tabanlı güneş paneli projeleri enerji kıtlığını ve çevre kirliliği ortadan kaldırması planlanmaktadır [24].

Gün geçtikçe artış gösteren nüfus popülasyonu nedeni ile doğru orantılı olarak enerji ihtiyacıda artmaktadır. Gelecek soylara mevcut enerjinin sürdürülebilmesi ve korunabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları üretilmesi önem kazanmıştır. Fosil kaynaklı enerjilerin tükenbilme tehlikesi karşısında tabiatın enerji kaynağı olan doğal enerji kaynakları kullanılarak bu problemin aşılması planlanmaktadır. Bu kaçınılmaz problemin çözümü doğrultusunda, evrenin en büyük enerji kaynağı olan güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi üzerine projelerin sayıları ciddi artış göstermektedir. Güneş panelleri yöntemiyle elektrik enerjisi üretilmektedir.

Güneş panelleri genel olarak silikon tabakalı inorganik panel ve doğal reçine tabakalı organik paneller adı altında incelenmektedir [25].

İnorganik diye bahsedilen piyasada kullanılan güneş pillerinin maddi olarak yüksek fiyatlara sahip olması, üretim ve tedarik sıkıntılarının olması, kurulum ve teçhizat ekipman ücretlerinin yüksek olması sebebiyle halk tarafından kullanılabilirliği az miktardadır. Çin ve gelişmiş ülkelerin bu maddiyat ve üretim ham maddesi problemlerini aşmak için organik tabanlı güneş panelleri üzerinde çalışmalar başlatmışlardır. Güneş ışınlarını tutucu ve emici özellik taşıyan doğal reçine ve pigmentlerden yararlanarak değişik projeler yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalara ülkemizden örnek verecek olursak kara havuçtan ZnO tabanlı güneş pili üzerine ön prototip çalışması yapılmıştır [26].

Organik boyar madde tabanlı güneş pilleri sayesinde bilimsel olarak ciddi bir kolaylık oluturulacağını öne atan yurt dışındaki bilim insanları, organik güneş panellerinin kullanılabilirlik ve verimlilik üzerinde optimum gelişmeler meydana geldiğinde inorganik güneş panellerinin verimlerini geçebileceklerini belirtmişlerdir [27].

Anlaşıldığı gibi genel olarak baktığımızda araştırmalarımızda; Organik güneş panellerinin boyar madde ile ya da bizim projemizde ki gibi iletken alt tabakanın üzerine emici bir üst tabaka oluşturularak yapıldığı görülmektedir. Doğal boyar maddesi siyah ahududu, böğürtlen, Afrika bamyası, mor havuç ve urmududu, ahududu, böğürtlen karışımından elde edilen meyve sularının kullanıldığı çalışmalardan en yüksek verimi mor havuç ekstraktesi vermiştir. Verimlilikleri % 2 - % 5 arasında değişiklik göstermektedir [28].

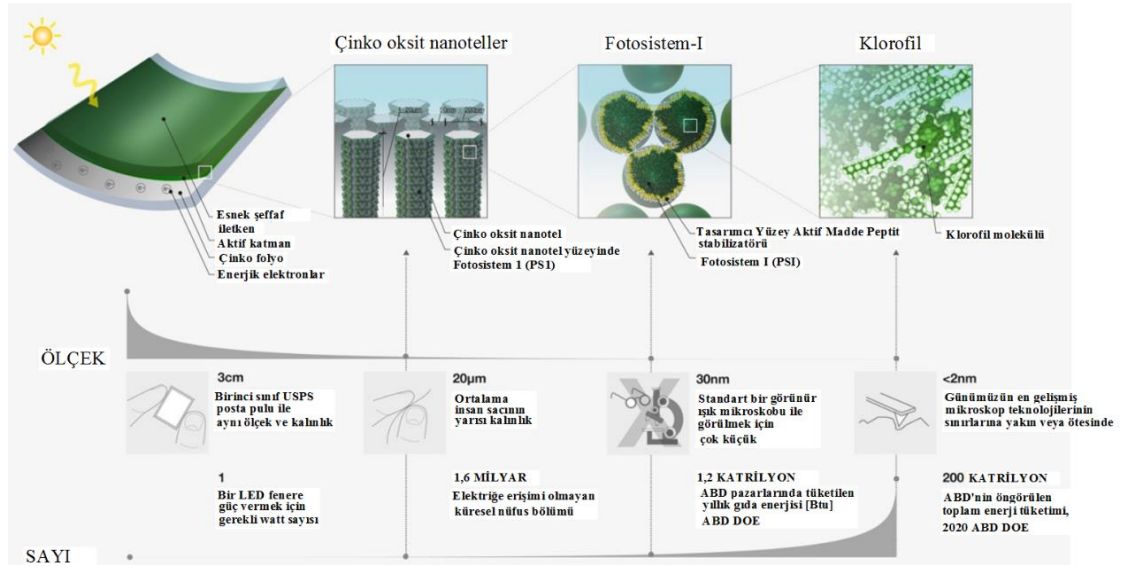
Ülkemizde doğal boyar madde olarak nohut ve buğday üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada buğday kullanılan pillerde % 4,89 nohut kullanılan çalışmada ise % 6,61 verimlilik meydana gelmiştir [29].

İnorganik tabanlı güneş panellerinin verimliliği % 15 - % 19 arasındadır. Görüldüğü üzere doğal pigment ve boyar madde ile oluşturulan panellerinde verimlilikleride

gözardı edilemez derecededir. Güneş ışınlarını emici Klorofil tabakası oluşturarak elde edeceğimiz güneş pillerinde de yüksek verimlilik ön görülmektedir. Ülkemizde daha önce nadir deneyler ve küçük çalışmalar yapılan bu alanda çalışmamız, yüksek derecede merak ve heyecan uyandırmaktadır.



Dünya genelinde mühendislik çalışmaları yapan MIT platformunda, Andreas Mershin adında bir araştırmacı atık bitki yapraklarını kullanarak organik güneş paneli yapılabileceği hipotezini ortaya atmıştır. Bitkilerin içerisindeki klorofil pigmentlerini ayırarak Geleneksel İnorganik güneş panellerindeki silikon tabakanın yerine doğal bir yarı iletken tabaka ile değiştirilebileceğini belirtmiştir. Bu sayede herkesin kendi güneş panellerini üretebileceğini belirtmiştir. Veriminin artırılması ile tabiatta fazla miktarda bulunan bitki yapraklarının enerji kaynağı olacağını belirtmektedir. Nano boyutta planlanmak istenen klorofil güneş hücresi, Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Nano boyutta planlanmak istenen klorofil güneş hücresi [30].

3.1. KLOROFİL VE KLOROFİL ELDESİNDE ÖNEMLİ BİLGİLER

Klorofil, başlıca enerji kaynaklarının üretilmesinde aktif rol oynayan, bilim dünyasının üzerinde çokça çalışma yaptığı bir moleküldür. Rus Bitki bilimcisi Tswet, klorofil üzerinde yaptığı bir çok çalışma ile kromatografi biliminin kurucusu olmuştur. Bilim adamları fotosentez yapısı ve çalışma prensibini açıklayabilmek için klorofil üzerinde çalışma göstermektedir [30].

Tükenme tehlikesi, artan enerji kaynaklarının yanısıra güneş enerjisi kaynaklarının artırılması önem arz etmektedir. Tabiatta bulunan bol miktarda klorofil molekülleri üzerinde yapılan çalışmalarda ise; Güneş enerjisi panel hücrelerinde klorofil moleküllerinin kullanılmasının istenmesidir. Klorofil, bir diğer yüksek emilim sağlayan porfirin moleküllerine göre elde edilmesi daha kolaydır. Klorofil moleküllerinin bitkilerden ayrılabilmesi için gerekli çözücü malzemeler Çizelge 3.1’de belirtilmiştir [31].

Çizelge 3.1. Klorofil çözücü malzemeler [31].

No	Pigment	Çözücü	Absorbans (nm)	Ref.
1	Klorofil a	Dietil eter	430, 662	35
		Dietil eter	430, 615, 661	6
		Aseton	428, 616, 662	6
2	Klorofil a’	Dietil eter	428, 614, 661	6
		Aseton	428, 616, 662	6
3	Klorofil b	Dietil eter	453, 643	35
		Dietil eter	453,593,642	6
		Aseton	454, 596, 644	6
4	Klorofil b’	Dietil eter	453, 592, 642	6
		Aseton	454, 596, 644	6

Klorofil pigmentlerinin elde edilmesi işleminde yaygın olarak asetona, metil alkol veya etil alkol kullanılmaktadır. Literatürdeki yapılan çalışmalarda asetona ve metanolün elde edilen klorofil özütlerinin ömrünü kısalttığı ve klorofil aktivasyonunu bozduğu görülmektedir. Etil alkol ile çözülme işlemi en uygun ekstrakte yöntemi olarak kabul edilmektedir [32].

Klorofil konusunda yapılan deneylerde klorofil pigment molekülleri, en bol ıspanak bitkisinden elde edilmektedir. Ispanak, yüksek oranda klorofil içermektedir. Klorofilin sağlıklı biçimde elde edilmesi için, havanda ezilen ıspanak yapraklarının etil alkol ile çözülerek elde edilen çözeltinin gerekli süzme işlemlerinin ardından

proteinlerinden ayrılması için soğuk bir ortamda (-5 ile -18 derece) 48 saat bekletilmesi önerilmektedir [33].

Klorofiller asidik ortamda içerisinde bulunan magnezyumları iki hidrojene çevirerek feofitine dönüşmektedirler. Aksi durumda bazik ortamda ise hidrolize olarak fitol grubundan ayrılmaktadır. Bu durum foton ayrışması için istenilen bir durumdur. Bu ortamlar dışında klorofil pigmentleri farklı sebeplerden de etkilenmektedir. Klorofil aydınlıkta güneş ışınları ile temas ettiği anda hızlı miktarda ayrışabilmektedirler. Bu ayrışma ile eksiton oluşturup elektron geçişi sağlamaktadır. Asidik ortamda da aynı elektron geçişi görülmektedir [34].

3.2. KLOOROFİLİN TEORİK NİTELİKLERİ VE DİĞER DOĞAL PİGMENTLERDEN FARKLILIKLARI

Daha önce, DSSC Rutenyum (II) polipridinik kompleksi geniş bant boşluk yarı iletkeninin duyarlılaştırıcısı olarak kullanılmaktaydı. Ancak ağır metal içeren kompleksleri duyarlı hale getirmede ve çevre kirliliğini üretmede, komplekslerin duyarlı hale getirilmesinde, maliyetli ve karmaşık olması nedeniyle, başka bir yöntem de tüm bunları meyve, bitki doğal boyaları kullanarak değiştirmektir. Maliyet verimliliği, toksisite ve tam biyo-bozunma sağlayan yapraklar, doğal boyalar güneş ışığının toplanmasında ve güneş enerjisinin elektrik enerjisine aktarılmasında önemli bir rol oynamaktadır [35].

Meyveler, yeşil bitkiler, renkli çiçekler ve çeşitli yapraklar çok farklı renkler sergilemektedir. Bu pigmentler basitçe çıkarılabilen ve daha sonra duyarlılaştırıcı olarak kullanılabilir. Çünkü; yeşil bitkilerin çoğu güneş ışığından foton emilmesine yardımcı olan çok sayıda klorofil içermektedir. Antosiyaninler 520 - 550 (nm) dalga boyu Tanen ve Karoten aralığında ışığı emen meyve ve bitkilere (kırmızı – mor) renk vermektedir [36].

Klorofiller güneş ışığını kırmızı, mavi ve mor dalga boylarından soğurabilirler ve yeşil dalga boyunu yansıtarak rengini elde edebilmektedir. Güçlü emilim, görünür ışık aralığında doğal duyarlılaştırıcı olarak kullanılabilen 420 nm ve 660 nm dalga

boylarında bulunan görünür bölgede zirve yapmaktadır. Klorofiller, dalga boyu olarak en uzun dayanıma sahip moleküllerdir [37].

Klorofil pigmentlerinin fotoelektrik dönüşüm verimliliği (η), ıspanağın doğal bazlı bir duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı ve fotoelektrik performansının 550 mV kadar açık devre voltajı (V_{oc}) gösterdiği, mevcut kısa devre (I_{sc}) 0,46 mA kısa devre akımı verdiği ve doldurma faktörü (FF) olarak yaklaşık % 51 verdiği tespit edilmiştir [38].

DSSC için klorofil boyası olarak, 0,585 V kadar açık devre voltajı (V_{oc}), akım kısa devre (I_{sc}) yaklaşık 1,96 mA, dolgu faktörü (FF) yaklaşık % 47 ve dönüşüm verimliliği % 0,538 değer verdiği tespit edilmiştir [39].

Tüm yeşil bitkiler, görünür ışık etkisi altında basit organik moleküllerden (su ve karbondioksit) glikoza sahip olan fotosentez işlemiyle bulunabilen klorofil içerirler. Kullanılabilir klorofil bakımından en zengin bitki, Ispanak olarak belirtilmektedir [40].

A. Graveolens, rokadadan klorofil elde edebilmek için roka yaprakları 1 hafta boyunca kurutmuş ve roka yapraklarından üretilen DSSC'lerden daha iyi performans gözlemlendiğini belirtmiştir. Öte yandan, kurutulmuş maydanoz, ıspanak ve yeşil alg içeren DSSC'lerde, taze olanlara kıyasla daha yüksek verimlilik elde edilmiştir. Ancak, yazarlar bunun nedenini tartışmamışlardır. A. Graveolens, maydanoz, roka, ıspanak ve yeşil algler arasında ıspanaktan ekstrakte edilen klorofil % 0,29 ile en iyi verimi elde etmiştir. DSSC'lerin verimliliği, ıslatma sıcaklığına ve süresine bağlıdır. % 0,29 verim, TiO_2 fotoanode, ıspanak özü çözeltisine 12 saat boyunca 60 °C'de ıslatıldığında elde edilmektedir [41].

3.3. KLOROFİL GÜNEŞ PİLLERİNİN TEMEL YAPISI

Yeşil bitki ve yapraklardan ekstraksiyon işlemi ile ekstrakte edilen klorofil pigmentlerini yarı-iletken sıvı olarak beherde bulundurarak, elektrot çifti olarak ise Çinko - Bakır elektrotları kullanılmıştır. Güneş ışınlarının yarı - iletken çözelti

üzerinde yansımaları ve eksiton yük ayrımı ile gerilim oluşmaktadır. Dünya üzerinde bir çok çalışma gerçekleştirilmeye başlanılan organik güneş pilleri konusunda, klorofil güneş pilleri büyük bir umut vaad etmektedir. Bu araştırmada, tasarlanan, üretilen ve test edilen güneş pili paneli Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi güneş panelinin temel yapısı, elektron eksiton işlemini gerçekleştirecek yarı iletken bir tabaka, pil sıvısı ve elektrod çiftinin düzeneğe ilave edilmesi ile elde edilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Klorofil güneş pili örneği.

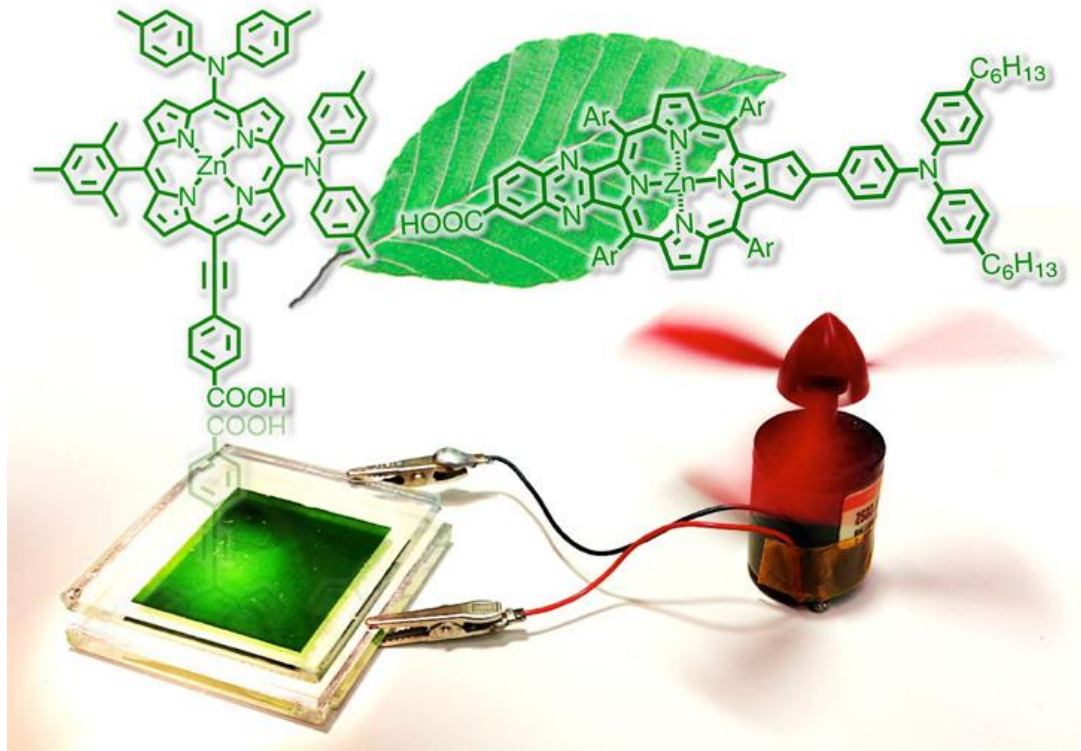
3.4. KLOROFİL TABANLI ORGANİK GÜNEŞ PANELİ TEMEL YAPISI

Küresel büyüklükte enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Gerekli olan enerji miktarının büyük çoğunluğunu elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Enerji talebinin gün geçtikçe artmasıyla yeni projelere ihtiyaç duyulmaktadır. Organik güneş panellerinin üretiminin basit, çevre dostu olması ve nispeten inorganik güneş panellerine oranla ekonomik olması, ham madde tedarikinin tabiattan bol miktarda karşılanması gibi avantajları vardır. Organik güneş hücreleri olarak günümüzde boya duyarlı güneş paneli projeleri bulunmaktadır. Bunun yanı sıra klorofil güneş paneli üretmek isteyen bir çok devlet bulunmaktadır. Klorofil güneş paneli verimliliğinin düşük olması ilk basamakta heves kırıcı olabilir, ama verim artışı beklenmektedir. Çin, klorofil güneş

panelleri üzerinde nano boyutta çalışmalarını sürdürmektedir. Temel bir klorofil güneş paneli yukarıda belirtildiği gibi en az 6 katmandan oluşmaktadır (Çizelge 3.2). Klorofil Güneş Paneli Örneği, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Klorofil tabanlı organik güneş panelinde kullanılan tabakalar ve malzemeler.

No	Tabakalar	Malzemeler
1	Yalıtkan Alt Tabaka	İletken olmayan bir malzeme seçilir (plastik, vinil kaplama vb.)
2	İletken Metal Levha	İletken bir metal seçilmelidir (bakır, altın vb.)
3	Elektrot Çifti	İyi uyumlu elektrod çifti seçilmelidir (bakır&çinko vb.)
4	İletken Anot Tabaka	İnce tellerden oluşan iletken bir tabaka oluşturulmalıdır.
5	Klorofil Özütü Tabakası	İnorganik panellerideki silikon tabakanın yerine klorofil tabakası oluşturulmalıdır
6	Dış Kaplama	Cam kaplama yapılabilir



Şekil 3.3. Klorofil güneş paneli örneği.

BÖLÜM 4

METERYAL VE METOD

Klorofil tabanlı organik güneş pillerinde kullanılan malzemeler ve cihazlar 4.1’de belirtilmiştir. Deneysel çalışmada izlenen yol haritası, üretim aşamaları, analiz yöntemleri 4.2’de Yöntem kısmında açıklanmıştır.

4.1. METERYAL

Bu çalışmada kullanılan meteryaller aşağıda sırasıyla şekil ve çizelgelerle gösterilmiştir. Klorofil güneş pili üretiminde:

- Şekil 4.1’de gösterilen pil haznesi için yalıtkan beher kap (100 ml) kullanılmıştır.
- Klorofil moleküllerinin ekstrakte işleminde Şekil 4.2’de gösterilen Etil alkol kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan Etil alkol (C_2H_5OH) özellikleri, $d= 0,79 \text{ gr/cm}^3$ dür . Mol ağırlığı: $46,07 \text{ g/mol}$ ’ dür.
- Aseton
- Şekil 4.3’de gösterilen bakır elektrot ve çinko elektrot kullanılmıştır.
- Klorofil özütünün ham maddesi ıspanak, mandalina ve portakal yeşil yaprakları, çim kullanılmıştır.
- Şekil 4.4’de gösterilen Gerilim ölçüm cihazı (VoltCraft VC820 marka multimetre) kullanılmıştır.
- 1,5 Voltluk 15 mA’lik kırmızı diyot led kullanılmıştır.
- 10 cm^2 , 1 mm etkalınlığında bakır levha kullanılmıştır.
- Yeşil yaprakları ezmek için havan kullanılmıştır.
- Bakır Tel
- Filtre Kağıdı
- NaCl (tuz)

- Tez çalışmasında kullanılan CH_3COOH (asetik asit – sirke)'in asidiklik saflığı %4 - 6 dır. Sirke olarak elma sirkesi kullanılmıştır.
- Şekil 4.5'de gösterilen mezür kullanılmıştır.
- Şekil 4.6'da gösterilen zorçelik marka hassas terazi kullanılmıştır.
- Ev tipi derin dondurucu kullanılmıştır.
- Şekil 4.7'de gösterilen güneş ışınlarını soğurucu özel cam kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Yalıtkan cam beher.



Şekil 4.2. Etil alkol.



Şekil 4.3. Bakır ve çinko elektrot.



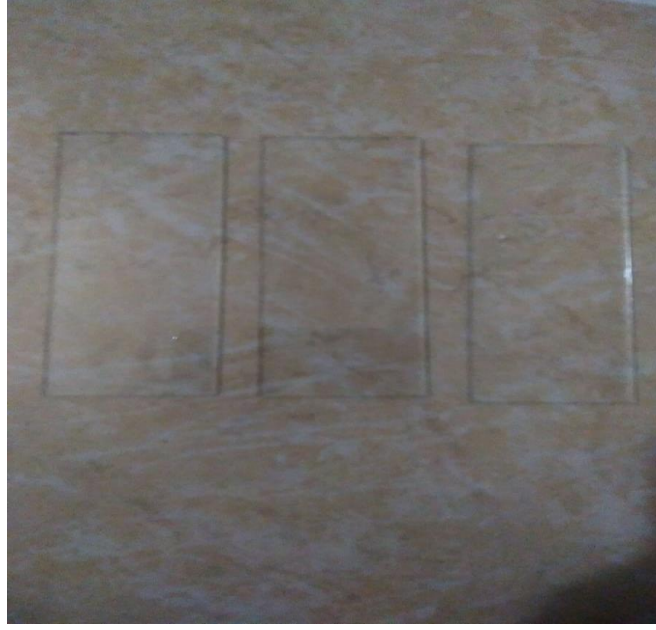
Şekil 4.4. Gerilim ölçüm cihazı multimetre.



Şekil 4.5. Mezür.



Şekil 4.6. Hassas terazi.



Şekil 4.7. Özel odak camı.

4.2. METOD

Bu bölümde ilk olarak tez çalışmamızın konusu olan klorofil tabanlı organik güneş pili üretimi hakkında bilgiler verilecektir. Öncelikle klorofil ekstrakt işleminin nasıl gerçekleştirildiği anlatılacaktır. Sonrasında; güneş pili hücresinin üretimi hakkında temel bilgiler verilecektir. Saf klorofil moleküllerinden oluşan sıvı fazlı güneş pilinin ardından klorofil tabanlı güneş paneli üretimi hakkında bilgiler yer alacaktır. Fabrikasyon işlemlerinde kullanılan metodlar bu bölümde anlatılacaktır.

4.3. KLOROFİL GÜNEŞ PİLİ YAPIMI

Klorofil tabanlı güneş paneli sisteminin temel yapısını ve çalışma prensibini ön tespit yapabilmek ve gözlemleyebilmek için ilk aşamada klorofil güneş pili hazırlanmıştır. Deneylein yapılacağı güneş pili, temel olarak 4 malzemeden oluşmaktadır. Literatür araştırmalarında bahsedildiği üzere iyi uyumlu elektrot çifti seçmek, çalışmanın verimini tam anlamıyla etkilemektedir.

Klorofil güneş pili çalışmamızda elektrot çifti Bakır – Çinko olarak belirlenmiştir. Pilin haznesi 100 ml'lik saydam laboratuvar beheri olarak seçilmiştir. 80 ml'lik çözelti oluşturabilmek için 100 gr ıspanak ve 100 ml etanol kullanılmıştır.

Klorofil ekstraksiyon işlemi aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir:

- Literatür çalışmalarında belirtildiği üzere ıspanak içerisinde yüzde olarak en fazla miktarda klorofil içeren bitkidir. Bu sebeple klorofil kaynağı olarak Ispanak seçilmiştir.
- Ispanaklar bol su ile temizlenmiştir.
- 3-Ispanağın içerisinde bulundurduğu klorofil dışında diğer besin değerlerinden uzaklaştırılması için -17 derecede 60 dakika bekletilmiştir.
- Ispanaklar küçük parçalar halinde bir makas yardımı ile kıyılmıştır.
- Ispanaklar havanda ezilmiştir.
- Ezilen ıspanakların içerisine Etil Alkol ilave edilerek ezme işlemi devam edilmiştir.
- Elde edilen ıspanak parçalı etil alkol karışımı diğer bir boş behere aktarılarak, elde edilmek istenilen karışım miktarına kadar işlem tekrar edilmiştir.
- 70 °C su ile etil alkol çözücülüğü artmaktadır. Bu nedenle elde edilen karışım 70 °C suya daldırılarak çözümlenin artırılması sağlanmıştır.
- Elde edilen sıvı klorofil özütü içerisinde ki ıspanak parçaları ve etil alkolün ayrılabilmesi için süzgeç filtreden geçirilmiştir. İlgili işlem, Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Klorofil özütünün filtre kağıdından geçirilmesi.

- 10- Elde edilen Klorofil özütü, 48 saat süreyle karanlık bir odada dinlendirilmiştir.

Şekil 4.9'da gösterilen elde edilen güneş pili, literatürdeki raporlama yapılabilmesi için karanlık - aydınlık deneyleri yapılmıştır.

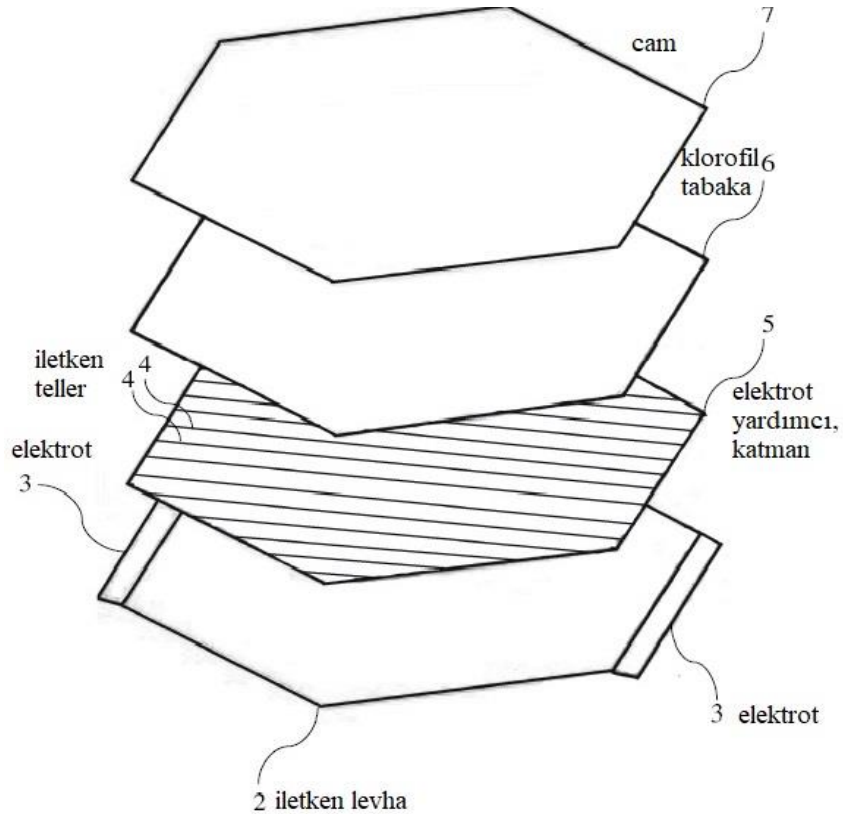


Şekil 4.9. Klorofil güneş pili.

Klorofil güneş pili yapımında sadece klorofil özütü kullanılmıştır. Biyo boyar madde duyarlı organik güneş pilleri gibi TiO_2 kullanılmamıştır. Bu çalışmayı, boyar madde duyarlı güneş pillerinden ayıran en önemli nokta burasıdır. Temel yapıda klorofil tabanlı organik güneş hücresi yapılması planlanmıştır. Elde edilen güneş hücresinin temel çalışma prensibi, klorofil moleküllerinin güneş ışınlarını emilim gerçekleştirip, eksiton oluşturarak elektrot yüzeyine elektron göndermesiyle akım meydana gelmiştir. İlerleyen aşamalarda nano tüp boyutundaki elektrotlar kullanılarak elde edilecek değerlerin artırılması hedeflenmektedir.

4.4. KLOROFİL TABANLI GÜNEŞ PANELİ YAPIMI

Klorofil tabanlı güneş paneli, literatür araştırmalarında görüldüğü üzere net bir çalışma henüz gerçekleşmemiş olup, ülkemizde henüz bu konu üzerine yüksek lisans tezi bulunmamaktadır. Deneysel boyuttaki çalışmaların üzerinde net bir bilgi verilememiştir. Şekil 4.10'da belirtilen klorofil tabanlı güneş paneli şeması özgün bir çalışmanın sonucudur.



Şekil 4.10. Klorofil güneş paneli temel yapısı

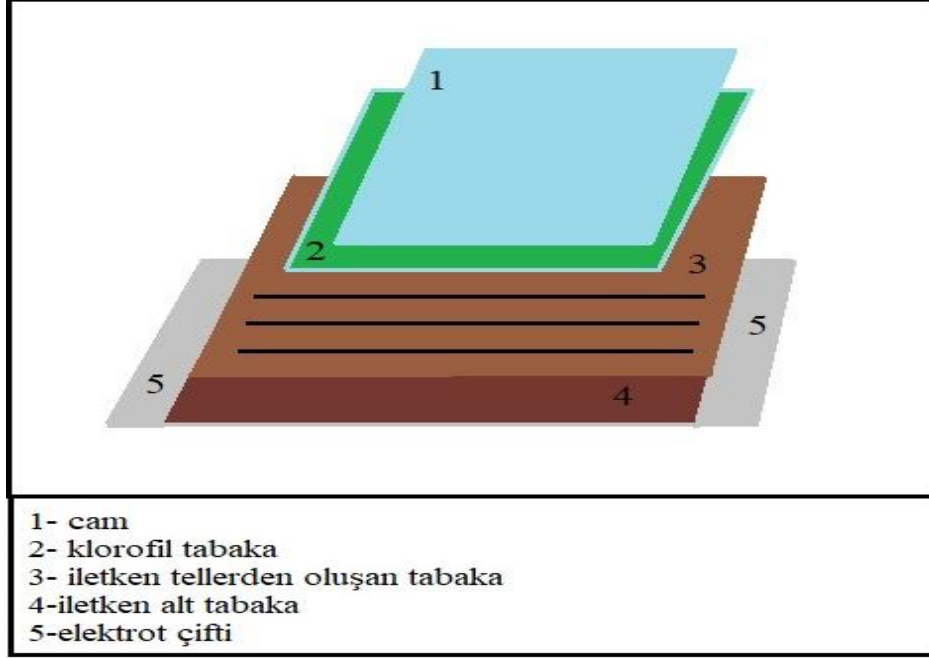
Klorofil pigmentleri sayesinde kurulan güneş pili hücresinde elektrik enerjisi elde edilmesi istenmektedir. Klorofilin çeşitli dalga boylarındaki güneş ışınlarını emerek, elektron ayırımı gerçekleştirip elektrik üretmektedir. Bu sayede az yada çok verim kastedilmeden artan çeşitli elektronik cihazların enerji ihtiyaçlarının karşılanması amaçlanmaktadır.

Günümüzde kullanılan güneş panelleri yapısında ağır metaller, asit ve bazlar, petrol türevi silikon maddeler kullanılmaktadır. Klorofil güneş paneli sayesinde çevreci bir sistem planlanabilir. Sentetik polimer yapıları maddelerin yerine organik moleküller tercih edilmesi ile ülkemizde problem arzeden güneş panelleri problemini gidermek hedeflenmektedir. Klorofil güneş panelinin temel yapısı aşağıdaki ana unsurlardan oluşmaktadır:

- Yalıtkan Alt Tabaka: İletken olmayan bir malzeme seçilir (plastic, vinil kaplama vb.).
- İletken Metal Levha: İletken bir metal seçilmelidir (bakır, altın vb.).
- Elektrot Çifti: İyi uyumlu elektrod çifti seçilmelidir (bakır, çinko vb.).
- İletken Akseptör Tabaka: İnce tellerden oluşan iletken bir tabaka oluşturulmalıdır.
- Klorofil Özütü Tabakası: İnorganik panellerdeki silikon tabakanın yerine klorofil tabakası oluşturulmalıdır.
- Dış Kaplama: Cam ile kaplama yapılabilir.

Üretilen klorofil güneş panelinde, yalıtkan alt tabaka yerine plastik veya vinil kaplama gerçekleştirilebilir. İletken alt tabakanın paralel köşelerine bakır veya çinko elektrot eklenmelidir. Eklenen temel elektrot sistemine bağlantılı olan birbirine paralel şekilde oluşturulan metal boya yada metal teller vasıtası ile iletken akseptör tabaka oluşturulmalıdır. Klorofil tabaka bu oluşturulan sistemde donör görevi yapmaktadır. En üst katmana ise cam ile vakum kaplama yapılır. Şekil 4.11’de gösterildiği üzere literatürdeki uygun güneş hücresi oluşturulmuştur. 10 cm * 10 cm alt tabakası bakır levha üzerine oluşturulan güneş panelinde, elektrot çifti çinko malzemedan seçilmiştir. İletken bakır tel vasıtası ile akseptör tabaka oluşturulmuştur. Klorofil tabakanın üzerine cam kaplama yapılmıştır. Üretilen klorofil güneş paneli

hücresinin temel yapı şeması Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Güneş paneli çalışmasının gizli kalması için üretilen güneş paneli temsili resimleri hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 4.11. Üretilen klorofil güneş paneli temel yapı şeması.

Elde edilen güneş pilleri ve güneş panelleri üzerinde gerilim ölçme testleri, dayanım ve kararlılık testleri gerçekleştirilmiştir. Karanlık testleri aşağıda belirtilen koşullarda gerçekleştirilmiştir:

- Sıcaklık ortam sıcaklığı 23 °C’dir.
- Işık kaynağı olarak Led aydınlatma kullanılmıştır.
- Test düzeneğinin ortamı, atmosfer ortamıdır.
- Nem %50 bağıl nemli ortamdır.
- Karanlık testlerinde gerilim değerleri ölçülmüştür ve sonuçları grafik olarak sonuçlar kısmında belirtilmiştir.

Aydınlık testleri de aşağıda belirtilen koşullarda gerçekleştirilmiştir:

- Sıcaklık, ortam sıcaklığı 23 °C’dir.
- Işık kaynağı olarak güneş ışınları kullanılmıştır.

- Test düzeneğinin ortamı, atmosfer ortamıdır.
- Nem %50 bağıl nemli ortamdır.
- Aydınlik testlerinde gerilim değerleri ölçülmüştür ve sonuçları grafik olarak sonuçlar kısmında belirtilmiştir.

Güneş hücrelerimizin performans analizleri aşağıda belirtilen hususlara göre belirlenmiştir. Fotovoltaik güneş pilleri genel anlamda karanlık ortamlarda yarı-iletken diyot özelliği gösterirken, aydınlık ortamlarda ise güneş pili özelliği gösterirler. Açık devre gerilimi V_{oc} olarak belirtilmiştir. Akım parametlerinin sıfır olduğu anda sistemde ölçülen gerilim değeri V_{oc} olarak belirtilmiştir. Kurulan güneş hücresinin vermiş olduğu maksimum gerilim değeri V_{oc} tur. Açık devre gerilimi (V_{oc}), güneş ışınlarının artmasıyla doğru orantılı olarak artış göstermektedir.

Maksimum güç parametresi P_{maks} , belirli ışık altındaki akım ve gerilim değerlerinin çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$P_{maks} = I_{mpp} \times V_{mpp} \quad (4.1)$$

J_{sc} olarak belirtmekte olan kısa devre akımı, güneş hücrelerindeki uçların oluşturduğu gerilim farkının sıfır olduğu anlarda gözlemlenmektedir. Güneş hücrelerinin tasarımında ve işleyişinde bu parametre önemlidir. Organik yarı iletkenlerin düşük mobilitiye sahip olması ile emici tabakanın güneş ışınlarını aktif iletken tabakaya ve elektrotlara ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle de kısa devre akımını olumlu yönde etkileyen ilave moleküller kullanılmalıdır. Kısa devre akımı birbirine en yakın olan güneş hücresi, en verimli güneş hücresidir.

FF simgesi ile gösterilen dolgu faktörü de, güneş pilleri konusunda önemli bir parametredir. Oluşturulan akımın iş yapabilmesi için gerilim olması gerekmektedir. Gerilim ve akımın çarpılması ile maksimum güç parametreleri oluşmaktadır. Üretilen en yüksek güç değeri, $V_{oc} \times J_{sc}$ değerlerinin çarpımına oranına dolgu faktörü denilmektedir.

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{V_{oc} \times J_{sc}} \quad (4.2)$$

Dolayısı ile;

$$FF = P_{max} / V_{oc} \times J_{sc} \quad (4.3)$$

Oluşturulan güneş hücrelerinin güç dönüşüm verimlilikleri ise şu şekilde hesaplanmaktadır. Verim değerleri ne kadar yüksek ise o kadar kullanılabilirliği yüksektir.

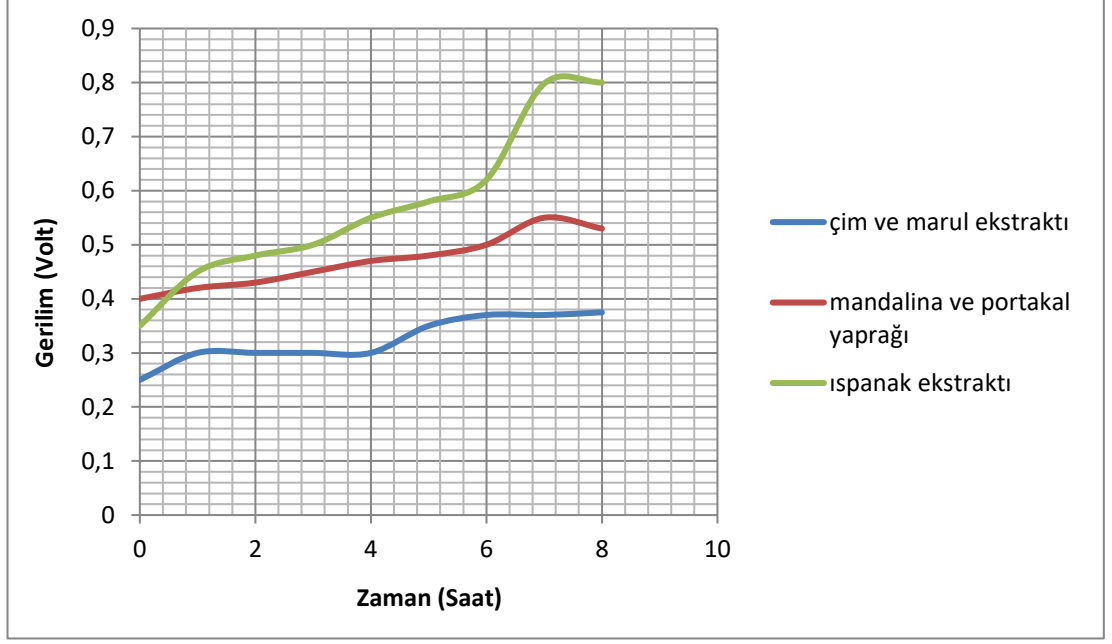
$$\text{Verim } (n) = \frac{FF \times V_{oc} \times J_{sc}}{P_{in}} \quad (4.4)$$

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel sonuçlar ve tartışma bölümünde yukarıda meteryal ve metod bölümünde detaylı olarak anlatılan klorofil tabanlı güneş pilinin akım, gerilim parametre eğrileri ve kararlılık testleri sonuçları yer almaktadır. Yapılan güneş pilinin yanı sıra ilave edilen doğal moleküller ile oluşturulan klorofil+tuz (Chl + NaCl) güneş pili ve klorofil+asetik asit (Chl + CH₃COOH) güneş pilimizin verimsel değerlerinin grafikleri belirtilmiştir.

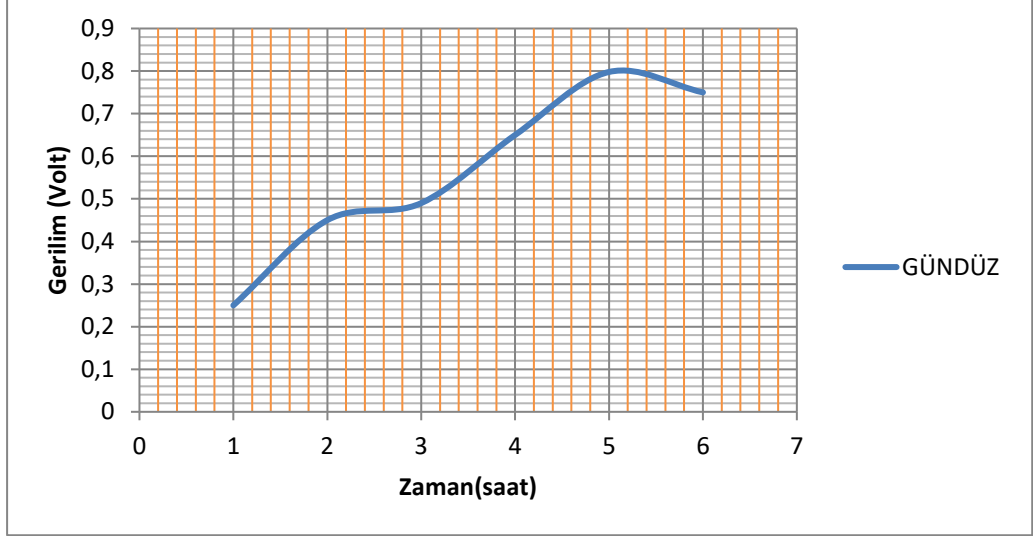
Organik güneş pillerinde performansın incelenmesinde genel olarak akım ve gerilim kontrolleri yapılmaktadır. Aşağıda sonuçlarımızın grafiksel olarak verileri bulunmaktadır. Üretilen farklı tip Organik güneş pillerimizin birbirleriyle kıyaslama grafikleri de aşağıda yer almaktadır. Saf klorofil molekülleri ile oluşturulan temel klorofil güneş pilimiz için yeşil yapraklardan klorofil ekstrakte edilmiştir. Literatürde Klorofil değeri yüksek olan yeşil bitkiler seçilerek oluşturulan üç çeşit saf klorofil bazlı güneş pili, gerilim grafiği Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil 5.1'de görüldüğü üzere gerilim değeri en yüksek olan güneş pilimiz Ispanak yapraklarından elde edilen klorofil ile yapılan güneş pilidir. Ispanak yapraklarından oluşturulan klorofil molekülleri, marul ve çimden oluşturulan güneş pilinin 2,5 katı verimli olmuştur.



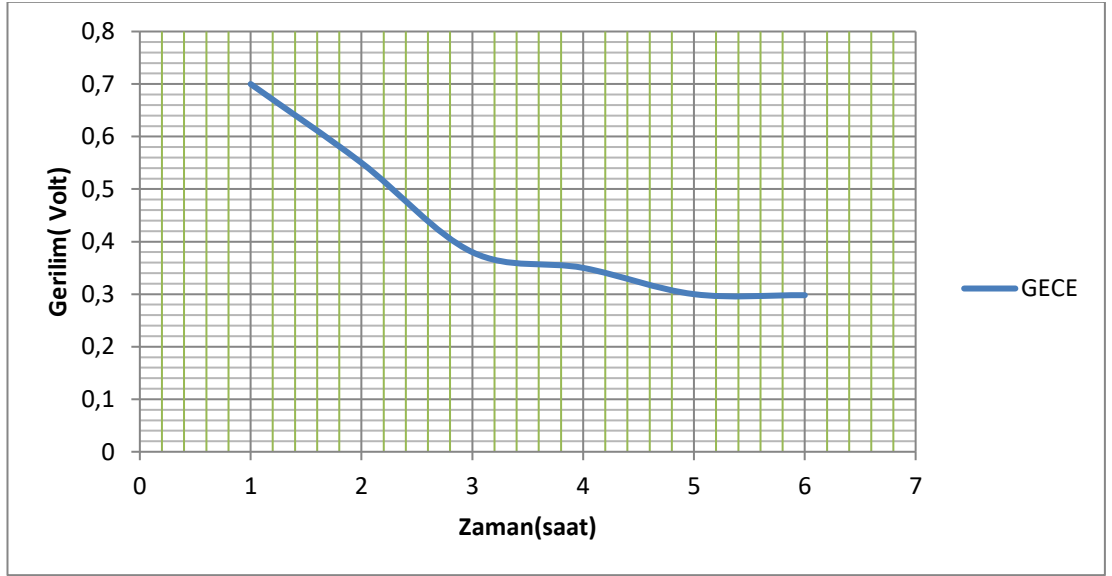
Şekil 5.1. Klorofil ekstraktı türüne göre voltaj verileri.

Mandalina ve Portakal yeşil yapraklarından çekilen klorofil molekülleri ile elde edilen güneş pilinin gerilim parametreleri de ıspanağa oranla düşük, çim ve marula oranla yüksek değer vermiştir. Bu sebeple çalışma boyunca klorofil molekülleri taze ıspanak yapraklarından etil alkol yardımıyla çıkarılarak elde edilmiştir. Etil alkol yerine aseton ile de ekstrakte işlemleri literatürde bulunmaktadır. Lakin aseton etil alkole oranla; klorofil moleküllerinin ömrünü daha çabuk azaltmaktadır. Bu çalışmaların grafik eğrileri de bu bölümde yer almaktadır.

Şekil 5.2’de etil alkol ile ıspanak bitkisinde ayrıştırılan klorofil moleküllerinden oluşturulan klorofil tabanlı organik güneş pilinin; Gündüz – aydınlık testinde alınan gerilim değerleri Volt cinsinden verilmiştir. Grafik yatay eksen zamanı saat cinsinde göstermektedir. Test ortam sıcaklığında, bağıl nemde güneşli havada yapılmıştır. Gecesinde enerjisi boşaltılan güneş pilinin, gündüz verdiği gerilim parametreleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Enerjisi biten güneş pili, bir nevi şarj işlemi göstererek ilk saatinde 0,2 Volt ile 0,3 Volt değer gösterirken birinci saatin sonlarında güneş ışınlarını eksiton işlemi yaparak elektrik üreterek Volt değerleri artmıştır. 800 ml sıvı fazdaki güneş pili, maksimum 0,798 Volt gerilim üretmiştir.



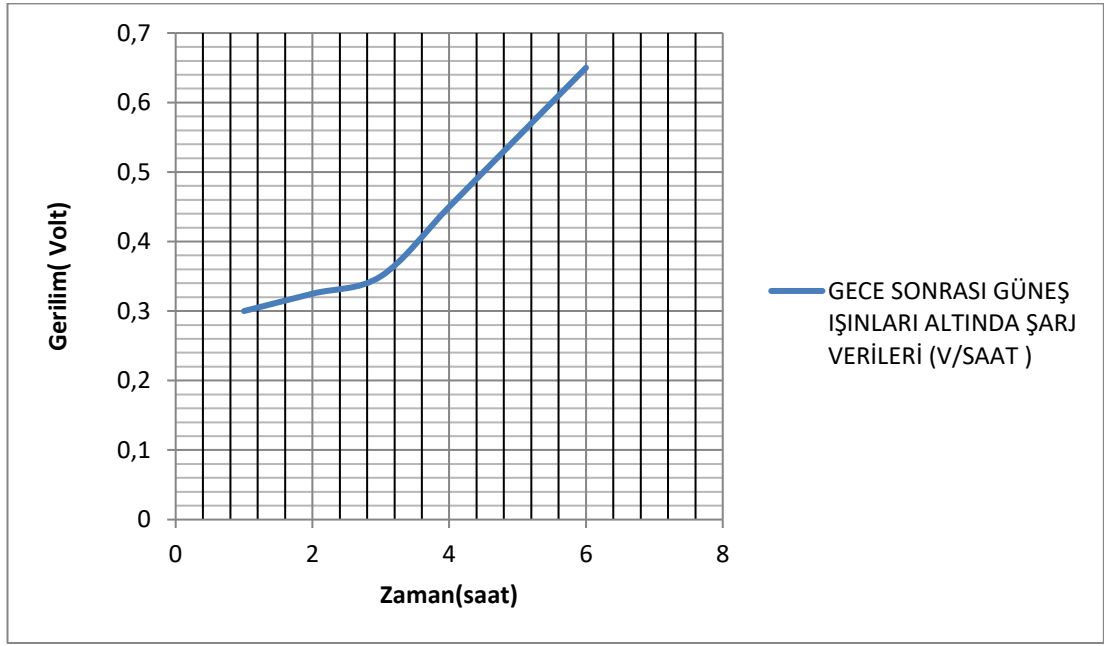
Şekil 5.2. Klorofil güneş pilimizin 6 saat gündüz verim testi voltaj ölçümü.



Şekil 5.3. Klorofil güneş pilimizin 6 saat gece verim testi voltaj ölçümü.

Klorofil tabanlı güneş pilinin 6 saat gündüz ve gece testleri sonucunda oluşan voltaj sonuçları grafiklerde belirtilmiştir. Şekil 5.3’de Gece - karanlık testi sonucunda oluşan gerilim değerleri bulunmaktadır. Sabah ölçümünde oluşan voltaj değeri 0,3 Volt civarındadır. Güneş ışınlarına tekrardan şarj işlemi için çıkarılan çözelti gözlemler sonucunda voltaj değerlerinde artış meydana gelmiştir.

Şarj işlemi gören klorofil güneş pili, 0,698 Volt gerilim elde etmiştir. Üretilen klorofil tabanlı organik güneş pili, amaçlanan elektrik enerjisini üreterek, Şekil 5.4'de görüldüğü gibi güneş pili özelliğini ispatlamıştır. Dolayısı ile hipotez kanıtlanmıştır. Gece deneylerinde enerjisi bitirilen güneş pili, Güneş ışığında şarj işlemi için bekletildiğinde klorofil güneş pili voltaj değerlerindeki artış aşağıdaki grafikte görülmektedir.

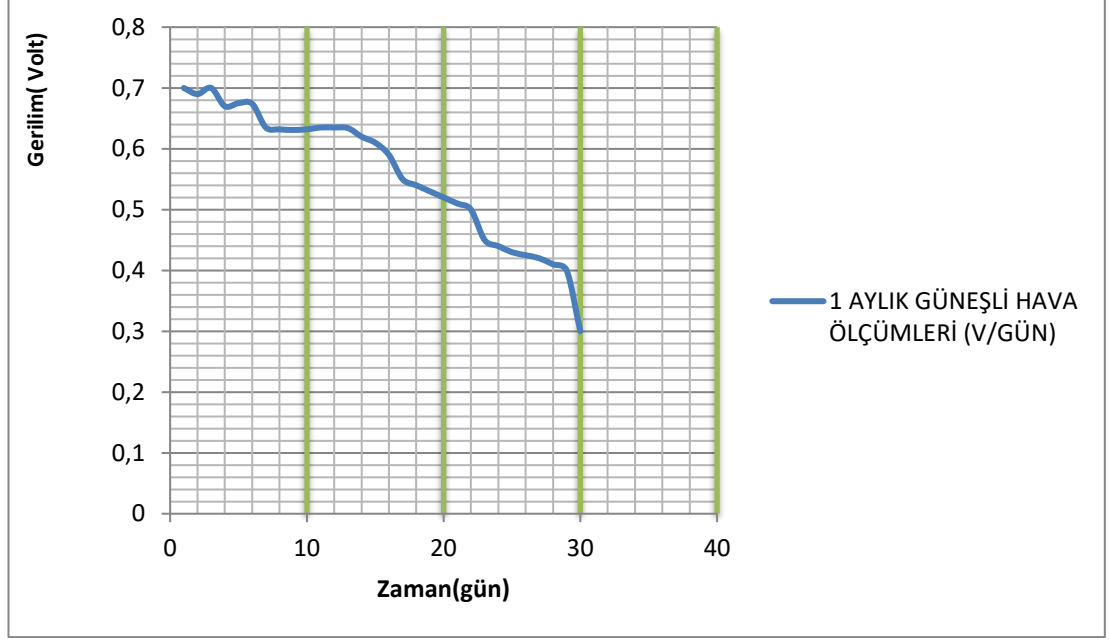


Şekil 5.4. Gece sonrası güneş ışığında şarj işlemi verileri.

Taze, gününbirlik oluşturulan klorofil tabanlı güneş pilinin verimi % 1 - 2 arasında değer vermiştir. Lakin, günlük düzenli olarak gerçekleştirilen ölçüm testlerinde, alınan gerilim değerlerinin gün aşırı düşüş gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Bu düşüşün sebebi, klorofil moleküllerinin ömür kararlılığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.5'de verilen bir aylık ölçüm parametleri grafiğinde, klorofil güneş pilinin gerilim değerleri her gün saat 13:00'da ölçülerek kayda alınmıştır. Tam yük üzerinden yapılan değerlendirmede, başlangıçta 0,7 Volt gerilim değeri gösteren güneş pili bir aylık süreçte ömrünü kaybederek 0,3 Volt değerlere gerilemiştir. Literatürde geçen organik güneş hücrelerinde malzeme dayanımı testi olarak 1 aylık

ölçüm parametresi kullanılabilir. Klorofil özütü bir ay içerisinde vermiş olduğu gerilim değerleri bakımından %50 oranında düşüş gerçekleştirmiştir.



Şekil 5.5. Bir aylık ölçüm parametresi.

Tüm bu çalışmaların neticesinde klorofil ömür verimini ve güneş pilinin verimini arttırmak için, 2 farklı tipte yeni organik moleküllerin ilavesi ile güneş pili üretilmiştir. Klorofil temel tabakalı NaCl (tuz) ve CH₃COOH (asetik asit) ilaveli güneş pilleri oluşturulmuştur. Kullanılan ilave malzemeler % 5 oranında ilave edilmiştir.

NaCl (tuz) 'nin akım ve gerilim sabitleri üzerinde gerilim artıcı bir etkisi olduğu bilinmektedir. CH₃COOH Asetik asit (sirke)'de akım düşürücü, gerilim değerlerini artırdığını gözlemleyerek oluşturulan güneş pillerinde;

%5 NaCl ilaveli güneş pilinin verimi ve gerilim değerleri % 10,6 artış göstermiştir. Önceki yapmış olduğumuz güneş piline oranla gerilimin daha hızlı oluştuğu gözlemlenmiştir.

%5 CH₃COOH ilaveli güneş pilinin verimi ve gerilim değerleri % 18,05 artış göstermiştir. Sirke ilaveli güneş pilinin ömrünün diğerlerine göre daha uzun olduğu

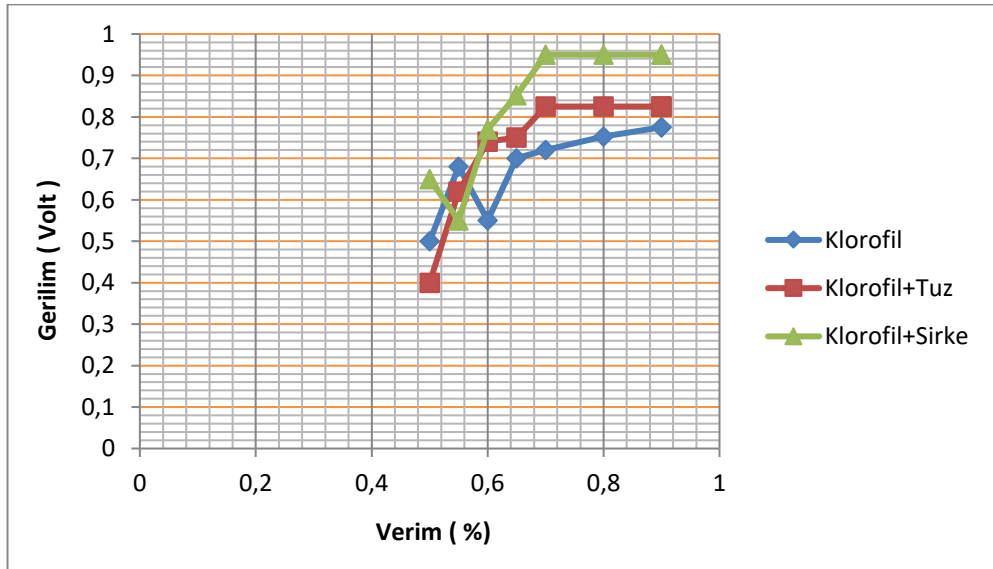
gözlemlenmiştir. Çizelge 5.1’de üretilen yeni tiplerde organik güneş pillerinin parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Üretilen organik güneş pillerinin parametreleri.

Üretilen Organik Güneş Pilleri	Pil Hacmi	Gerilim (Volt Değerleri)	Verim (%)	FF
Klorofil tabanlı organik güneş pili	80 ml	0.798	0.775	0.4
% 5 NaCl (tuz) ilaveli klorofil güneş pili	80 ml	0.85	0.825	0.55
% 5 CH ₃ COOH asetik asit (sirke) ilaveli klorofil güneş pili	80 ml	0.942	0.95	0.585

Bu tez çalışmasında, klorofil tabanlı organik güneş pillerinin kararlılık, verim, ömürlerini ve dayanımlarını belirtmek üzerine 3 tip güneş pili tasarlanmış ve üretilmiştir. Elde edilen güneş pillerinin kararlılık, verim ve ömür analiz testleri aşağıdaki Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’ de gösterilmiştir.

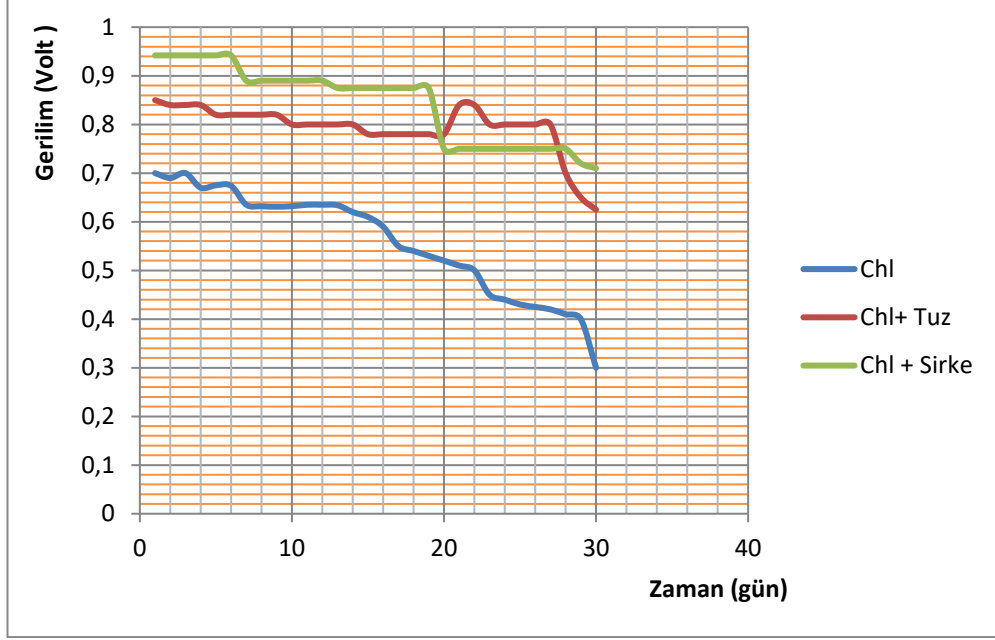
Şekil 5.6’ da görüldüğü üzere % 5 oranında CH₃COOH ilaveli klorofil güneş pili 0,95 Volt (1 Volt’a yakın) gerilim üreterek en verimli güneş pili olmuştur.



Şekil 5.6. Üretilen farklı güneş pillerinin verim- gerilim grafiği.

Yeni üretilen tuz ve sirke ilaveli güneş pillerinin ömür dayanım testleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Yeni üretilen güneş pillerinin gerilim değerleri daha yüksek ve

doğrusal olduğu gözlenmiştir. Sirke ilaveli güneş pili hücresinin kararlılığı, temel klorofil bazlı güneş piline oranla 2 kat yüksek olmuştur.



Şekil 5.7. Üretilen farklı güneş pillerinin ömür dayanım testi.

Bu verimsel artışın gözlemlenmesi ile ürettiğimiz güneş paneli prototipinde de aynı metot kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Çizelge 5.2’de elde edilen sonuçlar:

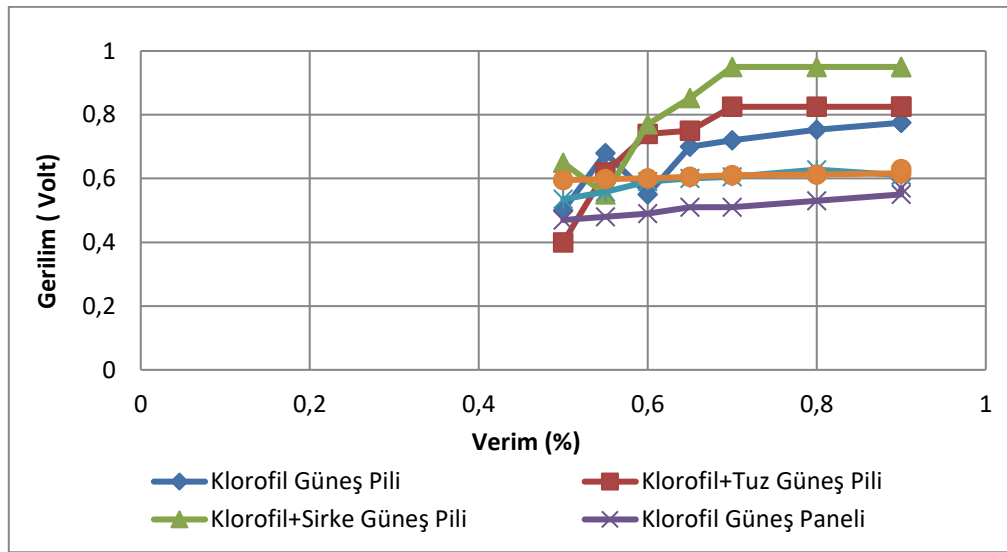
- %5 NaCl ilaveli güneş panelinin verimi ve gerilim değerleri % 7 artış göstermiştir.
- %5 CH₃COOH ilaveli güneş panelinin verimi ve gerilim değerleri % 10,5 artış göstermiştir.

Çizelge 5.2. Üretilen organik güneş panellerinin parametreleri.

Üretilen Güneş Paneli	Ebatı	Gerilim (Volt Değerleri)	Verim %	FF
Klorofil Tabanlı Güneş Paneli	10 cm x 10 cm	0.57	0.55	0.28
% 5 NaCl (tuz) ilaveli klorofil güneş paneli	10 cm x 10 cm	0.61	0.59	0.31
% 5 CH ₃ COOH asetik asit (sirke) ilaveli klorofil güneş paneli	10 cm x 10 cm	0.63	0.61	0.33

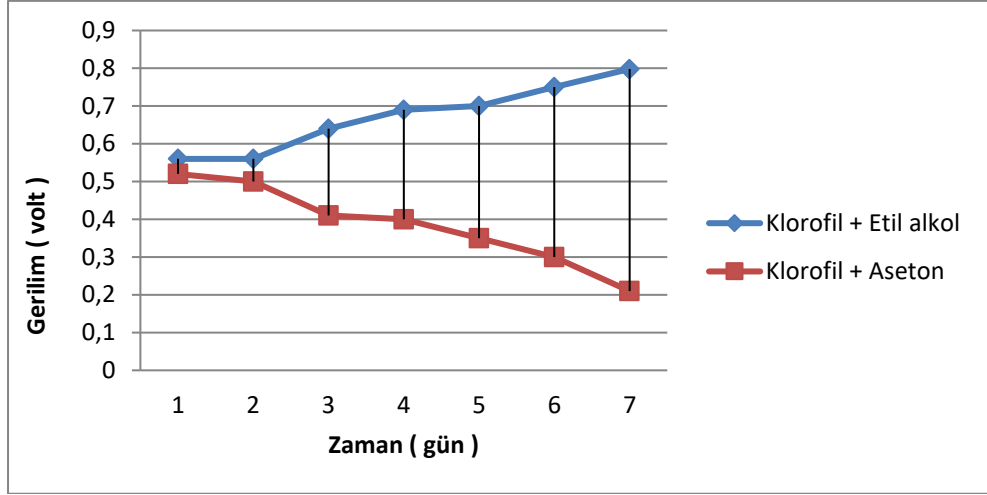
Üretilen güneş panellerinin sıvı yapıdaki güneş pillerine oranla daha düşük gerilim vermesinin başlıca sebebi, güneş paneli temel yapısındaki elektrot ve tellerin nano boyutta olamamasıdır. Güneş panellerinin verim değerlerinin, sıvı çözelti yapıdaki güneş pillerinin verim değerlerine oranı Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

Şekil 5.8’de farklı tiplerde güneş hücrelerinin verim ve gerilim parametreleri verilmiştir. En fazla gerilimi %5 oranında sirke ilaveli klorofil güneş pili vermiştir. En düşük gerilimi ise temel yapıdaki saf özütü klorofil güneş paneli vermiştir.



Şekil 5.8. Güneş hücrelerinin parametrelerinin kıyası.

Şekil 5.9’da klorofil moleküllerinin yapraklardan ekstrakte edilirken, ilgili işlemin etil alkol veya aseton ile yapıldığındaki gerilim parametreleri gösterilmiştir. İlgili işlemler 80 ml çözelti oluşturulmak için yapılmıştır. Etil alkol ile yapılan ekstrakte işlemi 0,798 Volt gerilim değeri vermiştir. Aseton ile yapılan ekstrakte işlemi ise yaprakları çürüterek, yakmıştır. Aseton ile oluşturulan çözelti 0,52 Volt gerilim vermesine rağmen, kısa süreli bir etki verdiği gözlenmiştir.



Şekil 5.9. Klorofil çözücü maddelerinin kararlılık grafiği.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada üretilen klorofil tabanlı güneş hücrelerinin performansı ve verimliliğinin incelenmesinde, başlıca üç faktör vardır:

- Malzeme dayanımının, ömrünün incelenmesi
- Güneş pilinin gündüz veriminin incelenmesi
- Güneş pilinin gece veriminin incelenmesidir.

Karanlık - Aydınlık testleri 6 saat karanlık, 6 saat Güneş Işınlığında bekletilerek multimetre yardımıyla gerekli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler aşağıda belirtilmiştir:

- 6 saat karanlık testinde dijital multimetre ile ölçüm yapılmış olup, 0,368 Volt elde edilmiştir.
- 6 saat aydınlık testinde dijital multimetre ile ölçüm yapılmış olup, 0,798 Volt elde edilmiştir.
- Bu iki testin devamında 0,798 Volt elde edilen güneş pilinden 3 adet üretilmiştir. Üç adet güneş pili seri bağlanarak 2,396 Volt gerilim elde edilmiştir. Sisteme 1,5 Volt 15 mA Kırmızı Diyot Led entegre edilerek led aydınlatılmıştır. Enerjisi bitirilen piller, ertesi gün şarj edilmesi için güneş ortamında 6 saat bekletilerek Şarj olan pilden 0,694 Volt gerilim elde edilmiştir. Bu şekilde hipotez kanıtlanmıştır.
- Klorofil özütünün ıspanak bitkisinden ayırt edilirken çözücü maddelerden etil alkol uygun görülmüştür. Yapılan testlerde etil alkol yerine aseton ile ayırt edildiğinde klorofil moleküllerinin ömrünün % 75 oranında azaldığı görülmüştür.

- Elde edilen klorofil moleküllerinin saf halde ömrü 1 ay olarak ölçülmüştür. Ay sonrasında elde edilen enerji miktarı tam yüke oranla % 33 oranında azalmıştır.
- 6 saat aydınlık testinde dijital multimetre ile ölçüm yapılmış olup, 0,798 Volt elde edilmiştir. Bu iki testin devamı olarak 0,798 Volt elde etmiş olduğum güneş pilinden 3 adet yapılmıştır. Üç güneş pili seri bağlanarak 2,396 Volt elde edilmiştir. Sisteme Diyot Led entegre edilerek led aydınlatılmıştır. Enerjisi biten piller ertesi gün şarj edilmesi için güneş ortamına konulmuştur. Şarj olan pilden 0,694 Volt enerji elde edilmiştir.
- Verimsel artış deneyleri çerçevesinde iki adet farklı prototip güneş pili yapılmıştır. Aşağıda belirtilen güneş pilleri diğer saf klorofil güneş piline göre daha kararlılık ve dayanımlılık göstermiştir.
- %5 NaCl ilaveli güneş pilinin verimi ve gerilim değerleri % 10,6 artış göstermiştir. Önceki yapmış olduğumuz güneş piline oranla gerilimin daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir.
- %5 CH₃COOH ilaveli güneş pilinin verimi ve gerilim değerleri % 18,05 artış göstermiştir. Sirke ilaveli güneş pilinin ömrünün diğerlerine göre daha uzun olduğu gözlemlenmiştir.
- Klorofil tabanlı güneş pilimiz, elektrik enerjisi üretmiş ve pil özelliği göstermiştir.

KAYNAKLAR



- [1] T. Teker, K. B. Varınca, M. Karakurt, and M. Engineering, “**Electric Power Generation in the Solar Systems** ; Comparisons of the Inorganic and Organic Solar Cells Güneş Enerjisinden Elektrik Üreten Sistemler: İnorganik ve Organik Güneş Pillerinin Mukayesesi etmemesi gibi özellikleri avantajlar arasında sayılırken her bir yenilenebilir enerji kaynağının farklı bölgelerde fosil yakıtlara oranla daha az yoğun şekilde ve farklı bölgelerde bulunmaları.”
- [2] G. Müdürlüğü, “**Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projesiyonu 2018-2022,**” pp. 6–82, 2018.
- [3] Ikerne Etxebarria I., Furlan A., Ajuria J., Fecher F., Voigt M., Brabec C., Wienk M., Slooff L., Veenstra S., Gilot J., Paciosa R., (2014), “Series vs parallel connected organic tandem solar cells: Cell performance and impact on the design and operation of functional modules”, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 130 (11), 495-504.
- [4] İnternet: Ekolojist, “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli”, <http://ekolojist.net/turkiyede-gunes-enerjisi-potansiyeli/> (2017).
- [5] İnternet: Enerjım Güneşten, “Polikristal ile Monokristal Solar Panelleri Nasıl Ayırt Ederiz?”, <https://www.enerjimgunesten.com/polikristal-ile-monokristal-solar-panelleri-nasil-ayirt-ederiz.html> (2018).
- [6] İnternet: Webtekno, “Çinlilerin Geliştirdiği Organik Güneş Pilleri Enerji Rekoru Kırdı”, <https://www.webtekno.com/cinlilerin-gelistirdigi-organik-gunes-pilleri-enerji-rekoru-kirdi-h51325.html> (2019)
- [3] Choubey P., Oudhia A., Dewangan R., (2012), “A review: Solar cell current scenario and future trends”, **Recent Research in Science and Technology**, 4 (8), 99-101
- [4] W. Zhao *et al.*, “Enhancement of performance in chlorophyll-based bulk-heterojunction organic-inorganic solar cells upon aggregate management via solvent engineering,” **Org. Electron.**, vol. 59, no. May, pp. 419–426, 2018.
- [5] Mikhnenko O. V., Azimi H., Scharber M., Morana M., Blomad P. W. M., Loi M. A., (2012), “**Exciton diffusion length in narrow bandgap polymers**”, **Energy and Environmental Science**, 5 (5), 6960-6965.
- [6] Strobl, Gert R., (2007), “The Physics of Polymers: Concepts for Understanding Their Structures and Behavior”, 4th Edition, **Springer**.

- [7] Kroto H. W., Fischer J. E., Cox D., (2012), “The Fullerenes”, 1th Edition, **Pergamon Press**.
- [8] Lai T., Tsang S., Manders J. R., Chen S., So F., (2013), “**Properties of Interlayer for Organic Photovoltaics**”, *Materials Today*, 16 (11), 424-432.
- [9] Tang C. W., (1986), “Two-layer organic photovoltaic cell”, **Applied Physics Letters**, 48 (183), 183-185.
- [10] White M. S., Sariciftci N. S., (2013) “Organic Bulk Heterojunction Solar Cells”, 1th Edition, **John Wiley & Sons Inc**.
- [11] Horley P., Jiménez L., García S., Quintana J. A., Vorobiev Y. V., Bon R. R., Makhniy V. P., Hernández J. G., (2013), “**Thin Film Solar Cells: Modeling, Obtaining and Applications**”, 1th Edition, **InTech**
- [12] Liu Y., Zhan Q., Li R., (2013), “Fabrication, properties, and applications of flexible magnetic films”, **Chinese Physics B**, 22 (12), 1-14.
- [13] Kim J., Kim K, Ko S., Kim W., (2011), “Optimum design of ordered bulk heterojunction organic photovoltaics”, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 95 (11), 3021-3024.
- [14] Granero P., Balderrama V.S., Ferré-Borrull J., Pallarès J., Marsal L.F., (2013), “Light absorption modeling of ordered bulk heterojunction organic solar cells”, **Current Applied Physics**, 13 (8), 1801-1807.
- [15] Krebs F. C., (2010), “Polymeric Solar Cells: Materials, Design, Manufacture”, 1th Edition, **Destech Publications**.
- [16] Carlé J.E., Krebs F.C., (2013), “Technological Status of Organic Photovoltaics (OPV)”, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 119 (20), 309–310.
- [17] Acton Q., (2013), “Solar Cells – Advances in Research and Applications”, 2013 Edition, **Scholarly Editions**.
- [18] Schuller S., Schilinsky P., Hauch J., Brabec C., (2004), “Determination of the degradation constant of bulk heterojunction solar cells by accelerated lifetime measurements”, **Applied Physics A**, 79 (1), 37-40.
- [19] Brinchi B., (2013), “Contemporary Research in Organic Solar Cell”, **Renewable Energy**, 6 (4), 28-30.
- [20] Hoke E., Sachs-Quintana I. T., Lloyd M. T., Kauvar I., Mateker W. R., Nardes A. M., Peters C. H., Kopidakis N., McGe M. D., (2012), “The Role of Electron Affinity in Determining Whether Fullerenes Catalyze or Inhibit Photooxidation of Polymers for Solar Cells”, **Advanced Energy Materials**, 2 (11), 1351-1357.

- [21] Baronea C., Landib G., De Sioc A., Neitzertd H. C., Paganoa S., (2014), “Thermal Ageing of Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells Investigated by Electric Noise Analysis”, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 122 (3), 40- 45.
- [22] Bayram, G., “Esnek Nitelikli Organik Güneş Hücresi Yapımı ”, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü**,Gebze,13-29 (2014).
- [23] S. Wang, S. Duan, Y. Wang, C. Sun, X. Wang, and S. Sasaki, “Chlorophyll-based organic solar cells with improved power conversion efficiency,” **J. Energy Chem.**, vol. 38, pp. 88–93, 2019.
- [24] Y. Li et al., “Zinc chlorophyll aggregates as hole transporters for biocompatible, natural-photosynthesis-inspired solar cells,” **J. Power Sources**, vol. 297, pp. 519–524, 2015.
- [25] W. Zhao et al., “Enhancement of performance in chlorophyll-based bulk-heterojunction organic-inorganic solar cells upon aggregate management via solvent engineering,” **Org. Electron.**, vol. 59, no. May, pp. 419–426, 2018.
- [26] S. Tez, “**ZnO Tabanlı Doğal Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı Ayça Kudret.**”
- [27] R. Syafinar, N. Gomesh, M. Irwanto, M. Fareq, and Y. M. Irwan, Chlorophyll Pigments as Nature Based Dye for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), vol. 79. **Elsevier B.V.**, 2015.
- [28] C. Kahramanmaraş, S. Tekerek, and S. Tez, “**TiO₂ Tabanlı Doğal Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı**,” 2009.
- [29] C. Karaman, S. Mutlu S. Tez “**Biyo-Malzeme Duyarlı Güneş Pili**,” 2016.
- [30] TAN, Y. T., JIANG, J. H. ve WU, H. L, Resolution of Kinetic System Of Simultaneous Degradations Of Chlorophyll a and b by **PARAFAC**, **Anal. Chem. Acta**, 412,195-202, (2000).
- [31] SANTANA, J. J., GUNSHEFSKI, M. ve WINEFORNER, J. D., Micellar Enhanced Spectrofluorometric Determination of Chlorophyll a and **Chlorophyll b in Fresh Waters**, **Talanta**,39,195-200, (1992).
- [32] SIMON, D. ve HELLIWELL, S., Extraction and Quantification of Chlorophyll a from Freshwater Algae, **Wat. Res.**, 32 , 2220-2223, (1998).
- [33] MA, L. ve DOLPHIN, D., The Metabolites of Dietary Chlorophylls,**Phytochemistry**, 50 ,195-202,(1999).
- [34] OKSANEN, J.A.I. ,ZENKEVICH, E.I., ve KNYUKSHTO, V.N., Investigations of Chl a Aggregates Cross-Linked by Dioxane in 3-methylpentane,**Biochimica**

et **Biophysica Acta**, 1321 , 165-178,(1997).

- [35] Polo AS, Iha NYM. Blue sensitizers for solar cells: Natural dyes from Clafate and Jaboticaba. **Solar Energy Materials & Solar Cells** 2006; 90:1936-1944.
- [36] Chang H, Lo YJ. Pomegranate leaves and mulberry fruit as natural sensitizer for dye-sensitized solar cells. **Solar Energy** 2010; 84:1833-1837.
- [37] Al-Alwani MAM, Mohamad AB, Kadhum AAH, Ludin NA. Effect of solvents on the extraction of natural pigments and adsorption onto TiO₂ for dye-sensitized solar cell applications. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy** 2015; 138:130-137.
- [38] Chang H, Wu HM, Chen TL, Huang K.D, Jwo CS, Lo YJ. Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomea. **Journal of Alloys and Compounds** 25010;49 : 606-610.
- [39] Chang H, Kao M-J, Chen T-L, Chen C-H, Cho K-C, Lai X-R. Characterization of Natural Dye Extracted from Wormwood and Purple Cabbage for Dye-Sensitization Solar Cells. **International Journal of Photoenergy** 2013; Article ID 159502, 8 pages.
- [40] Ananth S, Vivek P, Arumanayagam T, Murugakoothan P. Natural dye extract of Lawsonia inermis seed as photo sensitizer for titanium dioxide based dye sensitized solar cells. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy** 2014;128:420-426.
- [41] Taya SA, El-Agez TM, El-Ghamri HS, Abdel-Latif MS. Dye-sensitized solar cells using fresh and dried natural dyes. **International Journal of Materials Science and Applications**. 2013;2:37-42.

ÖZGEÇMİŞ

Abdulahkim KAHYAOĞLU 1994 yılında Kayseri’de doğdu; ilkokulu 2006 yılında, orta okulu 2009 yılında Kayseri, Özvatan ilçesinde tamamladı. Bünyan Anadolu Lisesi’nden 2012 yılında mezun oldu. Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü’nden 2017 yılında mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı. Yüksek lisansa devam ederken bir taraftan kurumsal firmalarda üretim ve Ar-Ge bölümlerinde aktif çalışmaları olan Abdulahkim, halen Kayseride üretim yapan bir firmada Ar - Ge bölüm sorumlusu ve üretim müdür yardımcılığı görevini ifa etmektedir.
