

**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇAY İLE ORGANİK BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLİ
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YAZAR
Muhammed Mahi TÜRKMEN**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER**

**RİZE
2022**



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇAY İLE ORGANİK BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLİ
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammed Mahi TÜRKMEN

**Danışman
Prof. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER**

**RİZE
2022**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında, Prof. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER danışmanlığında, Muhammed Mahi TÜRKMEN tarafından hazırlanan *Çay ile Organik Boya Duyarlı Güneş Pili Üretimi ve Karakterizasyonu* adlı bu tez çalışması, 22/09/2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan :	Prof. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER	
Üye :	Prof. Dr. Şükrü ÇELİK	
Üye :	Doç. Dr. Ercüment YÜZÜAK	

ETİK BEYAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Çay İle Organik Boya Duyarlı Güneş Pili Üretimi ve Karakterizasyonu” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

22/09/2022

Muhammed Mahi TÜRKMEN

ÖN SÖZ

İnsanlığın var oluşundan beri enerji her zaman hayatı bir ileriye taşıyan araç olmuştur. İnsanlığın gelişmesi birçok alanda makineleşmesi ile birlikte enerji vazgeçilmez bir noktaya gelmiştir. Fosil kaynaklar keşfedildiği zamandan beri dünyada hayatı kolaylaştırdığı gibi gözükse de bugün fosil kaynakların bir sonunun olduğu ve yaşama verdiği zarar yadsınamaz bir gerçek haline gelmiştir. Fosil kaynakların belirli ülkelerin elinde olması, sahip olmayan ülkelerin bağımlı bir duruma getirmiştir. Fosil kaynakların sonsuz olmayışı ve dar alanlarda var olması insanoğlunu farklı enerji kaynakları arayışa sürüklemiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları (Rüzgar, Güneş, Jeotermal ve Dalga enerji v.b) sürdürülebilir ve tüm herkesin sahip olabileceği kaynaklardır. Bu durum neticesinde kaliteli bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden faydalanma alternatifi incelenmiş ve güneş pillerinin imalatına girilmiştir. Alternatif enerji referansları arasında güneş enerjisinden elektrik üretmek; sakıncasız ve temelli olması, kirlilik problemlerine neden olmaması, arı ve doğru olması, azalma ihtimalinin mümkün olmaması gibi sebeplerle, güneş enerjisi zamanla artık fazla ehemmiyet kazanmaktadır. Güneş enerjisi yeryüzün de tüketilmekte olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında alternatif uygun olanıdır.

Bu tez araştırmasında ve tezin hazırlanmasında iyiliklerini kısmayan sayın Prof. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER danışmanıma minnetimi takdim ederim. Ayrıca araştırmalarımda beni soğukkanlılıkla destekleyen aileme sonsuz minnetimi bir borç bilirim. Tez sürecinde maddi desteklerini eksiltmeyen TÜBİTAK 1005 projesine teşekkürü borç bilirim.

Muhammed Mahi TÜRKMEN

2022 / RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
TABLolar LİSTESİ.....	XII
GİRİŞ	1
1. YARIİLETKENLER	2
1.1. İletkenler	2
1.2. Yalıtkanlar	2
1.3. Yarıiletkenler	3
1.3.1. P Tipi Katkılı Yarıiletken	3
1.3.2. N Tipi Katkılı Yarıiletken.....	4
1.1.3. P-N Heteroeklem	5
1.4. TCO (Saydam İletken Oksitler).....	6
1.4.1. Kalay Oksit (SnO_2)	6
1.4.2. İndiyum Kalay Oksit (ITO)	6
1.4.3. Çinko Oksit (ZnO)	7
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	8
2.1. Güneş Pili Yapısı ve Çalışma Prensibi	8
3. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ.....	12
3.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri	12
3.1.1. Tek Kristalli Silisyum Güneş Pilleri	13
3.1.2. Çok Kristalli Silisyum Güneş Pilleri	13
3.2. Boya Duyarlı Güneş Pili	14
3.3. Amorf Silisyum Güneş Pilleri.....	15
3.4. Bakır İndiyum Güneş Pilleri	16
3.5. CdTe-CdS Güneş Pilleri	17
3.6. Organik Güneş Pilleri	18
3.6.1. Organik Güneş Pili Çalışma Prensibi	19
3.6.2. Tek Katmanlı Organik Güneş Hücreleri	20

3.6.3. Çift Katmanlı Organik Güneş Hücreleri	20
3.6.4. Tandem Katmanlı Güneş Pilleri	22
3.6.5. Heteroeklem Çift Katmanlı Organik Güneş Panel Hücreleri	22
4. İNCE FİLM KAPLAMA TEKNİKLERİ	24
4.1. Buhar Fazda Kaplama Teknikleri	24
4.1.1. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD).....	24
4.1.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD).....	24
4.2. Katı Fazda Büyütme	25
4.2.1. Mekanik Aşındırma	25
4.3. Sıvı Fazda Büyütme	25
4.3.1. Kimyasal Banyo Metodu	25
4.3.2. Elektrokimyasal Yöntem	25
4.4. Sol-Jel Yöntemi	26
4.4.1. Sol-Jel Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları	27
4.4.2. Sol-Jel Yöntemi ile Film Kaplama Teknikleri.....	27
4.4.2.1. Spin Kaplama.....	28
4.4.2.2. Daldırma Kaplama	28
4.4.2.3. Sprey Kaplama.....	29
5. ÇAY BİTKİSİNİN ÖZELLİKLERİ	30
6. YAPILAN ÇALIŞMALAR	31
6.1. Altlıkların Hazırlanması ve Temizlenmesi	31
6.2. TiO ₂ Çözeltisinin Hazırlanması	31
6.3. Çay Çözeltisinin Hazırlanması	31
6.4. Filmlerin Kaplanması	32
7. SONUÇ	34
7.1. Öneriler	48
KAYNAKÇA.....	50

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Ana Bilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Türü : Yüksek Lisans Tezi
Danışman : Prof. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER
Hazırlayan : Muhammed Mahi TÜRKMEN
Yıl : 2022
Sayfa Sayısı : 52

ÖZET

ÇAY İLE ORGANİK BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLİ ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Son yıllarda artan enerji ihtiyacı araştırmaları dengeli, verimli ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına araştırma eğilimine sebep olmuştur. Bu çalışma daha verimli, dengeli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı elde edebilmek için yapılmıştır. Bu çalışmada organik boya duyar güneş pili yapısı kullanılmıştır. Çalışmada ITO camlar TiO_2 ile kaplandı ve daha sonra belirli sürelerde ve uygun sıcaklıklarda tavlama işlemi gerçekleştirildi. Tavlanan kaplı filmler dinlenmeye bırakıldı. Kaplanan filmlerin kenarları aseton ile temizlendi ve 240°C 'de 15 dk kurutma işlemi yapıldı. ITO kaplı yüzeye uygun oranlarda yüzeye demlenmiş çay 400 μl damlatıldı, 5 dakika tavlama işlemi yapıldı. Tavlama işlemi sonrası 800 μl damlatılıp 5 dakika daha tavlandı. Bu çalışmada daha dengeli çalışabilen bir pil yapısı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yarı iletkenler, Güneş Pili, Organik Boya Duyarlı Güneş Pili

Recep Tayyip Erdogan University Institute Of Graduate Studies

Department : Energy Systems Engineering Department

Thesis Type : Master Thesis

Supervisor : Prof. Dr. Eyup Fahri KESKENLER

Author : Muhammed Mahi TÜRKMEN

Year : 2022

Pages : 52

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF ORGANIC DYE-SENSITIVE SOLAR CELL VIA TEA

Increasing energy needs researches in recent years have led to a research tendency towards balanced, efficient and sustainable energy sources. This study was carried out in order to obtain a more efficient, balanced and sustainable energy source. In this study, organic dye sensitive solar cell structure was used. In the study, ITO glasses were coated with TiO_2 and then annealed at certain times and at appropriate temperatures. The annealed coated films were left to rest. The edges of the coated films were cleaned with acetone and dried at 240°C for 15 minutes. 400 μl of brewed tea was dripped onto the ITO coated surface in appropriate proportions, and annealing was performed for 5 minutes. After annealing, 800 μl was added and annealed for 5 more minutes. In this study, a more stable battery structure was obtained.

Keywords: Semiconductors, Solar Cell, Organic Dye Sensitive Solar Cell

KISALTMALAR

AA	:	Doyma Akımı
AC	:	Aydınlatılmış Karbonlu Yüzey
Al	:	Alüminyum Elementi
As	:	Arsenik Elementi
aSi-H	:	Amorf Silikon
AT	:	Aydınlatılmış Titanyumlu Yüzey
B	:	Bor Elementi
BB	:	İdealite Faktörü ile ilgili Üstel Sabiti
C ₂ H ₅ OH	:	Etanol
CdS	:	Kadmiyum Kükürt
CdTe	:	Kadmiyum Tellürid
CM	:	Santimetre
C-Si	:	Kristal Silisyum
CVD	:	Kimyasal Buhar Biriktirme
Ç	:	Çaylı Güneş Pili
DSSC	:	Boya Duyarlı Güneş Pili
E/V	:	Toplam Potansiyel
E _g	:	Yasak Band Aralığı
E _{oc}	:	Açık Devre Voltajı
eV	:	Elektro-Volt
FET	:	Alan Etkili Transistor
FF	:	Dolgu Faktörü
FV	:	Fotovoltaik
Ga	:	Galyum Elementi
Ge	:	Germanyum Elementi
Gr	:	Gram
HNO ₃	:	Nitrik Asit
HOMO	:	En Üst Moleküler Orbital
I _{sc}	:	Kısa Devre Foto Akımı (V=0)
ITO	:	İndiyum Kalay Oksit
IV	:	Roma Rakamı-4

J_{sc}	:	Kısa Devre Akım Yoğunluğu
K	:	Karanlık Ortam
LCD	:	Sıvı Kristal Görüntülük
Li	:	Lityum Elementi
LUMO	:	En Alt Moleküler Orbital
Mm	:	Milimetre
Ne	:	Neon Elementi
NM	:	Nanometre
Nw	:	NanoWatt
OBHJ	:	Düzenli Yığın Heteroeklem
OLED	:	Organik Foto Dağıtan Diyot
P	:	Fosfor Elementi
P_{max}	:	Güç
Pt	:	Platin
PV	:	Fotovoltaik
PVD	:	Fiziksel Buhar Biriktirme
S	:	Saniye
Sb	:	Antimon Elementi
Si	:	Silisyum Elementi
SiH_4	:	Silan Molekülü
SnO_2	:	Kalay Oksit Molekülü
SnO_x	:	Kalay Oksit
TCO	:	Şeffaf İletken Oksit
TFT	:	İnce Film Transistor
TiO_2	:	Titanyum Oksit Molekülü
V	:	Roma Rakamı-5
V	:	Volt
Y_2O_3	:	İtriyum Oksit
ZnO	:	Çinko Oksit Molekülü
λ	:	Dalga Boyu
Φ	:	Fi İşareti
$\Omega.cm$	:	Ohm-Santimetre

%	:	Yüzde
(+Ti)	:	Titanyumlu Yüzey Pozitif (+) Bağlantılı
(-C)	:	Karbonlu Yüzey Negatif (-) Bağlantılı
μA	:	Mikroamper
μm	:	Mikrometre Birimi
$^{\circ}\text{C}$	:	Derece



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Lityum Elektron Dizilimi	2
Şekil 2. Neon Elementi Elektron Dizilimi.....	2
Şekil 3. Silisyum Element Elektron Dizilimi	3
Şekil 4. P tipi Yarıiletken Madde Oluşumu.....	4
Şekil 5. N Tipi Yarıiletken Madde Oluşumu.....	4
Şekil 6. P ve N Tipi İki Yapının Birleşimi İle Oluşan P-N Birleşimi	5
Şekil 7. Güneş Pili Şematik Gösterimi	9
Şekil 8. İki Tabakadan Oluşan Güneş Pili Çalışma Prensibi.....	10
Şekil 9. Czochralski prosesi.....	13
Şekil 10. Çok Kristalli Güneş Hücresi.....	14
Şekil 11. Boya Duyarlı Güneş Pili Yapısı	15
Şekil 12. Çift katlı heteroeklem fotovoltaiik hücrelerin devre şeması	21
Şekil 13. İki farklı polimer ara yüzeyindeki yük transferi yapısı	21
Şekil 14. Tandem Katmanlı Güneş Hücresi	22
Şekil 15. Heteroeklem Katmanlı Güneş Hücresi.....	23
Şekil 16. Temizlenmiş İletken Cam ve ITO Altlıklar	31
Şekil 17. Demlenen Çay	32
Şekil 18. Çay Kaplı TiO ₂ ITO Cam – TiO ₂ ITO Cam.....	32
Şekil 19. Karbon (C) Kaplı İletken Camlar.....	33
Şekil 20. TiO ₂ ITO Cam – Çay Kaplı TiO ₂ ITO Cam.....	33
Şekil 21. (-Ti)(+C)-K Bağlantılı Güneş Pili	35
Şekil 22. (+Ti)(-C)-K Bağlantılı Güneş Pili	36
Şekil 23. (-Ti)(+C)-K-AC Bağlantılı Güneş Pili	37
Şekil 24. (-Ti)(+C)-Ç Bağlantılı Güneş Pili	38
Şekil 25. (-Ti)(+C)-K-AT Bağlantılı Güneş Pili	39
Şekil 26. (+Ti)(-C) Bağlantılı Güneş Pili	39
Şekil 27. (+Ti)(-C)-Ç Bağlantılı Güneş Pili	40
Şekil 28. Çay Kaplı Güneş Pili	41
Şekil 29. Çaylı-Çaysız Güneş Pili	41
Şekil 30. Çaysız Güneş Pili	42
Şekil 31. Çay Kaplı ve Çay Kaplı Olmayan Güneş Pili	42
Şekil 32. (-Ti)(+C)-AC Güneş Pili Güç-Gerilim.....	42
Şekil 33. (-Ti)(+C)-AT Güneş Pili Güç-Gerilim	43
Şekil 34. (-Ti)(+C)-K Güneş Pili	44
Şekil 35. (-Ti)(+C)-çAC Güneş Pili	45
Şekil 36. (-Ti)(+C)-çAT Güneş Pili.....	46
Şekil 37. (-Ti)(+C)-çK Güneş Pili	47

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. (-Ti)(+C)-AC Güneş Pili Güç-Gerilim Ölçüm Değerleri	43
Tablo 2. (-Ti)(+C)-AT Güneş Pili Güç-Gerilim Ölçüm Değerleri	44
Tablo 3. (-Ti)(+C)-K Güneş Pili Değerleri	45
Tablo 4. (-Ti)(+C)-çAC Güneş Pili Değerleri.....	46
Tablo 5. (-Ti)(+C)-çAT Güneş Pili Değerleri	47
Tablo 6. (-Ti)(+C)-çK Güneş Pili Değerleri	48



GİRİŞ

Gelişmekte olan devlet statüsünde bulunan ülkemizde birçok alanda makineleşme ve teknoloji kullanımı artışıyla birçok avantajı ile birlikte bazı ihtiyaçların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bugün ve gelecekte makine teknolojisi kullanımı yaygınlaşması ile birlikte nitelikli insan gücü yanında enerji ihtiyacı giderek artış göstermektedir. Ülkemiz konumu itibariyle sahip olduğu fosil kaynakları ile kendi ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu durumdan dolayı ihtiyacı olan enerjiyi fosil kaynaklarla (Petrol ve Doğalgaz) ithalat ile karşılamaktadır (Atılğan, 2000).

Fosil yakıtlar diğer bir deyişle petrol ve doğalgaz oluşumu süreç isteyen bir kaynak özelliğine sahiptir. Fosil yakıtlar zamanla tükenme özelliğine sahip kaynaklardır. Enerji ihtiyaç artışının durdurulması mümkün olmayan ülkemizde ve dünyada ciddi bir problemdir. Bu ihtiyacı giderebilmek için sürdürülebilir (yenilenebilir) enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır.

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, jeotermal, dalga enerjileri gibi sürdürülebilir özelliklere sahip olan kaynaklardır. Bu kaynaklara yapılacak yatırımlar ve ar-ge gelişmeleri ile birlikte ülkemizin enerji ihtiyacı ciddi anlamda zamanla arz talebi denge durumunu yakalama imkanımız vardır.

Güneş enerjisi çok yakın bir geçmişe sahip yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bugün ülkelerde neredeyse en yaygın yatırım yapılan enerji kaynağı haline gelmektedir. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarının temel kaynağı olup sürdürülebilir öz kaynaktır.

Güneş pilleri fotovoltaik etkisine göre çalışmaktadır. Güneş ışığını doğrudan elektriktik enerjine çevirmektedir. Günümüzde birçok farklı güneş pili modelleri vardır. Bunları her birinin kullanım yerlerine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Organik boya duyarlı güneş pilleri nesil olarak yeni nesil güneş pili çeşididir. Bu güneş pilleri gelecek vaat etmesinin yanında günümüzde daha yeterli verimi elde edilemediğinden dolayı ticari faaliyetlerde kullanılmamaktadır. Ancak kullanılan boyar malzeme ve organik olma sebebiyle yerel kaynaklar ile üretilen bir pil olma özelliğine sahiptir. Bu güneş pili türü gelecek vaat eden bir güneş pili türüdür. Yeterli verim elde edilmesi ile daha temiz olma özelliği de mevcuttur.

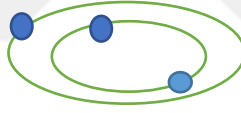
1. YARIİLETKENLER

Maddelerin tümü atomlardan ve elektronlardan meydana gelmektedir. Atom çevresinde belirli hareketlere sahip elektronlar vardır. Atomlar birbirinden farklı ağırlıklara ve elektronlara sahiptir. Elektronlar, negatif yüklere sahiptirler. Her atomun elektronları miktarı ve dizilimleri her maddede farklılık göstermektedir. Bu durum maddelerin elektrik iletkenlik hallerini belirlemektedir. İletkenlik durumlarına göre üç ana gruba ayrılmaktadır; iletken, yalıtkan ve yarıiletken maddeler olarak gruplandırmak mümkündür (Aslan, 2020).

1.1. İletkenler

Atomların elektron dizilimindeki valans elektronlarında 1 veya 2 elektron bulunduran yapılara iletkenler olarak adlandırılır. Genel özellikleri şu şekildedir:

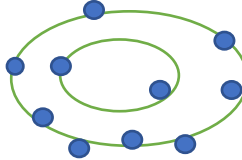
- Isı, ışık ve elektriksel etki ile dışarıdan müdahale halinde kolaylıkla elektron valans bandından koparılabilir.
- Valans bandında 1 elektron bulunduran metal yapılar en iyi iletken yapılardır. Bunlar kendi içlerinde de gruplara ayrılırlar.



Şekil 1. Lityum Elektron Dizilimi

1.2. Yalıtkanlar

Sesi, ısıyı ve elektrik akımını ortama göndermemek kastıyla tüketilen öğelerdir. Yalıtkanlar, ses, ısı ve elektrik enerjisinin ortama iletmenden, noksansız gerçekleştirerek korumasına ve transferine destek olurlar. Valans bandları noksansız dolu olan 8 elektron sahip cisimlere verilen sınıflandırmadır. Son yörüngeleri maksimum doluluğa ulaştığı için elektron alışverişinde bulunamazlar ve elektriği iletmezler.



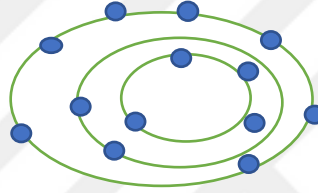
Şekil 2. Neon Elementi Elektron Dizilimi

1.3. Yarıiletkenler

Valans bandlarında genelde 3, 4 veya 5 elektron bulunduran yapılardır. Özellikleri şu şekildedir:

- Normalde yalıtkan halde bulunan yapılardır. Dışarıdan elektrik, ısı veya ışığa maruz kaldığında elektronlarda kopma veya ortak kullanım gerçekleşir.
- Doğada normal olduğu gibi laboratuvar ortamında birleşik eleman halinde elde edilebilir. Örneğin; P veya N katkılı maddeler.
- Kristal yapıya sahiptirler.
- Katkılı maddesiyle (Silisyum ve germanyum v.b.) iletkenlikleri artırılan yarıiletkenler devre elemanlarında önemli yerleri bulunmaktadır.

Katkılan madde tipine göre P ve N tipi katkılı maddeler vardır.



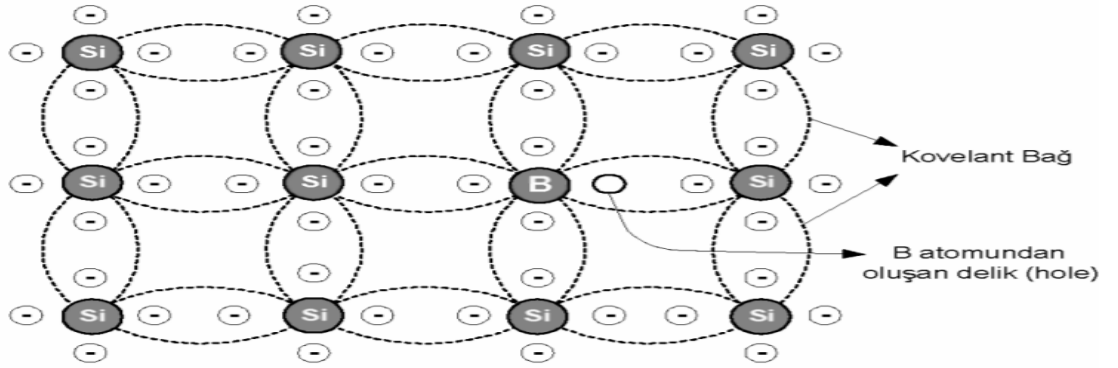
Şekil 3. Silisyum Element Elektron Dizilimi

1.3.1. P Tipi Katkılı Yarıiletken

Öz silisyum atomu içeriğinde, 3 valans elektrona sahip (3-değerli) atomların kesin bir ölçekte katılması ile güncel bir kristal eser gerçekleşir. Bu modernize kristal cisim boşluk sayısı fazlaşmış olur. 3 valans elektronu kapsayan atomlara benzer olarak; alüminyum (Al), Bor (B) ve Galyum (Ga) elementlerini bahsedebiliriz. Örneğin; saf silisyum içerisine belli bir miktarda bor eklenirse; bor elementinin 3 valans elektronu, silisyumun 3 valans elektronu ile paydaş kovalent bağ yapar. Ancak silisyumun 1 valans elektronu eş valans bağı işlemez. Bu boyutta 1 elektron kusuru meydana oluşur. Buna “boşluk” veya “delik=hole” denir.

Silisyuma ilave ek miktarı ile boşlukların sonucu denetimi yapılır. Bu yöntemle meydana getirilen güncel ürüne P tipi yarıiletken ürün denir. Bu boşluklar pozitif yüklüdür. Dolayısı ile P-tipi malzemede yeter sayıda akım taşıyıcıları boşluklardır. Elektronlar ise P tipi malzemede azınlık akım taşıyıcılarıdır. P-tipi yapıda düşük miktarda bağımsız elektronda meydana gelmiştir. Bunlar ısı ile oluşan boşluk çifti

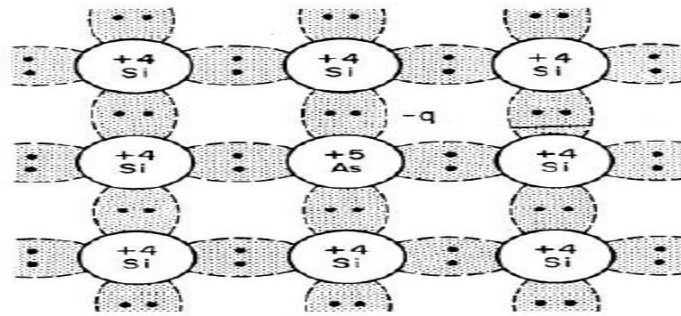
sırasında ortaya çıkmıştır. Bu serbest elektronlar, silisyuma yapılan ek esnasında meydana getiremezler. Elektronlar P-tipi gereçlerde azınlık akım taşıyıcılarıdır.



Şekil 4. P tipi Yarıiletken Madde Oluşumu

1.3.2. N Tipi Katkılı Yarıiletken

N-tipi yarı iletkenler eksi tip yarı iletkenlerdir. IV-A grubu üyesi olan Si ve Ge gibi özden yarı iletkenlere V-A grubundan bir elementle katkı yapıldığında katkı elementinin bir atomu Si atomunun yerini alır ve fazladan bir elektron açığa çıkar. Bir elektrik alanının etkisine girdiğinde fazla elektron serbest hale gelir ve katkı atomu iyonlaşarak artı yüke sahip olur. P, As, Sb gibi 5 valans elektronuna sahip atomlar Si veya Ge elementlerine katıldıklarında iyonlaşıp elektron verirler ve bu özelliklerinden dolayı verici katkı atomu olarak adlandırılırlar. Si ve Ge gibi elementler ise bu durumda yük taşıyıcı elektronlar içerdiklerinden dolayı n-tipi katkılı yarı iletken adını alırlar.

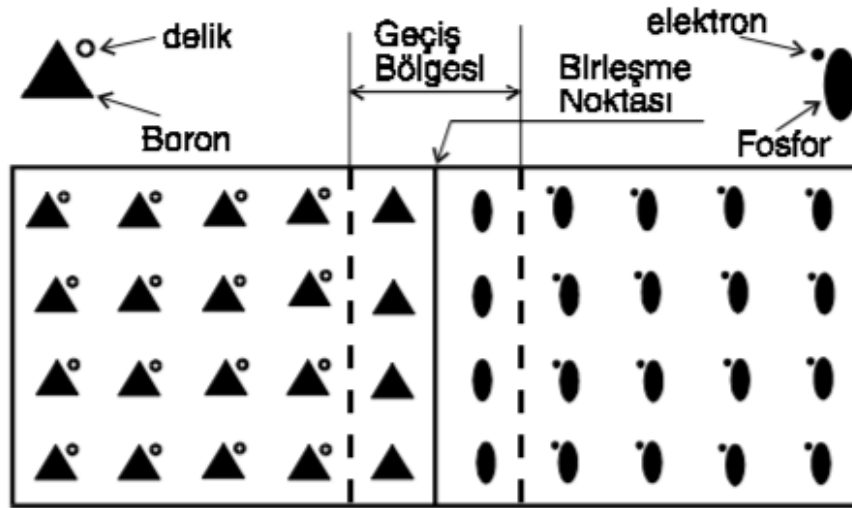


Şekil 5. N Tipi Yarıiletken Madde Oluşumu

Kaynak. Tekin, 2011

1.1.3. P-N Heteroeklem

P tipi malzeme de bir sürü meblağda deliklere sahiptir. Bunun sebebi de silikona eklenen borondur. Aynı biçimde silikona karıştırılan Fosfor sebebiyle N tipi malzemede de çok miktarda elektron bulunur. Boron bileşimi sebebiyle P tipi malzemede yoğunluk kazanan deliklere P tipi ekseriyet taşıyıcılar, Fosfor karışımı sebebiyle N tipi gereçlerde yoğunluk kazanan elektronlara da N tipi çoğunluk taşıyıcılar ismi verilebilir. Yalnız bu yeterli sayıda taşıyıcıların yanı sıra, hem P tipi hem de N tipi malzeme de azınlık taşıyıcılar hazırır. Yanı genellikle deliklerin bulunduğu P tipi malzeme de bir meblağda elektron vardır. Ancak bunlar biraz tutarda gerçekleştiğinden, P tipi azınlık taşıyıcılar olarak adlandırılabilir. Aynı biçimde N tipi üründe yeterli sayıda gelişen elektronların yanı sıra bir miktar da delik bulunur ve bunlar N tipi azınlık taşıyıcılar olarak adlandırılır. P ve N tipi malzemelerdeki yeterli sayıda taşıyıcılar Silikonla birleştirilen Boron ve Fosfor tarafından kesinleştiği için foto ya da termik uyarılardan etkilenmezler. Yalnızca, ekalliyetli taşıyıcıların miktarı, araçsız PN birleşimini etkileyen ışık ve ısıya bağlıdır. İşte bu azınlık taşıyıcılar, bir FV güneş pilinde elektriğe değıştirerek güneş gücünün seçkin taşlarını oluşumunu sağlar.



Şekil 6. P ve N Tipi İki Yapının Birleşimi İle Oluşan P-N Birleşimi

Kaynak. Altaş, 1998

1.4. TCO (Saydam İletken Oksitler)

İnce film hazırlamada kullanılan yöntemler, kaplama aralıkları, yoğunlaşma, ısıtma işlem sıcaklığı, film kalınlığı, taşıyıcının yapısı ve sıcaklığı, büyütme oranı gibi parametreler ince film verimliliğini belirleyen birkaç etmendir.

Çinko oksit (ZnO), titanyum dioksit (TiO₂), kalay oksit (SnO₂), indiyum kalay oksit (ITO) gibi geniş bant aralıklı şeffaf iletken oksitler (TCO'lar), ve şeffaf olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır (Tappei Nishihara, 2021).Fotodedektörler, güneş pilleri, sıvı kristal görüntü (LCD'ler) ve organik foto yayan diyotlar (OLED'ler) gibi optoelektronik cihazlarda elektrot olarak kullanılır. Bu, yüksek optik iletimlerine ve üstün elektriksel iletkenliklerine borçludur. Bu TCO'lar arasında, ITO, 300–1100 nm dalga boyu bölgesi için geniş bant optik absorpsiyonu artırmak için c-Si güneş pilleri üzerinde umut verici bir durumdur (Auwal Abdulkadir, 2020).Günümüzde yaygın olarak saydam iletken oksit yapılarda indiyum-kalay oksit (ITO), kalay oksit (SnO₂) ve çinko Oksit (ZnO) kullanılmaktadır.

1.4.1. Kalay Oksit (SnO₂)

Kalay oksitin saydam iletken yapılarda kullanılmasının en önemli nedenleri şu şekildedir:

- Geniş band aralığı ($E_g=2,6-3,97$ eV).
- Elektriksel öz direnci düşük (10^{-2} ile 10^{-3} $\Omega.cm$).
- Optik geçirgenlik (görünür bölgede %65-80).
- Termal, mekanik ve kimyasal kararlılığı yüksek.
- Türü temeller nitelikli temas etme özelliği.
- Negatif ortam tesirlerine muhalif ve üst sıcaklığa iktidarlı.
- Doğada bol miktarda bulunması (Anlı, 2019).

1.4.2. İndiyum Kalay Oksit (ITO)

İndiyum Kalay Oksitin (ITO) saydam iletken yapılarda kullanılmasının en önemli nedenleri şu şekildedir:

- Üstün belirgin çevre ışık geçirgenliği.
- Üstün kızılötesi yansıtma özelliği.
- Elektrik iletkenlik yapısının iyi olması.

- Altlığa iyi yapışma özelliği.
- İstenilen sertlik durumunu yakalaması.
- Taşıyıcı yoğunluğu $\sim 10^{21} \text{cm}^{-3}$.
- Mobilitesi $15\text{-}40 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ arasındadır.
- İletkenliği ise $7 \times 10^{-5} \text{-} 5 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$.
- Optik bant aralığı $> 3.5 \text{ eV}$ 'dan büyüktür.
- Optik geçirgenlik % 80' in üzerindedir (Türküz, 2010).

1.4.3. Çinko Oksit (ZnO)

Çinko oksitin (ZnO) saydam iletken yapılarda kullanılmasının en önemli nedenleri şu şekildedir:

- Optik geçirgenlik % 80' in üzerindedir.
- $10^{-3}\text{-}10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ değerleri arasında bir elektriksel dirence sahiptir.
- Optik geçirgenlik % 80' in üzerindedir (Çolak, 2010).

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

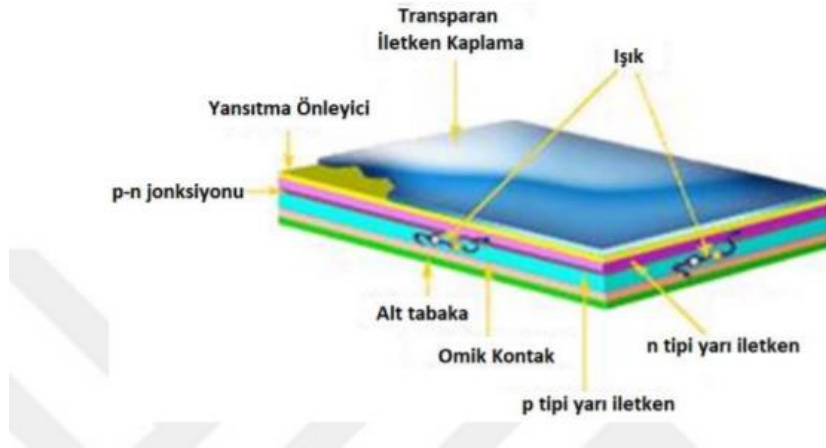
Enerji ihtiyacı her gün artan bir durumdadır. Bu ihtiyacın giderilebilmesi için verimlilik, kaynaklar ve sürdürülebilirlik çok önem arz etmektedir. Günümüzde kullanılan kaynaklar sınırlı ve sürdürülemez, doğaya zararlı fosil yakıtlardır. Yenilenebilir enerji kaynakları geleceğe ışık tutan bir kaynak türüdür.

Yenilenebilir enerji kaynakları geleceğin refahı ve sürdürülebilirlik açısından çok önemlilik arz etmektedir. Kaynak anlamında da yenilenebilir enerji milli bir getirisi olma pozisyonundadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, jeotermal, dalga hidroelektrik gibi türleri bulunmaktadır. Bu kaynakları kendi imkânlarımız ile kullanılabilir kaynaklardır. Aynı zamanda güvenli enerji kaynağı olarak görülmektedir. Güneş enerjisi ülkemizin konumu ve tüm kaynakların temelini oluşturan bir kaynak olduğu için inanılmaz bir potansiyele sahip bir kaynaktır. Geçmişten günümüze çok ciddi verimlilik gelişmelerine ve birçok yerde kurulma potansiyeli olarak geniş çalışma sahasına sahip bir özelliği ile ön plana çıkabilmektedir.

Güneş enerjisi çeşitli pil yapıları ile birçok dala ayrılmış bulunmaktadır. Bu durum sebebi pil yapılarını daha verimli, daha az maliyetli, ulaşılabilir kaynaklara sahip olabilmek amacıyla birçok çeşitliliği bulunmaktadır. En son çıkan tür organik güneş pili bu konuda gelişmelere açık bir tür olmaya devam etmektedir.

2.1. Güneş Pili Yapısı ve Çalışma Prensibi

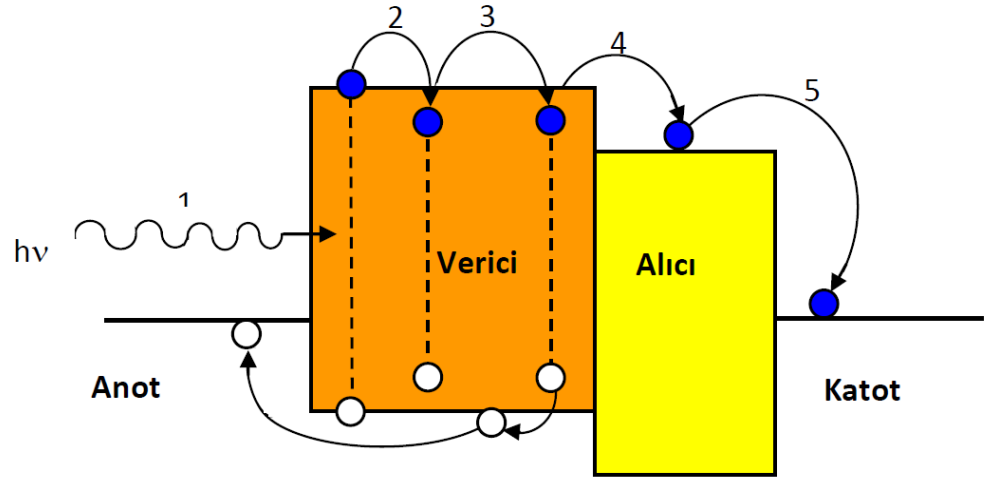
Güneş pili aygıtları, güneşten gelen ışınları fotovoltaiik etki ile elektrik enerjisi meydana getirirler. Fotovoltaiik yarıiletkenler ve elektron çiftleri ile deşik(boşluk) çiftleri ile güneş ışınları ile elektrik alan oluşturmasıyla üretim gerçekleşir.



Şekil 7. Güneş Pili Şematik Gösterimi

Kaynak. Karamanav, 2007

Güneş pili hücresi fotovoltaiik tesir ile elektrik üretir. Fotovoltaiik tesir ise güneş fotonlarını elektrige evrildiği fiziksel döngüye denir. Fotonlar, güneş ışığının yarı iletken kesite çarpması ile atomun özündeki elektronların bağımsız kalması ile meydana gelir. Fotonlar, güneş ışıının spektrumundaki her dalga boyu için ayrı meblağda enerji kapsar. Fotonlar güneş pili hücresi tepesine iletildiği zaman, bir bölümü naklen yansıtılır, bir bölümü güneş hücresi tarafından soğurulur ve bir bölümü de güneş hücresinin içinden geçer. Güneş pili tarafından soğurulan fotonlar elektrik oluşturur. Eksiton, elektrostatik Coulomb kuvveti tarafından birbirine çekilen bir elektron ve bir elektron oyuğuna bağ halidir. İzolatörlerde, yarı iletkenlerde ve birtakım sıvılarda bulunan elektriksel oluşan nötr bir yarı parçacıktır. Elektron ve boşluk çiftidir. Organik güneş pillerinin çalışma prensibine göre eksitonun ayrışması icap etmektedir. Bu ayrışma ışığı soğurmak ile başlar. 10 nm mesafede ekziton; elektron transferi ile ayrışmaya başlar. Bu süreçten sonra elektron yüksek elekton ilgisi olan madde tarafından, boşluk ise düşük iyonlaşma enerjisi olan madde tarafından kabul edilir.



Şekil 8. İki Tabakadan Oluşan Güneş Pili Çalışma Prensibi

Kaynak. Sajjad, 2012

Bu şekildeki bir güneş pilinde güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi beş aşamada gerçekleşen bir süreçtir. Bunlar; (1) güneş enerjisinin aktif tabaka tarafından absorplanması ile başlar. Böylece, hem verici hemde alıcı tabaka uyarılmış olur. Bir elektron, doldurulmuş en yüksek moleküler orbitalde (HOMO) bir boşluk bırakarak doldurulmamış en düşük moleküler orbitale (LUMO) geçiş yapar. Organik yarıiletken durumunda, inorganik yarıiletkenlerde olduğu gibi, bu elektron ve boşluk serbest halde değildir. Bunlar adına eksiton denilen birbirine Coulomb kuvvetiyle bağlı bir elektron boşluk çifti şeklindedir. Absorpsiyon sonucu elektron-boşluk çiftlerinin oluşması ancak gelen ışığın enerjisinin optik band aralığından (HOMO ve LUMO enerji seviyeleri arasındaki fark) daha büyük olması durumunda gerçekleşir, burada oluşan alan bir potansiyel fark oluşturur bu durum sistemde elektron akışı oluşabilecek ortamı sağlamaktadır.(2) Fotonlar tarafından oluşturulan bu elektron-boşluk çiftlerinin bir kısmı ışımalı ya da ışımasız olarak birleşmeden verici malzeme ile alıcı malzemenin ara yüzeyine doğru hareket ederler. İdeal bir güneş pilinde oluşan eksitonların tamamının verici-alıcı ara yüzeyine ulaşması istenir. Dolayısıyla, aktif tabakanın kalınlığı üzerine düşen ışığın büyük bir kısmını soğurabilecek kadar kalın oluşan eksitonların yeniden birleşmeden ara yüzeye ulaşabilecekleri kadar da ince olmalıdır. Çoğu organik malzemede eksitonların difüzyon uzunluğu 10 nm mertebesindedir. (3)

Birleşmeden verici-alıcı ara yüzeyine ulaşabilen eksitonlar, hem elektronlar ve boşluklar için bir potansiyel engelinin varlığından hem de dışarıdan uygulanan bir elektrik alanının varlığından dolayı elektron boşluk çiftlerine ayrışırlar. (4) Ara yüzeyde ayrışan yüklerden elektronlar, alıcı malzemenin elektron afinitesinin yüksek olmasından dolayı alıcı malzemeye aktarılırlar. Böylece, verici malzemenin doldurulmuş en yüksek enerjili orbitalinde (HOMO) bir boşluk alıcı tabakanın doldurulmamış en yüksek enerjili orbitalinde (LUMO) ise bir elektron bulunur. Şayet verici malzemenin iyonizasyon potansiyeli ile alıcı görevi yapan malzemenin elektron afinitesi arasındaki fark yeterli değil ise eksitonlar arayüzeyde elektron ve boşluk olarak ayrışmadan alıcı malzemeye geçebilir. (5) Bir güneş pilinde elektrik enerjisinin elde edilmesindeki son aşamada, ayrışan yükler anot ve katot görevi yapan metal elektrotlarda toplanır ve böylece elektrotlar arasında bir potansiyel farkı oluşur.

3. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ

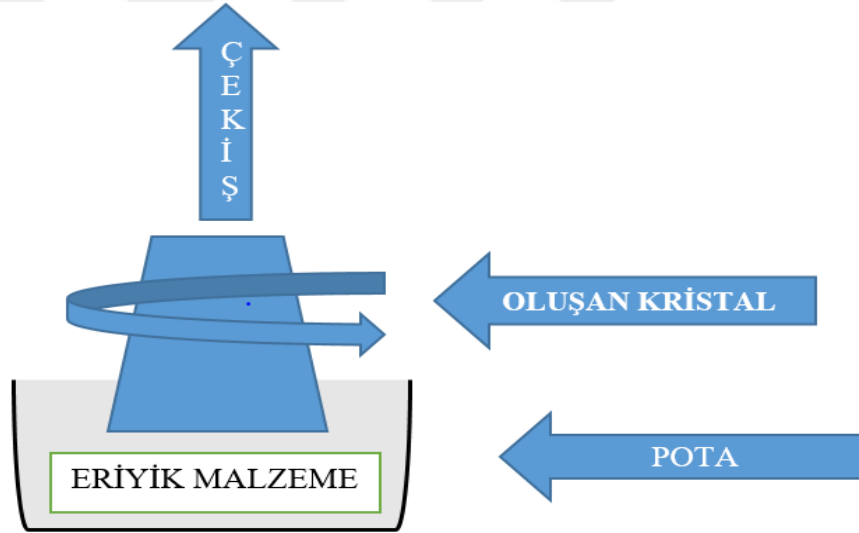
PV pil imalatında yeryüzü bütününde kristal-silisyum teknolojisi en fazla talep edilen teknoloji statüsündedir. Lakin yapılan incelemeler ve etütler bu teknolojiye seçenek olacak yeni imalat yöntemleri ve materyaller keşfetme izinde gitmektedir. İnce-Film teknolojisinin daha ince katmanlar boyutunda olması ve tasarruf niceliklerinin daha çok yönlü gerçekleşmesi gibi etkiler bu teoreme yapılan incelemeleri fazlaştırmaktadır. Bunun yanı sıra bedelleri azaltmak için organik güneş pili teknolojilerine yönelik olan incelemeler süratlenmiştir. Güneş pilleri günümüzde bütün olarak, kristal silisyum güneş pilleri (Kristalin) ve ince film güneş pilleri olarak sınıflandırılmaktadır.

3.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Kristal silisyum (kristal silikon) güneş pilleri, güneş pili teknolojisinde büsbütün egemen bir görev almıştır. Günümüzde de PV marketinin devasa bölümünü elinde tutan kristal silisyum pillerin mevcudiyetinin öteki teknolojilerin ilelemesiyle aheste aheste hükmünü bozulacağı genellikle söylendiyse de, kristal silisyum pillerin en azından ileriki asıra kadar sektördeki öncülüğünü koruyacağı öngörude bulunmaktadır. Kristal silisyumun fotovoltaiik bölümünde bu kadar üstün olmasının bir sebebi, mikro elektroniğin silisyum teknolojisini epeyce ilerlemiş olmasıdır. Bu bilgiden yalnızca PV dünyası değil, silisyumun harcandığı pek çok sektör geniş ölçülerde kazanımlar elde etmiştir. Öte yandan mikro elektronik PV teknolojisindeki birkaç modernize ve ilerleme de katkı edindirmiştir. Tek kristalli silisyum olarak da isimlendirebileceğimiz bu tipin imalat bedeli epeyce pahalıdır. Güneş pillerinin başarımları, imalat külfetsizliği ve sağlamlığı zaman içinde yükseldikçe PV pazarı daha da büyümüş ve güncel seçenekler de ortaya çıkmıştır. 1980'lerde tek kristalli silisyuma seçenek olarak ortaya çıkan eser da çok kristalli silikon yapısıdır. Bu güneş hücrelerinin kıymetini tek kristallilere göre daha ehemmiyetsizken, nitelikleri ve verimlilikleri de daha az olduğu için iki tip de kendine pazarda belli bir yer edindikten sonra karşılıklı ortadan kaldırmaları söz konusu olmamıştır. Yalnızca ileleyen teknolojiyle çok kristalli hücrelerin verimlilikleri de yükselmeye başladığından günümüzde, eskiye nazaran piyasada daha dinamik bir duruma gelmiştir.

3.1.1. Tek Kristalli Silisyum Güneş Pilleri

Başlangıç ticari güneş pilleridir. Yapılışlarında Czochoralski kristal çekme yöntemi ile yetiştirilen tek kristal yapıli silisyum tüketilmiştir. Fotovoltaik endüstride şimdi azami tüketilen üsluptür. Czochoralski silikon olarak da apaçık tek kristalli silisyumun imalatı için Şekil 9’da görülen Czochoralski süreci uygulanmaktadır. Bu süreç oluşumunda belirli bir yönelimdeki kristal çekirdeği sıvı durumdaki silikon banyosuna (Erime noktası 1420 °C) batırılır ve usulca çevrilerek banyodan çekilir. Bu üretim şekliyle 0,3 m eksenli ve türlü büyüklüklerde yuvarlak tek kristaller elde edilebilir. Silindirik tek kristaller sekizgen çubuklar statüde meydana getirilir ve kesilerek 0,3 mm genişliğinde dilimler (silikon levhalar) elde edilir. Silindirik tek kristallerin meydana getirilmesi ve kesilmesi sırasında silikonun çok tutarda toz olarak kaybedilir. Üretkenlikleri %15 çevresindedir. Oluşum sırasında malzeme noksanlığının çok fazla olması bu pillerin engelidir.



Şekil 9. Czochoralski prosesi

Kaynak. Öztürk, 2012

3.1.2. Çok Kristalli Silisyum Güneş Pilleri

Elektriksel, optik ve yapısal karakterleri tek kristalli pillerle farksızdır. Damarların büyüklükleri kristallerin niteliği ile doğru orantılıdır. Damarlar koridorlarında süresizlik, özgünlüğü elektriksel yük taşıyıcıların nakledilmesiyle büyük miktarda güçleştirici görev almaktadır. Çok kristalli yapının elektriksel karakteristikleri, azalan damar büyüklüğü ile biçimli dağılması; elde edilebilecek

karlılığın tek kristalle oranlandığında az gerçekleşmesine sebep olur. Yalnız çok kristalli silisyum imalat teknolojileri daha pratiktir. Bedeli oldukça düşüktür. İmalatta en çok yararlanılan metot dökme üslubudur. Çok kristalli silisyumda girizgah malzemesi, tek kristalli silisyumda olduğu gibi hazırlanır. Arzulanan aralık kademesi de benzerdir. Erimiş olan yarı iletken özgülüğündeki silisyum, suretlere boşaltılarak soğumaya ayrılır. Daha sonra elde edilen bloklar kare biçiminde dilimlenir. Fosfor katıldıktan müteakiben arka kontak ilave edilir. Son olarak da elektriksel gruplar ön yüze ilave edilir ve yansıtma engelleyici kaplama yapılarak uygulama sonlandırılır. Bu teknoloji ile imal edilen malzemelerden elde edilen güneş pillerinin kıymeti cüzi, üretkenliği azdır (Yılmaz, 2014).

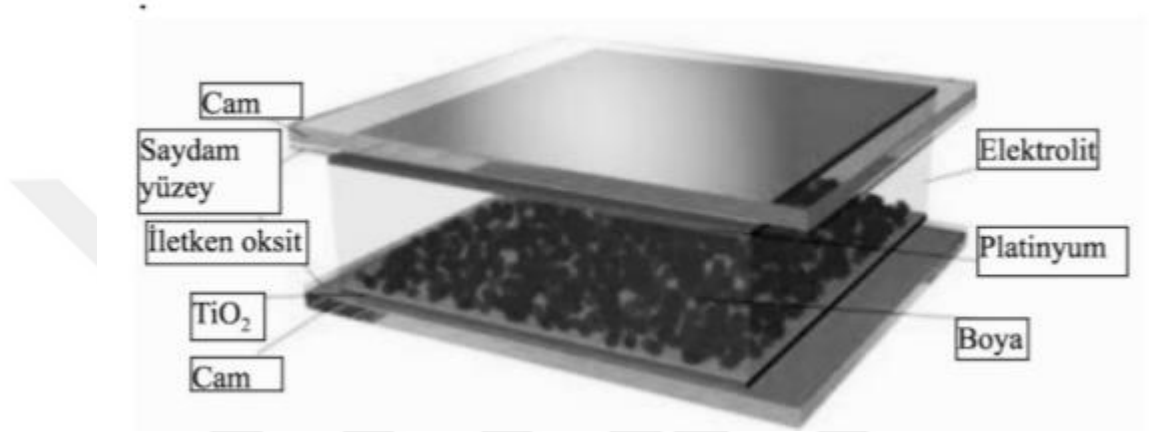


Şekil 10. Çok Kristalli Güneş Hücresi

3.2. Boya Duyarlı Güneş Pili

Bir DSSC, temel olarak, mezo gözenekli ve süngerimsi bir boya kaplı yarı iletkenin bir elektrokimyasal hücre içine daldırıldığı bir elektro-kimyasal hücredir. Nano parçacıktan yapılmış TiO_2 , DSSC'lerde yaygın olarak kullanılan yarı iletkenidir. TiO_2 macunu daha sonra bir TCO'da biriktirilir. DSSC'ler için bir elektrot görevi görür. Boya adı verilen bir tek molekül tabakası daha sonra gözenekli bir malzemenin yüzeyinde kaplanır. Boya, DSSC'lerde fotoaktif katman görevi görür. Güneş ışığı boyanın üzerine düştüğünde, moleküller fotonları emer ve üretim gerçekleşir. İlk DSSC, 1991 yılında O' Regan ve diğerleri tarafından boyaya dayalı olarak tanıtılmıştır.

Duyarlılaştırılmış kolloidal TiO_2 filmi.DSSC'ler, olağanüstü elektrokatalitik özelliklerinden dolayı yüksek güç dönüştürme verimliliği elde etmek için platin karşı elektrotları (PtCE) kullanır. Ancak gelişmiş ekipmanlara ihtiyaç duyulması, malzeme israfından kaynaklanan yüksek maliyet ve yüksek öncül termal ayrışma vb. için sıcaklık gereksinimleri, bunların seri üretim için kullanılmasını engeller. DSSC'lerde hassaslaştırıcı boya olarak TiO_2 , SnO_2 veya ZnO_2 kullanılabilir. Şekil 12'de boya duyarlı güneş pili yapısı görülmektedir (J. Ajayan, 2020).



Şekil 11. Boya Duyarlı Güneş Pili Yapısı

Kaynak. Het, 2020

3.3. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Amorf silikon sistemli kristal bir cisim olmayan nizamsız ağ irtibatına sahiptir. Açık bağlar yetinene kadar hidrojen soğurur. Hidrojenize edilmiş bu amorf silikon (aSi-H) plazma reaktörünün içinde gazlaştırılmış Silanın (SiH_4) gaz fazında tortulaştırılması ile meydana getirir. Gazlaştırılmış silikon elektron buhar bombardımanı ile silane SiH_4 veya disilane Si_2H_6 görüntüsünden yararlanır. Uygulama sıcaklığı düşüktür ($200-250^\circ\text{C}$). Katkılanıma düzensiz gazlar ile uygulanır. Mesela p tipi malzeme için B_2H_6 n tipi malzeme için PB_3 tüketilir. Katkılandırılmış a-SiH 'ın küçük difüzyon uzunluğundan dolayı p-n fonksiyonu yeterli elektriği üretmez. Bu yüzden i tipi katkılandırılmamış element, katkılandırılmış n ve p tipi malzeme arasına yerleştirir. İletken Oksit (TCO) ön kontak malzemesi olarak Kalay Oksit (SnO_2) , İndium Tin Oxide (ITO) veya Çinko Oksit (ZnO) kullanılır. Temelde harcanılan TCO ise yansıtıcı amacı görür. Amorf silisyum güneş pilleri (a-Si), ince film güneş pili uygulamasının en önde gelen biçimidir. İlk yapılan a-Si piller Schottky bariyer

yapısında iken, daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. p-i-n yapısındaki pillerin fabrikasyonu kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır, bu yüzeyin arkası daha sonra metalle doldurulur. Yalnız bu piller, kısa vakitte dağılıma uğrayarak çıkış kuvvetleri kısıılır. Soğurma katsayısı çok fazla olan amorf silisyum, 250°C dolayındaki sıcaklıklarda hacimli ara kesitlerde intizamlı bir biçimde kaplanabilmektedir. Amorf-silisyum malzemesini kristal silisyumdan farklı olarak özgün özellik, silisyum atomlarının malzeme içindeki tutarlılığının, birinci derece yakındaki atomların ötesinde rastgele olmasıdır. Malzeme içerisindeki yapı taşlarının bu rastgele dizilişi amorf-silisyumun elektriksel iletim niteliğini azaltsa da, münasip tutumlarla yarı iletken içerisine %5- 10 oranında hidrojen eklenerek elektriksel özellikler fotovoltaiik çevirime uygun olan seviyede tutulabilirler.

Amorf silisyum 1980’li senelerde ince film fotovoltaiik alanının en favori malzemesi olmuştı, 1982’de %10 randıman kısıtı yenilmiş ve 1987’de üretkenliği %12,7’lere kadar yükselmiştir. Son senelerde bu miktar laboratuvarı %15 değeriinin üzerine çoğaltılmıştır. Ne var ki amorf silisyum pillerinin güneş tabanında karlılıkları süratle % 17 düşmesi bu tür pilleri büyük orantılı güç uygulamalarında dizayn dışı kalmıştır. 1980’lerin başında kararlı verimlilik ederi ancak %3,5 dolayında markaja alınırken, bugün bu değeriin %6-6,5 dolayında olduğu kesinleşmektedir.

3.4. Bakır İndiyum Güneş Pilleri

Başlangıç olarak bakır indiyum diselenid hücreler 1974 senelerinde Bell Laboratuvarlarında bir takım doğrultusunda takdim edildi. Bakır indiyum diselenid’in fotovoltaiik malzeme olarak tercih edilmesinin etkeni, çok kıymetli optik soğurma katsayısı ve işleme bedelinin cüz’i bir miktarda gerçekleştirilmesidir. Bakır indiyum diselenid hücreler, biçimsiz silikon hücrelerde olduğu gibi, ışığa bağılı kapasite zayıatı meydana gelmez. Bununla yanında, sıcak ve nemli şartlarda kararlılık problemleri oluşumuna sebep olur. Bu hücreler günümüzde en üretken ince film teknolojisidir. Seri imalatla beraber, bedeli kristal silikon hücrelerden çok daha az olmaktadır. Ticari modül üretkenliği %7,5 ile %9 arasındadır. Görünüşleri homojendir ve renkleri siyahtır (Öztürk, 2012).

3.5. CdTe-CdS Güneş Pilleri

CdTe güneş hücresi için ilk önemli laboratuvar çalışması Bonnet ve Rabnehorst tarafından 1972'de rapor edilmiştir. Daha sonrasında ise CdTe, tüm ince film güneş hücreleri içinde birincil aday olmuştur. Ayrıca çok çeşitli yöntemler kullanılarak üretilebilen kararlı bir bileşiktir. Hem istiflenme hem de yüzey rekombinasyonu bloke edilirse yüksek verimli hücreler üretmek için ince bir CdTe filmi yeterlidir. CdTe'nin optik soğurma güzergahı, oldukça kestirme olduğundan dolayı, makul bir iletken ara kesitinde yüzeysel homoecklem oluşturması zahmetlidir. Bu sebeple bir pencere kısmı ile heteroecklem meydana getirmek daha kolay olmaktadır. CdTe ile çok fazla yarıiletken heteroecklemi oluşturularak üretkenliği yüksek güneş pili hücreleri imal etme incelemeleri yapılmıştır.

Kadmiyum tellür, kadmiyum ve tellürden meydana gelen kristal formunda bir bileşiktir. CdTe, spektrumunun görünür kısmında yüksek bir optik soğurma katsayısına sahip ve yeryüzü güneş spektrumuyla yakından eşleşen yaklaşık 1,5 eV'luk bir bant aralığına sahip olduğu için PV uygulamalarında neredeyse mükemmel bir malzemedir. Ayrıca 0,5 μm 'lik bir film, $\lambda = 700 \text{ nm}$ 'deki mevcut fotonların %99'unun soğurulmasını sağlamaktadır. CdTe'nin nispeten büyük bir oluşum entalpisi ve iyi kimyasal stabilitesi vardır. Polikristal CdTe filmler, film kalınlığı ve biriktirme yöntemine bağlı olarak tane boyutları 0.1 ile 10 μm arasında değişebilmektedir. Çoğaltılan CdTe kısmı hem n-tipi olduğundan hem de yüksek dirençli p-tipi olduğundan her halde doğru bir tavlama uygulaması tabakayı p-tipine dönüştürebilir veya iletkenliğini çoğaltabilir (Görmez, 2020).

P tipi CdTe soğurucu tabakasına seçilen tampon tabaka n tipi eklem malzemesi çoğunlukla CdS ince filmidir. İlk üretilen CdS/CdTe güneş hücresi modellerinde CdS katmanı sadece geçirgen katman olarak tüketildiğinde pencere katmanı olarak da tanımlanmıştır. Bu günlerde bütün CdS/CdTe güneş pillerinde pencere katmanı SnO_x benzeri saydam iletken film katmanlarıdır. Bunun vasıtası ile CdS yüzeyi çok daha ince kullanılabilir ve tampon tabaka olarak isimlendirilmektedir. P tipi CdTe soğurucu tabakasına seçilen tampon tabaka n tipi eklem malzemesi çoğunlukla CdS ince filmidir. İlk üretilen CdS/CdTe güneş hücresi prototiplerinde CdS katmanı sadece saydam katmanı olarak kullanıldığından pencere katmanı olarak da tanımlanmıştır. Bugünlerde bütün CdS/CdTe güneş pillerinde pencere tabakası SnO_x kopyası saydam

iletken film katmanlarıdır. Bu sebeple CdS yüzeyi çok daha ince tüketilebilmektedir ve güvenli katman olarak adlandırılmaktadır.

3.6. Organik Güneş Pilleri

Fotovoltaikler ışığı elektrik enerjisine çevirir. Üretimde kullanmayı amaçlıyorlar şebekeden bağımsız profesyonel cihazlar, tedarik sistemi ve elektrik üretimi için tedarik. Onlar alternatif olarak önemli bir sürdürülebilir enerji kaynakları sınıfı olarak sınıflandırılmaktadır. Fosil yakıtlar zararlı emisyon olmadığından, maddenin dönüşümü, üretimi diğer yan ürünler. Şu anda, silikon güneş pilleri pazarın büyük bir bölümünü kaplamaktadır. Ucuz yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırma gereksinimi, çoğu araştırmacının verimli, düşük maliyetli fotovoltaik cihazlara odaklanmasını sağlar. Fosil yakıtların ana dezavantajları, zararlı emisyonları, ve istenmeyen yan ürünleridir. Bu nedenle, ucuz ve ucuz yöntemlerle ışıktan enerji üretmek için kolay yöntemlerle, polimer bazlı (organik) fotovoltaik çalışmaları yapıldı ve popülerlikleri çarpıcı biçimde arttı. Fotovoltaikler ışığı elektrik enerjisine dönüştürür ve bu işlem hem inorganik hem de inorganik malzemeler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Son zamanlarda fotovoltaik pazarının büyük bir kısmı silikon güneş pillerinden oluşmakta, ancak silikon hücre teknolojisinin yüksek fiyatlar gibi bazı dezavantajları araştırmacıları alternatiflere odaklanmaya zorlamaktadır. Bu nedenle organik güneş pilleri inorganik güneş pillerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Onların keşfinden sonra, çözümle işlenebilir organik güneş pillerinin (DSSC'ler) popüleritesi, düşük maliyet, hafiflik, büyük ölçekli imalat kolaylığı, esnek cihaz üretimi ve küçük modifikasyonlar yoluyla ayarlanabilir özellikler gibi çeşitli avantajları nedeniyle önemli ölçüde artmıştır. Organik güneş pillerinin çeşitli avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır; düşük kararlılık ve düşük performans. Ancak silikon hücre teknolojisi ucuz değildir. Bu nedenle organik güneş hücreler, inorganik güneş pillerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Çözüm işlenebilir Organik güneş pilleri (DSSC'ler), çeşitli avantajları nedeniyle büyük ilgi görmüştür. düşük maliyet, hafiflik, büyük ölçekli üretim kolaylığı ve rulodan ruloya baskı gibi teknikler, esnek cihazların fizibilitesi ve fizyokimyasal özelliklerin ayarlanabilirliği. Bununla birlikte, organik güneş pilleri, uzun vadeli stabilite ve düşük performanstan muzdariptir (Hacıoğlu, 2016).

3.6.1. Organik Güneş Pili Çalışma Prensibi

İnorganik ve organik güneş pili, hareketlilik, absorpsiyon açısından bazı farklılıklara sahiptir. Genellikle organik güneş pilleri düzlemsel katmanlı bir yapıya sahiptir, ışığı soğuran aktif katman iki farklı elektrot arasına sıkıştırılmıştır. İndiyum-kalay oksit (ITO) gibi yarı saydam elektrotlar anot temasını oluştururken, katot olarak genellikle alüminyum elektrot gibi ince bir metal tabaka kullanılır. Ayrıca kalsiyum, magnezyum, altın Al elektrot yerine kullanılabilecek alternatiflerdir. Foton absorpsiyonu fotoaktif malzeme tarafından gerçekleşir ve absorpsiyondan sonra konjuge polimerlerin HOMO'dan LUMO enerji seviyelerine bir elektron uyarılır. İkinci adımda, eksiton (güçlü kulombik çekime sahip bağlı bir elektron deliği çifti) üretilir. Eksiton, rekombinasyon işleminden önce eksiton difüzyon uzunluğu (5-20 nm) olarak adlandırılan belirli bir mesafeye kadar gidebilir. Eksiton, organik malzemelerin (verici ve alıcı) heteroeklem karışımından oluşan verici-alıcı arayüzüne yayılır ve daha sonra vericinin LUMO'sundan alıcı malzemenin LUMO'suna fotoindüklenmiş yük transferi meydana gelir. Yük aktarımı, yalnızca HOMO (verici) ve LUMO (alıcı) arasındaki enerji farkı eksiton bağlama enerjisine eşitse gerçekleşir. Son olarak, yeni üretilen serbest yükler, yük çıkarma için uygun elektrotlara (PEDOT: PSS aracılığıyla anoda giden delikler ve PCBM aracılığıyla katoda giden elektronlar) taşınır (Ünlü, 2015).

Organik güneş pillerinin çalışma prensipleri, beş adımla özetlenebilir.

- Işığın Emilimi ve Eksiton Oluşumu
- Eksitonun Verici ve Alıcı Materyaller Arasındaki Arayüze Difüzyonu
- Eksiton Ayrışma
- Elektrotlara (anot ve katot) Şarj Aktarımı
- Elektrotlarda Yük Toplanması

Verimli bir organik güneş pili üretmek için, donör malzemelerin (konjuge polimerler veya DSSC'ler için küçük moleküller) HOMO ve LUMO enerji seviyeleri ve esas olarak yük taşınmasını etkileyen anot/katodun çalışma işlevleri çok önemlidir. Konjuge polimerler; HOMO, anodun çalışma işleviyle eşleşmelidir, aynı zamanda LUMO'su, ohmik temas oluşturmak için katodun çalışma işleviyle eşleşmelidir. Bu amaçla literatürde farklı anot, katot ve aktif katman türleri birleştirilmiştir. Işık kaynaklı yük üretimi farklı aşamalar içerir ve enerji seviyeleri ve iş fonksiyonları

uygun değilse istenmeyen yeniden kombinasyonlar meydana gelebilir ve bunun sonucunda oluşan yükler kaybolabilir. Dolayısıyla OSC'lerin verimliliği için rekombinasyon ana sınırlayıcı faktördür.

3.6.2. Tek Katmanlı Organik Güneş Hücreleri

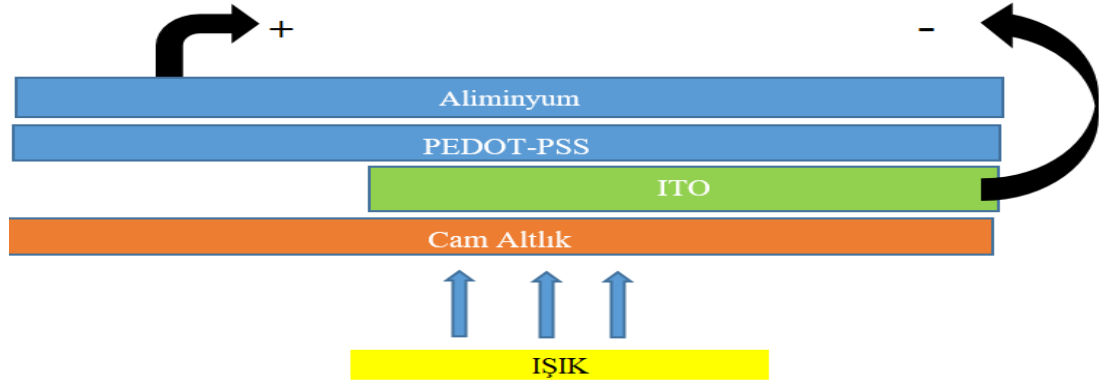
Güneş pilleri içerisinde en basit yapı metal-yalıtkan-metal (MIM) şeklindedir. Bu organik güneş pillerinde organik yarıiletken, iki metal elektrot arasına sıkıştırılır.

Konjuge polimerlerden 1981’de poliasetilen, 1994’te politiyofen ve 1994’te PPV (poli-para-fenilenvinilen)’ nin keşfinden sonra organik güneş pillerinde bu malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. PPV’nin bu malzemeler arasında güneş pillerinde oldukça başarılı olduğu anlaşılmıştır. Bu malzemelerin organik güneş pillerinde çalışmasına rağmen istenilen verim çeşitli nedenlerle elde edilememiştir. Bu nedenlerden biri MIM cihazlarda oluşan elektrik alanının yetersiz oluşudur. MIM cihazlarda, dışarıdan bir gerilim uygulamadan, kısa devre koşullarında iki metal elektrotun iş fonksiyonları farkından dolayı bir elektrik alan oluşur. Bu elektrik alan fotonlar tarafından uyarılmış taşıyıcıları kendilerine uygun kontaklara gitmek üzere ayırır. Fakat konjuge polimerlerde fotonların uyarımı ile oluşan eksitonlar çok kuvvetli coulomb etkileşmesine sahiptir. Bu nedenle iş fonksiyonlarının farkından dolayı oluşan elektrik alan eksitonları ayırtırmaya yetmez. Bir diğer neden ise birçok organik yarı iletkende eksiton difüzyon uzunluğunun 5-15 nm arasında olmasından dolayı eksitonların elektrotlara ulaşmadan kaybolmasıdır. Böyle bir durumda fotoakımda düşüş gözlenmektedir (Alpaslan, 2009).

3.6.3. Çift Katmanlı Organik Güneş Hücreleri

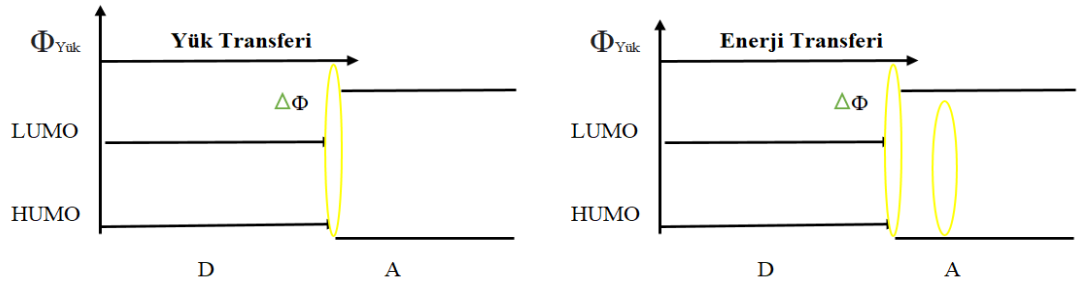
Yüksek miktarda rekombinasyonları kapsayan, bağımsız yük taşıyıcıları meydana gelme sınırlılığı ve cüzi üretkenlikleri sebebiyle, tek katmanlı organik güneş hücreleri ilerideki incelemeler ve üretimler için müsait bir hücre çeşidi değildir. Buna seçenek olarak çift katmanlı yapı, donör-akseptör, aday gösterilebilir. İki katlı devre şekil 12’te gösterildiği gibi, bir donör (p tipi yarı iletken) ve bir de akseptör (n tipi yarı iletken) malzemeyi üst üste ekleyerek hazırlanabilir. Donör ve akseptör arasındaki etkileşim (eksiton meydana gelmesi) geometrik ara kesitlerinde olmaktadır. Tek tabakalı güneş hücrelerine göre birleşimleri daha azdır. Bu düzeneklerde yalnız geçit kesite 10-20 nanometre mesafe olan eksitonlar heteroeklem ara kesatine erişebilir. Bu

da genellikle soğurulmuş fotonun ara kesitine varmadan zayıflata sebebiyet verir ve yeteriz kuantum üretkenliği ile sonuçlanır.



Şekil 12. Çift katlı heteroeklem fotovoltajik hücrelerin devre şeması

İki katmanlı hücrelerde yük eklemi ara kısımda oluşabilmektedir. Bu ara kesit uyarılmış elektronlar donör'ün LUMO düzeyinden (yüksek LUMO düzeyini kapsayan polimer) akseptörün LUMO düzeyine (daha düşük LUMO'yı kapsayan fulleren) zıplar, arada şekil 12'de boy gösterdiği gibi $\Delta\Phi$ kadar bir potansiyel fark mevcuttur. $\Delta\Phi$ potansiyel farkı donörün iyonizasyon potansiyeli ile akseptörün elektron eğiliminin eksiton bağlanma enerjisinden daha fazla olduğunun belirtisidir.



Şekil 13. İki farklı polimer ara yüzeyindeki yük transferi yapısı

Kaynak. Ürper, 2014

Organik güneş hücrelerinde oluşan eksiton kopması uygulaması birkaç zorunlulukla ilişlidir. Öncelikle donörün HOMO derecesi akseptörünkünden büyükse bağımsız yükler meydana gelebilir. Bu durumda donörün HOMO düzeyinin üzerinde boşluklar meydana gelebilir. Şayet akseptörün HOMO düzeyi daha büyükse, elektron ve boşluğun her ikisinde akseptör bölgesine geçer buda enerji eksikliğine sebep olur. Bir başka mühim değişken ise kalınlıktır. Kalınlık eksiton oluşumu için

ehemmiyetlidir. Difüzyon boyutuna bağlı olarak, eksiton ayrımı için kifayyetli aksiyonundan sonra elektron-hole çiftinin ayrılmasına göre göz önüne alınmalı ve ışığın aktif yüzeyi dolaysız geçemeyecek kadar yani buluşacak seviyede olmalı bu değer 50-200 nm arasında değişmektedir.

3.6.4. Tandem Katmanlı Güneş Pilleri

Tandem güneş pillerinde birçok ara yüzey vardır. Bu ara alt yüzeyler karşılıklı seri ve paralel bağlantı yapılabilir. Verimlilikleri en üst noktaya ulaşabilmesi için ara bağlantıların seri uygulanmalıdır daha verimli hale gelmektedir. Diğer taraftan tandem güneş hücresinin toplam değeri de, birbirini tamamlayan değişik absorbsiyon spektrumuna sahip yığın heteroeklem yüzeylerin tercih edilmesi ciddi seviyede artmaktadır. Aygıt içerisinde yer alan birbirlerine seri bağlı aşırı çok ara katmanların ve aktif yüzeylerin aygıtın elektriksel direncini sıra dışı bir biçimde arttırılması bu hücrenin dezavantajıdır. Tandem katmanlı organik güneş panel tasarımının genel şemali Şekil 14’de gösterilmiştir (Kahyaoğlu, 2021).



Şekil 14. Tandem Katmanlı Güneş Hücresi

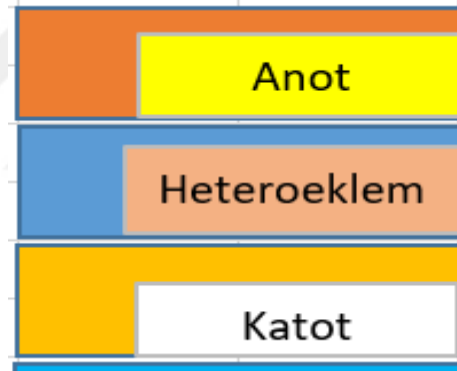
3.6.5. Heteroeklem Çift Katmanlı Organik Güneş Panel Hücreleri

Organik güneş panelleri geçmişten gelen heteroeklem hücrelerin icadı ile üretkenlik fazlalaşmıştır. Heteroeklem güneş pillerinin buluşu, organik güneş pilleri kronolojisinde kırılma noktası gerçekleşmiştir. Heteroeklem katmanlı güneş pillerinin üretkenliği %3-%4 oranına erişmiştir.

Çift katmanlı pil hücrelerinin bir araya getirilerek tek katman üzerinden elektrotların arasında bulunmasıyla gerçekleşmiştir. Bu hücrelerin süre gelen

sorunları, elektrotlar arasındaki bağlantının oluşturulmasındaki problemler gerçekleşmesidir. Elektron ve hol aktarımı fazlalaştırmak için yapıya bir hol engelleyici yüzey ve bir de elektron engelleyici yüzey, aktif yüzeyin bitişiğinde olacak biçimde düzenlemelidir. Donör içinde gerçekleşen akseptör veya akseptör içinde meydana gelen donör adacıklarında tuzaklanmış durumda türetilen yük taşıyıcılarının, hareketli yük taşıyıcıları ile rahatlıkla rekombine olması yığın heteroeklem yapının bir diğer engeldir.

Bu problemler ve sorunları engellemek için 2004'te Coakley ve McGehee tarafından düzgün yığın heteroeklem (OBHJ) modeli önerisinde bulunulmuştur. Çift katmanlı hücre ile yığın heteroeklemlı hücrenin üstünlükleri bir araya getirildiğinde bu yapıda yük taşıyıcılar için doğrusal yol oluşturularak taşıyıcı eksikleri en düşük seviyeye küçültülmektedir. Heteroeklem katmanlı organik güneş panel tasarımı genel biçimi Şekil 15'da gösterilmiştir.



Şekil 15. Heteroeklem Katmanlı Güneş Hücresi

4. İNCE FİLM KAPLAMA TEKNİKLERİ

İnce film kaplama uygulamalarını katı, sıvı ve buhar olmak üzere üç aşamada görmemiz olasıdır. Her fazda kendine ait ayrı kaplama metodu bulunmaktadır.

4.1. Buhar Fazda Kaplama Teknikleri

Malzemenin buharlaştırılması ile ortaya çıkan kaplamalardır bu yöntem iki farklı tekniği barındırmaktadır. Bunlar; Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) ve Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) teknikleridir. Bu teknikler kendi aralarında değişiklikler barındırmaktadır.

4.1.1. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)

Bir malzeme buharının oda sıcaklığına yaklaşık değerlerine sahip bir sıcaklıkta alttaş olarak tüketilecek malzeme üzerine biriktirilmesi ile ince film kaplanması tekniğine fiziksel buhar biriktirme şekli denir. Bu malzeme element ya da bileşik biçiminde de meydana gelebilir. Bu malzeme alttaş üstüne koyulduğunda da iki teknik kullanılarak buhar biçimine dönüştürülür. Bu teknikler ise yüksek sıcaklıklarda ısıtılması ve yeterli yüksek enerjili yüklerle bombardıman yapılmasıdır. Malzemenin buharlaştırılması ve altlık üstüne yoğunlaştırılması faz değişimleri ve kütle transferinin kapsadığı için başlıca birkaç fiziksel biçimleri içermektedir.

4.1.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)

Gaz fazındaki malzemenin kimyasal tepkimeler sonucu alttaş üstüne yoğunlaştırılması durumuna tam olarak kimyasal buhar biriktirme (CVD) denilmektedir. Bu uygulamadan yararlanmaya başlanması 1915 senelerine kadar erişmektedir. Başlangıç olarak Langmuir sıcak bir tel üstüne volfram çökeltmesi ile uygulamaya başlanmıştır. Bundan sonra 1924 senesinde A. Van Arkel ve J. De Boer volframın yanı sıra titanyum, zirkonyum ve hafniyumu'da çökeltmeyi uygulamıştır. 1925 senesinde Weib Zirkonyumklorürden zirkonyumu çöktürdüğünü söylemiş fakat bunun akabinde Arkel uyguladığı incelemenin çökeltinin zirkonyum olmadığını bulunmuştur. 1931 senesinde Moers CVD yöntemiyle titanyumkarbür çökeltmiş 1950 senesinde ise Pollard TiC kaplamayı bulmuştur. Uygulanan bu kaplamalar yalnız 1969 senesinde ticari olarak kullanılmaya başlamıştır. 1971 senesinde TiN kaplamalar üretilmeye

başlanmıştır. Bu senelerden sonra CVD kullanımı popülerleşmiştir ve katlı kaplamalar üretilmeye devam etmiştir (Esen, 2017).

4.2. Katı Fazda Büyütme

Katı fazda ince film büyütme yöntemleri iki farklı grupta incelenmektedir. Bu gruplar mekanik aşındırma ve devitrifikasyon'dur.

4.2.1. Mekanik Aşındırma

Mekanik aşındırma ile yüksek enerjili değirmenlerdeki nanotozların yinelenen kombine, kopma ve yeniden kombine olma kuralı ile uygulanan bir tekniktir. Saf metallerde, karışmaz alaşımlarda uygulanabilen ve bu ürünlerde film meydana getirilebilen bir tekniktir. Mekanik parçalama uygulamasında oluşabilecek olan safsızlık, yüzey kendine özgü kontrol yapılamıyor olması bu teknikle ilgili kaygıları fazlalaşmasına sebep olmaktadır. Devitrifikasyon Bu metodun bir başka ismi ise hızlı katılaştırma metodudur. Amorf alaşımların çekirdeklenme miktarını büyütür ve büyüme ölçeğini azaltarak nano yapıları malzemenin sentezlenmesi için uygulanan bir metottur. Bu metotta malzemelerin manyetik karakteristiğinden de yararlanılmaktadır.

4.3. Sıvı Fazda Büyütme

Sıvı fazda ince film büyütme metodu sol-jel, kimyasal banyo tekniği ve elektrokimyasal olmak üzere üç grupta incelenmektedir.

4.3.1. Kimyasal Banyo Metodu

Bu tekniğin çalışma prensibi çözeltideki film meydana getirerek atomların tepkimelerini rölatiye alma sırasına has bir özelliktir. Çözelti karıştırılan bir kap içerisine kaplanacak altlıklar belirgin zamanlarla bandırılmaktadır. Bu durumda belli bir zaman sonra ince film meydana gelmektedir. Bu usul uygulaması ve bedeli anlamında kullanılması makul bir metottur. Diğer taraftan hacimli yüzeylere yarıiletken film kaplamak içinde basitçe uygulanabilir.

4.3.2. Elektrokimyasal Yöntem

Elektrokimyasal kaplama metodunda kaplanacak alttaş metal ya da ametaldir. Malzemenin bu altlıklar üstünde toplanması ile kaplama uygulaması

yapılabilmektedir. İki sınıf elektoliz şekli mevcuttur. Bunlar akımı kontrol edilebilen akım denetli elektroliz ve potansiyeli kontrol edilebilen potansiyel denetli elektrolizdir. Arzulanan çeşitte kaplamalar ve hacimli bölgeler bu metot ile kaplanabilmektedir.

4.4. Sol-Jel Yöntemi

Sol-jel tekniği başlangıç olarak 1846 senesinde bir tesadüf neticesinde Ebelmen keşfedilmiştir. O zamanda fizikçileri tarafından ilgi görmemiştir. 1939 senesinde Geffcken SiO₂ ile sol jel metodunu uygulayarak film yapılabileceğini keşfetmiştir ve bu metot ismine değerli bir aşama çıkmıştır. 1953 senesini takiben ise sol-jel metodu genel olarak uygulanmaya başlanmıştır. Monolitik inorganik jeller 1970'lerde düşük sıcaklıklarda hazırlanması ve cama çevrilmesi uygulamaları ile sol jel tekniği tekrardan gündeme gelmiştir. Bunun takibinde hemen hemen bir yüzyıl sonrasında Alman şirket Schott işletmesi sol jel tekniğini cam imalatında tüketilmiştir. Sol-jel metodunu betimlemiş yapmış olursak; metal alkoksit çözeltileri, metal tozları, nitratlar, hidroksitler ve oksitler gibi inorganik bileşikler uygun miktarlarda tercih edilir. Bu bileşikler su ve asitle karıştırılarak solüsyon meydana getirilir. Türetilen bu solüsyonun karıştırılacağı uygun sıcaklıklar vardır. Bu sıcaklıklarda oluşturulmasıyla solüsyon içerisinde bir sürü kimyasal reaksiyon oluşmaktadır. Bu reaksiyonların durumuna göre taneciklerin sahip oldukları yüzey yüklerinin elektrokimyasal etkileşimi ile jelleşerek bir ağ meydana getirmesidir. Bu ağ sistemin tüm yerlerine erişerek jeli meydana getirmektedir. Sol; sıvı içerisinde ki kolloidal kümeciklerden meydana gelen bir süspansiyondur. Kolloidal parçacıklar 500 nm ve altındaki gözle görülemeyecek kadar küçük olan parçacıklardır (Suresh Kumar Garlapati, 2018). Bu sebeple olağan optik mikroskop ile görülemezler şu nedenle büyüklükleri en çok ışığın dalga boyu kadardır. Jel ise; kolloidal taneciklerin çöktürülmesi ile elde edilen bir çökelektir. Katı ve sıvı faz arasında bir faza kapsamaktadır. Sol-jel metodundaki başlıca karakteristik; sulu bir çözücü içerisinde metal bileşiklerini, kendi ilk maddeleri içerisinde yaymaktadır. Bu durumdan ötürü türlü başlangıç maddeleri oluşmaktadır. Başlangıç maddeleri metal-organik ve inorganik olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Metal-organik maddeleri organik çözücüde metal alkoksitler ile meydana getirilir. İnorganik maddeler ise; sulu çözeltilerde metal tuzları yararlanılarak

oluşturulur. Bu durum daha ucuzdur ama reaksiyon ayarlarına bilirliliğinin az olması dezavantajdır.

4.4.1. Sol-Jel Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Sol-jel tekniği ağırlıklı uygulanan bir metottur. Bunun nedenlerinde biride birçok avantaja barındırabilmesidir. Sol-jel metodunun avantajlarını şu şekilde düzenleyebiliriz;

- Vakum uygulamasına ve Aşırı sıcaklıklara gereksinim duymazlar
- Kullanılan makine ve aletler kullanımı kolaydır
- Malzeme yüzeyini kaplama özelliği yüksek saflık içerir
- Oluşturulan film homojen bir yapıya sahiptir. Elde edilen üründe istenilen şekil ortaya çıkarılabilir. Çok katmanlı yapılar oluşturulabilir
- Filmleri meydana getirdiğimiz süreçte kontrol edilebilir bir yapıda olabilir.
- Film yapısı herhangi bir şekle bile sahip olsa yapı kaplanabilir
- Kaplama sonrası gözenekli yapı oluşur. (%0 ile %65)
- Film kaplaması az enerji tüketimi sağlar.
- Çevre kirliliğine sebep olmaz.

Sol-jel tekniğinin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar ise;

- Sol uygulamak için edinilen malzemenin bulunması zaman alır.
- Filmi oluşturmada sarf edilen çok fazla malzeme mevcuttur.
- Kullanılan malzemeler zehirli olabilir, bu sebeple tedbir alınmalıdır.
- Çözelti çabuk bozunuma uğraya bilir, film meydana gelmesi zaman alabilir. Film yüzeyi her yeri aynı özelliği barındırır.

4.4.2. Sol-Jel Yöntemi ile Film Kaplama Teknikleri

Sol-jel yöntemi, cam, seramik, metal ve plastik tabanların kolaylıkla uygulanabilirliği olan bir metottur. Kaplandığı yüzeyin yüzey karakteristiklerini kalitesini artırıp farklı özgünlüklerine sahip olmasını sağlamaktadır. Sol-jel metodu ince film kaplamalarında da yoğun tercih edilen bir metottur. Sol-jel uygulamasında akışkan çözelti jelleşmeden rastgele bir yüzeye kaplanır. Sol-jel tekniğinin türlü teknikleri vardır. Bunlar; daldırma kaplama tekniği (dip coating), püskürtme kaplama

uygulamaları (spray coating), döndürme kaplama tekniği (spin coating) olarak 3 farklı gruba ayrılmaktadır. Bu kaplama uygulamaları genel olarak daldırma (dip coating), döndürme (spin coating) ve püskürtme (spray coating) metotları tercih edilmektedir.

4.4.2.1. Spin Kaplama

Döndürerek kaplama, çeşitli substratlar üzerinde üniform ince filmler meydana getirilmek için genel olarak kullanılan bir tekniktir. Burada, belirli bir sıvı/çözelti, yüksek açısal hareket kullanılarak tüm substrat üzerine yayılır; film morfolojisi ve kalınlığı, kademenin (ayna) dönmesinden kaynaklanan güçlü merkezkaç kuvveti ile sıvının viskozitesinden kaynaklanan sürtünme kuvveti arasındaki denge ile tanımlanır. TFT'ler, döndürme hızı veya çözeltinin viskozitesi kontrol edilerek değiştirilebilir. Filmin tekdüzeliği bazen yüzey gerilimi nedeniyle kenar boncuklarının oluşumuyla bozulur. Döndürerek kaplama işleminin avantajları arasında homojenlik, tekrar üretilebilirlik, düşük maliyet gibidir. Dezavantajlar ise büyük mürekkep/kaynak israfıdır, düzensizliği, karmaşıklığı kapatamama 3B özelliklere sahip yapılar ve en önemlisi toplu yöntem, büyük bir çıktı olarak ölçeklendirilemez. Sıklıkla karşılaşılan zayıf cihaz performansı ve homojen olmayan katman oluşumu veya gözenekler ve iğne deliklerinin varlığı vb. nedeniyle azalan akımlar/hareketlilik değerleri, birkaç araştırma grubu tarafından takip edildiği gibi çok yoğunlu aktif katmanların döndürülerek kaplanmasıyla çözülebilir. Çok geçişli bir döndürme kaplaması, kaplanmış yarı iletken tabakanın homojenliğini zorunlu olarak artırır, böylece pozitif ön gerilim stresi stabilitesini ve TFT'lerin hareketliliğini iyileştirir. Buna karşılık, Theissmann ve diğerleri, optimum çözelti formülasyonunun, 7 nm kadar düşük film kalınlığında bile oldukça homojen ve hatasız ince filmler ile sonuçlanabileceğini göstermiştir (Suresh Kumar Garlapati, 2018).

4.4.2.2. Daldırma Kaplama

Daldırma kaplama da spin kaplamanın aksine düşük maliyetli bir işleme yöntemidir ve düzensiz ve karmaşık yapıları kaplamak için daha verimlidir. İşlem, bir substratın kaplama çözeltisine daldırılmasını ve ardından kontrollü bir dikey hız ile çıkarılmasını içerir. Sıvının viskoz sürüklenmesi, yerçekimi kuvvetleri ve hareketli yüzeye bitişik sıvı menüsküsteki yüzey gerilimi arasındaki denge, aşağıdakileri belirler:

- Film kalınlığı,
- Çözeltinin viskozitesi,
- Kaplama döngülerinin sayısı,
- Geri çekme hızı ile değiştirilebilir.

Daha hızlı çekme genellikle yüzeyde daha fazla sıvı bırakır ve kaplamanın kalınlığı etkiler.

4.4.2.3. Sprey Kaplama

Püskürterek kaplama işlemi, çoğunlukla yarı iletken yongalar üzerindeki basamaklar, hendekler ve yığınlar gibi düzlemsel olmayan yapıları kaplamak için kullanılır. Bu durumda, düşük viskoziteli bir kaplama çözeltisinden ince damlacıklar oluşturmak için bir atomizer veya nebulizatör kullanılır, bunlar daha sonra bir taşıyıcı gaz tarafından kaplama odasına taşınır; Yerçekimi ve uygulanan elektrostatik alanın birleşik etkisi sayesinde, yüklü damlacıklar yönlendirilir ve sonunda elektriksel olarak topraklanmış alt tabaka üzerinde biriktirilir. Kaplamanın kalitesi, çözeltinin viskozitesi ile azalan damlacıkların boyutuna bağlıdır. Geniş bir alan üzerinde ince filmler büyütmek için minimum miktarda metal oksit öncüsü kullanan en basit ve en ucuz yöntemlerden biridir; işlemin diğer avantajı, biriktirmeden önce farklı öncü çözeltileri kolayca harmanlayabildiğinden, çok bileşenli oksit filmlerin kolay katkılanması ve oluşturulmasıdır. ZnO yarı iletken kanalının ve ayrıca yüksek k polikristal itriyum oksit (Y_2O_3) veya amorf alüminyum oksit (Al_2O_3) kapı dielektriklerinin müteakip birikimi, geniş alanlar üzerinde tek tip bir kalınlık ve düşük yüzey pürüzlülüğünü korumaktır. Sprey kaplamanın ayrıca silikon nanokristal FET'lerin imalatında önemli bir rol oynadığı bulunmuştur, çoklu spre y kaplama döngüleri ile kalınlık üzerinde uygun bir kontrol (burada spin kaplama ile büyük aglomeralar ve kaplanmamış alanlar bıraktığı için aynı sonuçlar mümkün değildir) ve nanokristal ince filmlerde homojenlik sağlamaktadır. Kalınlık ve homojenlik temel parametreler olmuştur, süzülme etkilerini ve atlamalı yük taşıma mekanizmasını incelemektir (Suresh Kumar Garlapati, 2018).

5. ÇAY BİTKİSİNİN ÖZELLİKLERİ

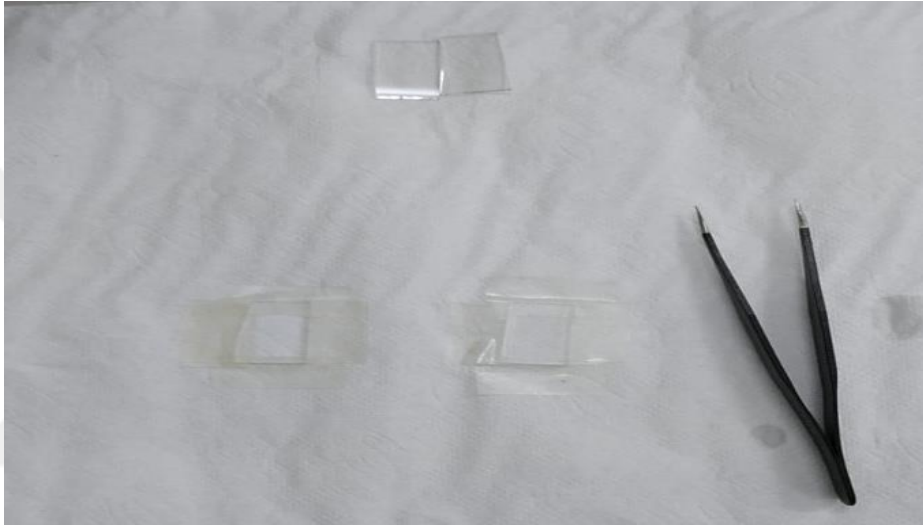
Türkiye’de çay bitkisinin hasat, takriben 205 bin kişi tarafından 762 bin dekar alanda küçük aile idaresi biçiminde düzenlenmektedir ve yıllık yaklaşık 220 bin ton kuru çay ortaya çıkarılmaktadır. Çay tarımı ve ticareti, Ülke ekonomisine ise 300 milyon dolarlık katkı sağlamaktadır ve 1 milyon insanın para kazanmasına kaynak sağlamaktadır. Bölgesel göçün azalmasında önemli bir etkiye sahiptir. Ülkemizde çay, Rize, Trabzon, Artvin ve Giresun illerinde üretilmektedir. Çaylık arazilerin, % 65’i Rize, % 21’i Trabzon, % 11’i Artvin ve % 3’ü Giresun illerinde görülmektedir. Türkiye’deki çay bahçeleri 1937 senesinde ithal edilen tohumlarla yapılmaya başlanmıştır.

Türk çayını, dünya çay sektöründen farklı kılan en önemli özellik üretildiği iklimdir. Ülkemizde çay tarımının gerçekleştiği alanlar, kar yağışının olduğu ve sıcaklığın eksi değerlere düştüğü alanlardır. Bu etki ile çay bahçelerinde ilaçlamayı sebep olacak böcek, parazit gibi zararlılar oluşmamaktadır ve bu sebeple Türk çayı, pestisit, insektisit ve herhangi bir kimyasal katkı malzemesi kullanımı uygulanmamaktadır. Ülkemizde, Siyah, yeşil ve beyaz olmak üzere 3 farklı çay üretimi yapılabilmektedir. Çay bitkisi yoğun kalsiyum ve kafein yapısı içermektedir. Çayın organik bir boyar madde olarak kullanılmasının sebeplerinden biride sahip olduğu elektriksel özellikleridir. Çayın elektriksel özelliği; $1,332 \text{ dS m}^{-1}$ veya $1,690 \text{ dS m}^{-1}$ iletkenlik aralığı ile iletken bir yapıya sahip olduğu görülmüştür (Safi, 2018).

6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

6.1. Altlıkların Hazırlanması ve Temizlenmesi

Bu araştırmada ITO (İndiyum Kalay Oksit) ve bir yüzü iletken camlar kullanılmıştır. İletken camlar elmas uçlu kalem ile 2cmx1cm oranında kesme işlemine tabi tutulmuştur. ITO camlar ve iletken camlar sırasıyla aseton, etanol ve distile(damıtma) su ile ultrasonik banyo cihazında 5'er dakika temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem 2 defa tekrarlanmıştır. Altlıklar 90⁰C'de 2 dk kurutma işlemine tabi tutulup hazır hale getirilmiştir.



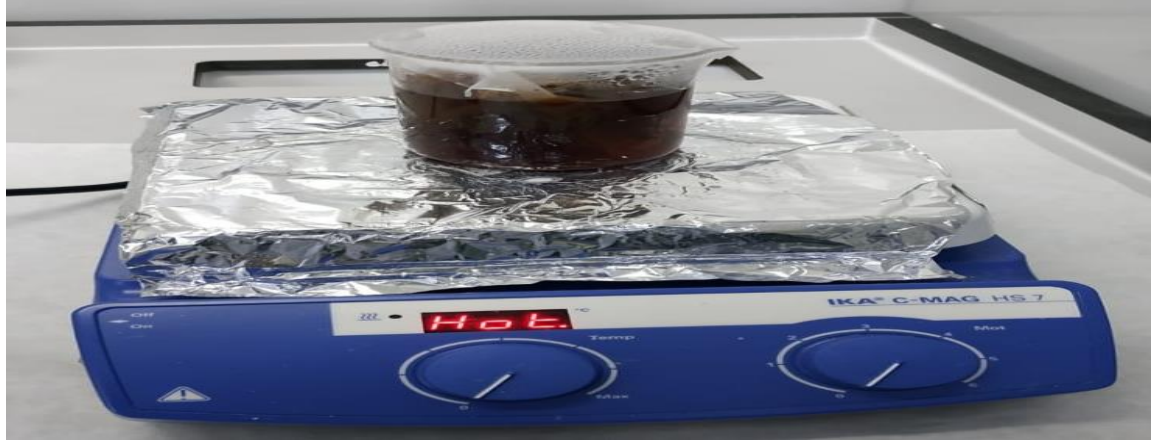
Şekil 16. Temizlenmiş İletken Cam ve ITO Altlıklar

6.2. TiO₂ Çözeltisinin Hazırlanması

Çözelti hazırlanırken Titanyumdioksit (TiO₂) molekül ağırlığı 79,09 g/mol ve saflık derecesi %99,2 ve çözücü olarak Nitrik Asit (HNO₃) molekül ağırlığı 63,01 g/mol, %55-%57 oranında seyreltilmiş kullanılmıştır. 1 gr TiO₂ ve 325 µl HNO₃ temiz bir beher içinde diş macunu kıvamı elde edilene kadar karıştırıldı.

6.3. Çay Çözeltisinin Hazırlanması

11 gr Siyah Çay 250 ml saf suda 1 saat demlendi. Demlenen çay dinlemeye bırakıldıktan sonra, 50⁰C'de 3 ml Etanol (C₂H₅OH) damlatıldı.



Şekil 17. Demlenen Çay

6.4. Filmlerin Kaplanması

ITO camların üzerine spatula yardımıyla elde edilen TiO_2 kaplandı. Kaplanan filmler 90°C ' de 5 dk ön kurutma işlemine tabi tutuldu. Tavlama kaplı filmler dinlenmeye bırakıldı. Kaplanan filmlerin kenarları aseton ile temizlendi ve 240°C 'de 15 dk kurutma işlemi yapıldı.

ITO kaplı film üzerine 400 μl demlenen çay damlatıldı 200°C 'de 5 dk tavlama işlemine tabii tutuldu. Tavlama işlemi sonrası 800 μl çay damlatılıp 200°C 'de 5 dk tavlama işlemine tabii tutuldu. Tavlama filmler TiO_2 ve çayla karışık bir şekilde film üzerinde çözünen kısımlar tekrardan spatula yardımı ile kaplandı ve dinlendirilmeye bırakıldı.

18 saat dinlenmeye bırakılan çay kaplı ITO filmler son kez 200°C 'de 5 dk kurutma işlemine tabii tutulup hazır hale getirildi.



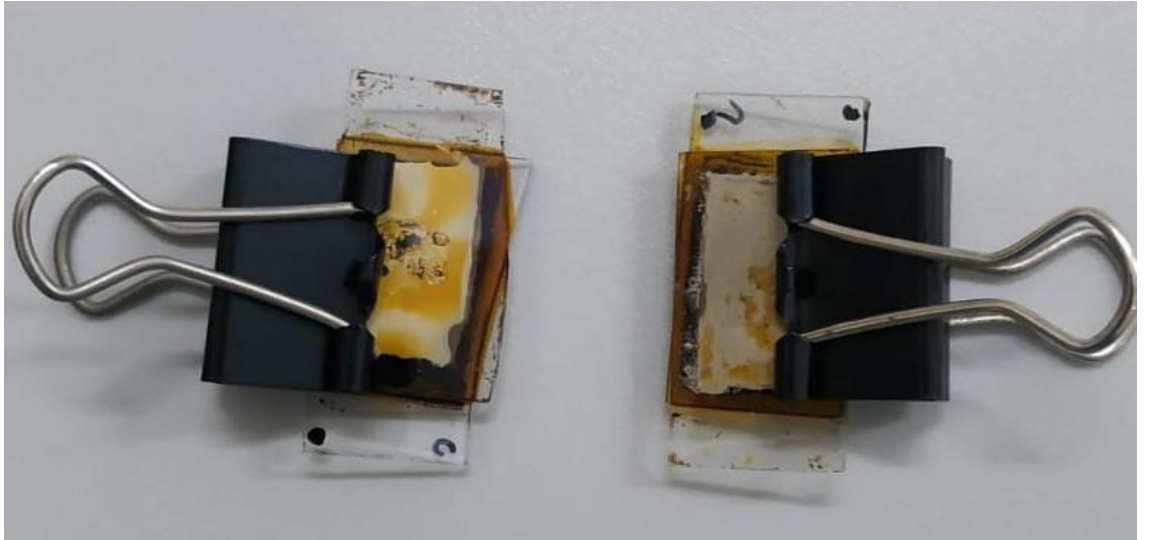
Şekil 18. Çay Kaplı TiO_2 ITO Cam – TiO_2 ITO Cam

İletken camlar fiziksel yakma yöntemi ile karbon (C) kaplama işlemi gerçekleştirildi.



Şekil 19. Karbon (C) Kaplı İletken Camlar

İletken camlara iyodolit sıvı damlatılarak çay kaplı ve çaysız numuneler ayrı ayrı mandallanarak hazır hale getirildi, burada iyodolit iletkenliği sağlamak amacıyla damlatıldı ve iki ayrı film yapısı ile ayrı ayrı mandallayarak çayın etkisi gözlemlenmek istendi.



Şekil 20. TiO_2 ITO Cam – Çay Kaplı TiO_2 ITO Cam

7. SONUÇ

Hesaplamalarda kullanılan formüller:

IviumSoft, modelle deneysel E/I verilerinden ikinci dereceden sapmaların toplamını yinelemeli olarak en aza indirerek Leven-Marquard doğrusal olmayan uydurma yöntemini kullanır. Güneş pili verimi belirli parametreler ile hesaplanır bunlar, kısa devre akımı (I_{sc}), açık devre potansiyeli (V_{oc}), dolum faktörü (FF) ve gelen ışık (I_s) değerlerinden yararlanılarak hesaplanır.

$$(1) I = I_{sc} - AA \times (\exp(BB \times V) - 1) - V/R_p$$

$$(2) V = E + I \times R_s$$

$$(3) \text{Güneş Pili Alanı} = 0,00015 \text{ m}^2$$

$$(4) \text{Yapay Güneş Işığı} = 930 \text{ W/m}^2$$

Kısa Devre akımı; Pil üzerine gerçekleştirilen gerilim sıfır esnasında ($V=0$) belirlenen akıma kısa devre akımı denir. Kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}) ise, kısa devre akımının pilin aktif kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır.

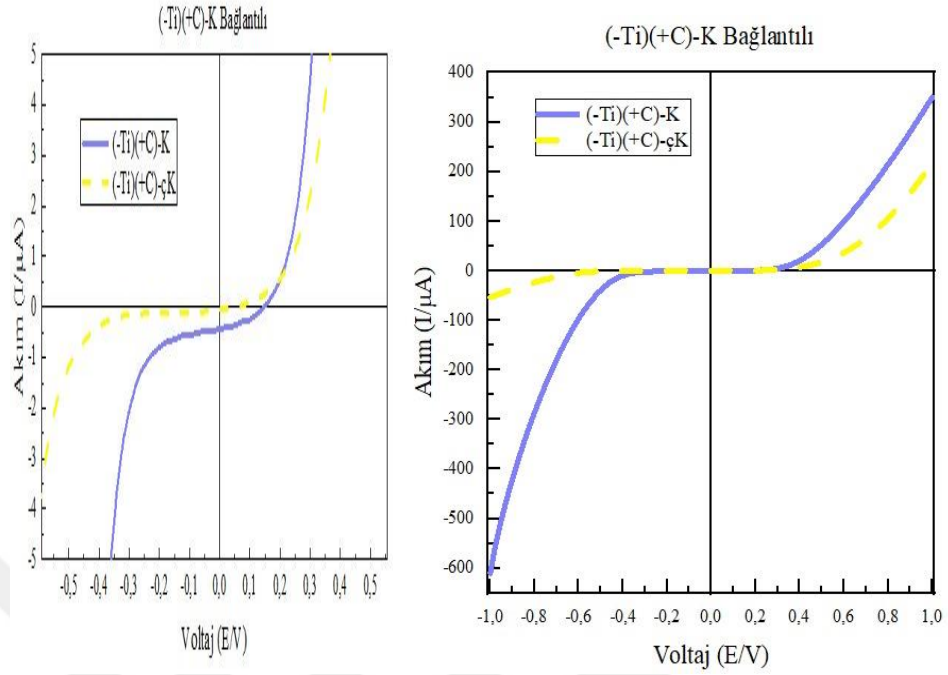
Dolum Faktörü; bir güneş pilinin Akım - Voltaj (I-V) eğrisindeki maksimum güç noktasından belirlenir. Dolum faktörü (FF), bir fotovoltaiik pilin güç kaynağı olarak kalitesinin göstergesidir. Dolum faktörü (FF), 0 ve 1 arasında değerlerdir ve maksimum gücün açık devre potansiyeli ile kısa devre akımının çarpımına oranıdır. Dolum faktörü (FF), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$FF = (I_{mp} \times V_{mp}) \quad (8.1)$$

Açık Devre Gerilimi; Bir güneş pilindeki devre üzerinden hiç akım geçmiyor iken ($I=0$) ölçülen gerilim açık devre gerilimi olarak adlandırılır. V_{oc} , ısıtım şiddetine bağlı bir özelliktir. V_{oc} , DSSC’de sistemde hiç akım geçmiyorken iki elektrotu arasındaki potansiyel farktır.

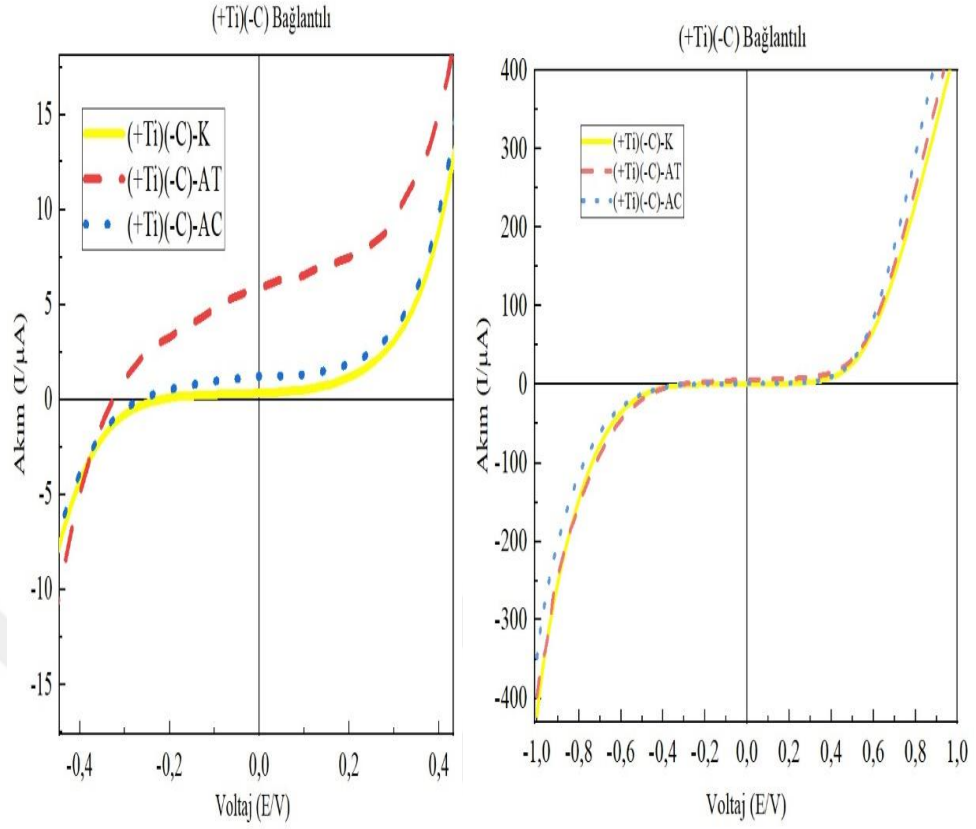
Güç dönüşüm verimi (η), pilde elde edilen maksimum gücün pil yüzeyine gelen ışık şiddetine oranlanarak hesaplanır.

$$\eta (\%) = (J_{sc}(\text{mA/cm}^2) \times V_{oc}(\text{V}) \times FF \times 100) / I_o(\text{mW/cm}^2) \quad (8.2)$$



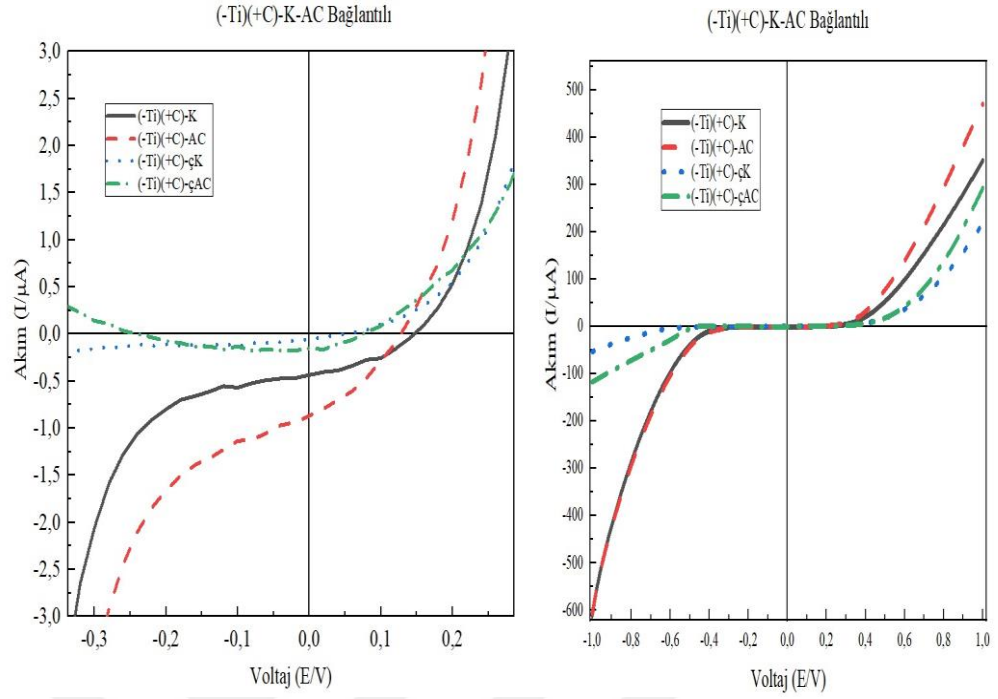
Şekil 21. (-Ti)(+C)-K Bağlantılı Güneş Pili

Şekil 21’de, (-Ti)(+C) (Burada bağlantı şekli doğru besleme bağlantısını ifade etmektedir.) doğru besleme bağlantı özelliği ile bu durum güneş pili özelliği gösterebilmektedir. Bu grafik ile görüldüğü üzere tam bir diyot özelliği göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biride bu güneş pilinde karanlık ortamda bile akış gerçekleşmektedir. Bu güneş pilimizin ömrünü kısaltmaktadır.



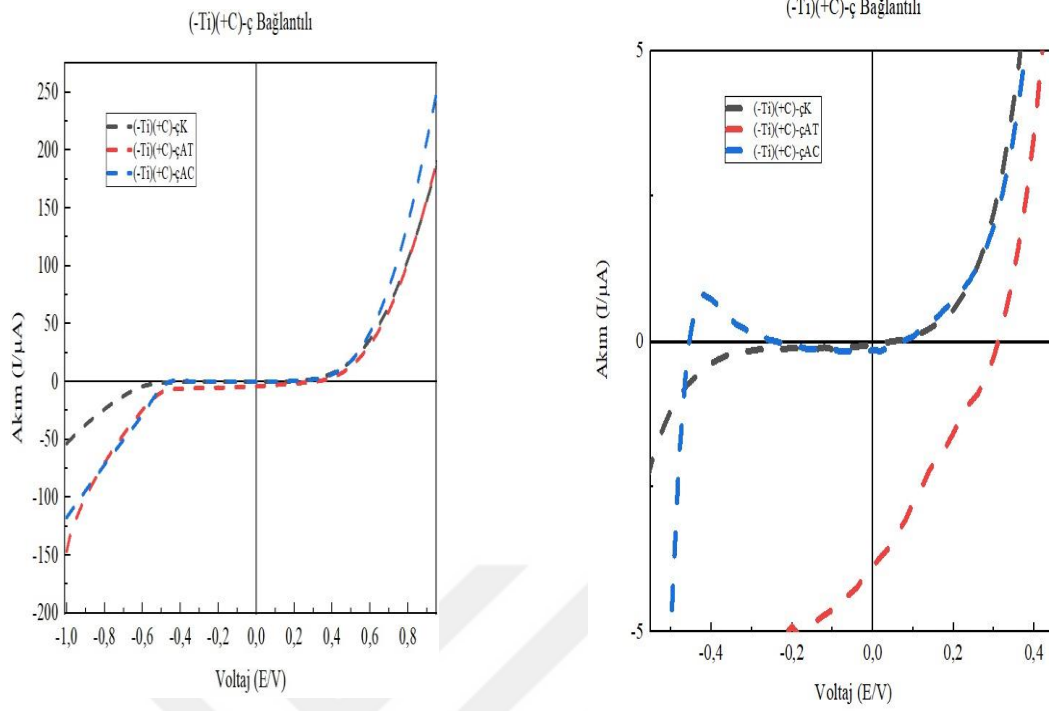
Şekil 22. (+Ti)(-C)-K Bağlantılı Güneş Pili

Şekil 22’de doğru bağlantı yapılmış (+Ti)-çK çay kaplı güneş pili ile (+Ti)-K güneş pili grafiği görülmektedir. Grafikte (+Ti)-K güneş pili karanlık ortamda olmasına rağmen akım geçişi gözükmemektedir. Burada istenen karanlık ortamda güneş pilinden akım geçişi olmamasıdır. (+Ti)-çK çay kaplı güneş pili karanlık tam istenen özelliği yakalayarak neredeyse 0 (sıfır) kabul edilecek kadar az bir akım geçmektedir. Çay burada güneş piline dengede davranma özelliği kazandırdığı gözlemlenmektedir.



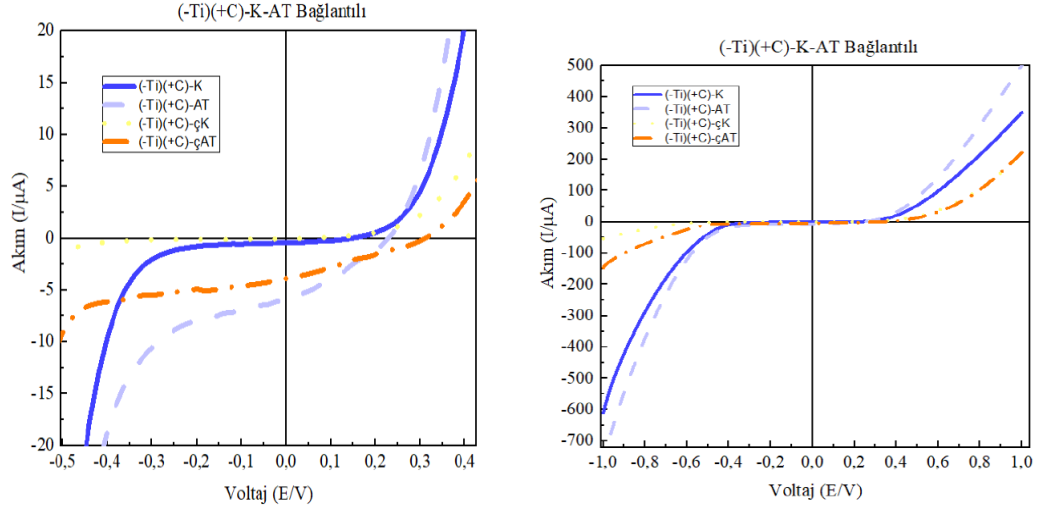
Şekil 23. (-Ti)(+C)-K-AC Bağlantılı Güneş Pili

Şekil 23'te (+C)-AC karbon tarafı aydınlatılmış güneş pilinde, bu pilin arka kısmı olduğu için ışık vurduğunda akım oluşması elektrik üretemeyip akım oluşursa pilin ömrünü tüketir. Bu duruma örnek uzay endüstrisinde ışığı panelin arka kısmından vurması sonucu akım oluşması verilebilir. (+C)-çAC, çay kaplı karbon tarafı aydınlatılmış güneş pilinde ise aydınlatılmasına rağmen denge durumu söz konusu olmuştur. Bu kısım panelin alt kısmı olacağı için tam istenen durum gerçekleşmiştir. Çay boyası ile pilin bu kısmında da istenilen denge sağlanmıştır.



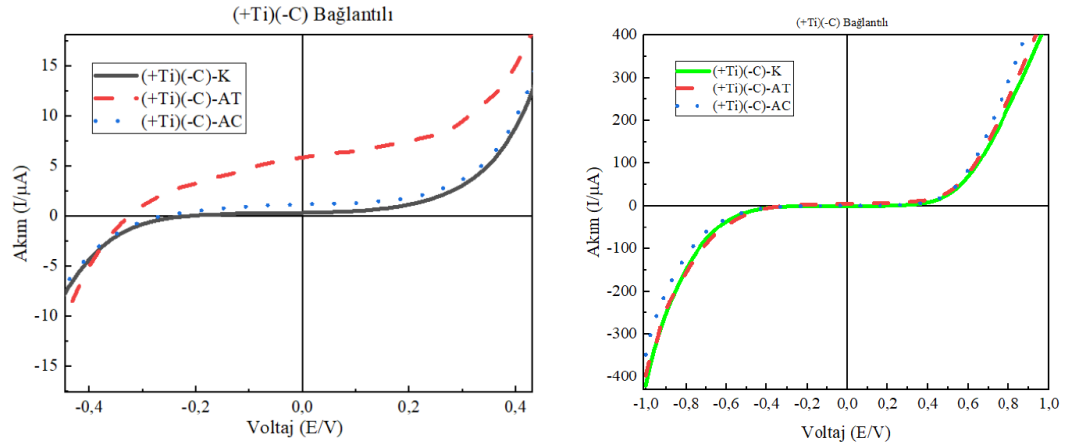
Şekil 24. (-Ti)(+C)-Ç Bağlantılı Güneş Pili

Şekil 24'te Çay kaplı güneş pili grafiğini görüyoruz. Burada ((-Ti)(+C)-Ç) grafiği ile Titanyum tarafından aydınlatılmış pilde istenilen güneş pili özelliğini göstermektedir. (Ç), grafiğinde de karanlık ortamda güneş pilinin çayın özelliğinden dolayı pilin dengeli davranıp herhangi bir akım akmamayı sağlayıp böylece pilin ömrünün uzamasını sağlayabilme özelliği gözlemelenebilir.



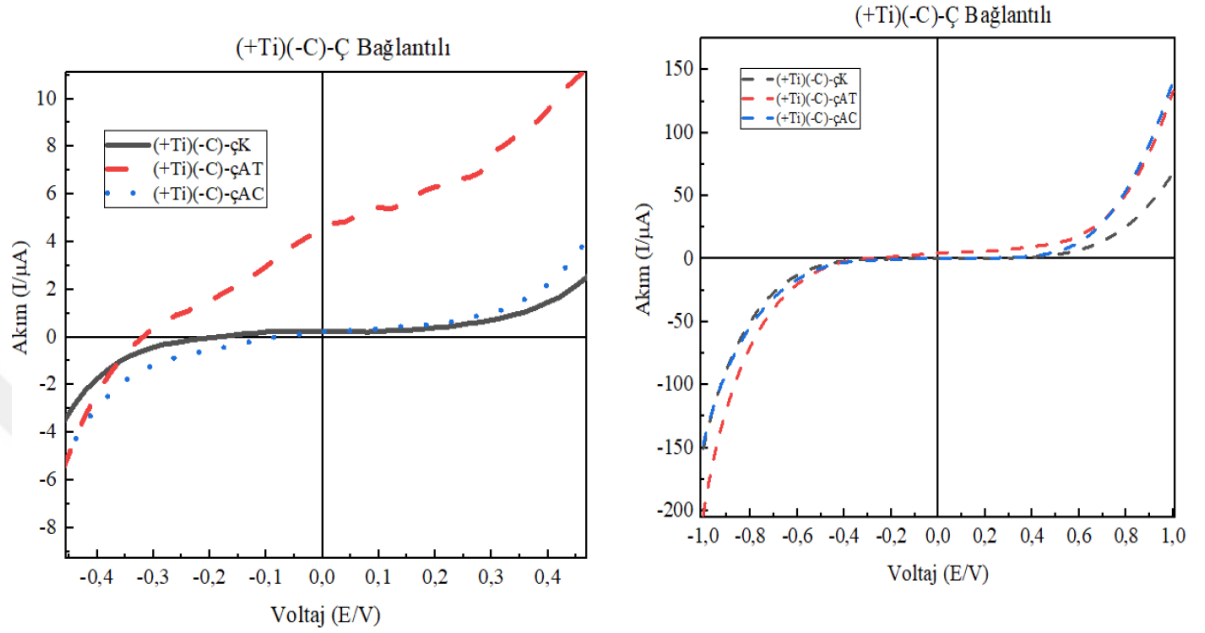
Şekil 25. (-Ti)(+C)-K-AT Bağlantılı Güneş Pili

Şekil 25’da ((-Ti)(+C)-K-AT) grafiğinde, aydınlatılmış titanyum yüzey güneş pilinde yüksek kısa devre gerilimi ve yüksek açık devre voltaj değerleri görülmektedir. Bunlar bir pil yapısında istenen bir durum değildir. (çAT), çay kaplı titanyum güneş pilinde ise daha düşük kısa devre akımı ile düşük açık devre gerilimi görülmektedir. Burada çay boyasının güneş pili daha dengeli bir pil haline getirdiği görülmektedir.



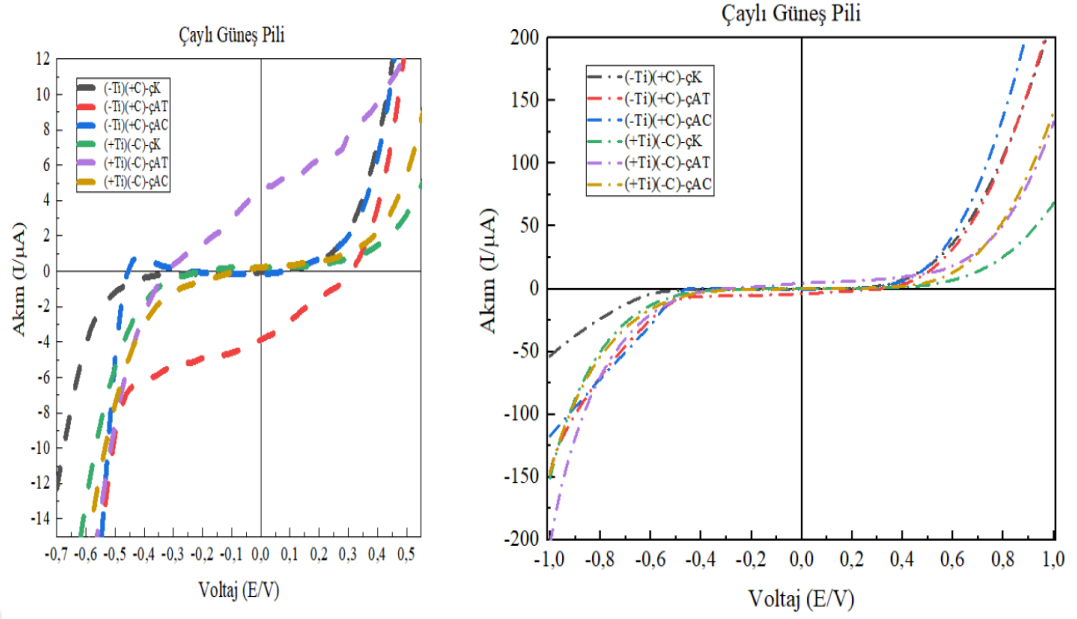
Şekil 26. (+Ti)(-C) Bağlantılı Güneş Pili

Şekil 26’de ters bağlı bir pil görülmektedir. Bu pil grafiğinde karanlık tarafında olması gerektiği gibi sıfıra yakın bir akım geçmektedir. Aydınlık taraf (AT) kısmında normal bir güneş pili özelliği göstermektedir.

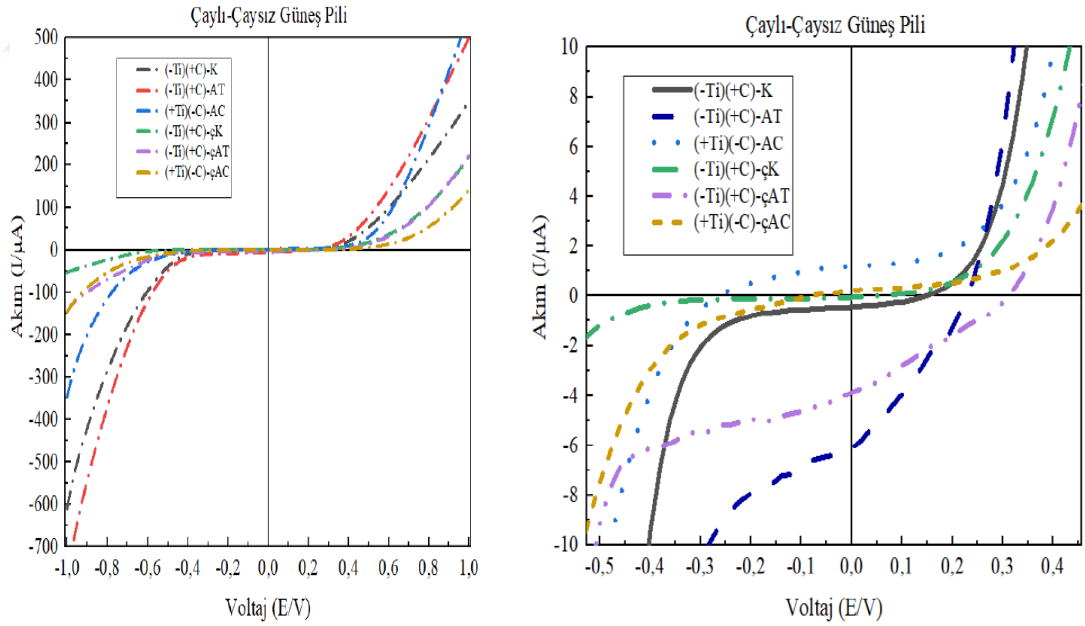


Şekil 27. (+Ti)(-C)-Ç Bağlantılı Güneş Pili

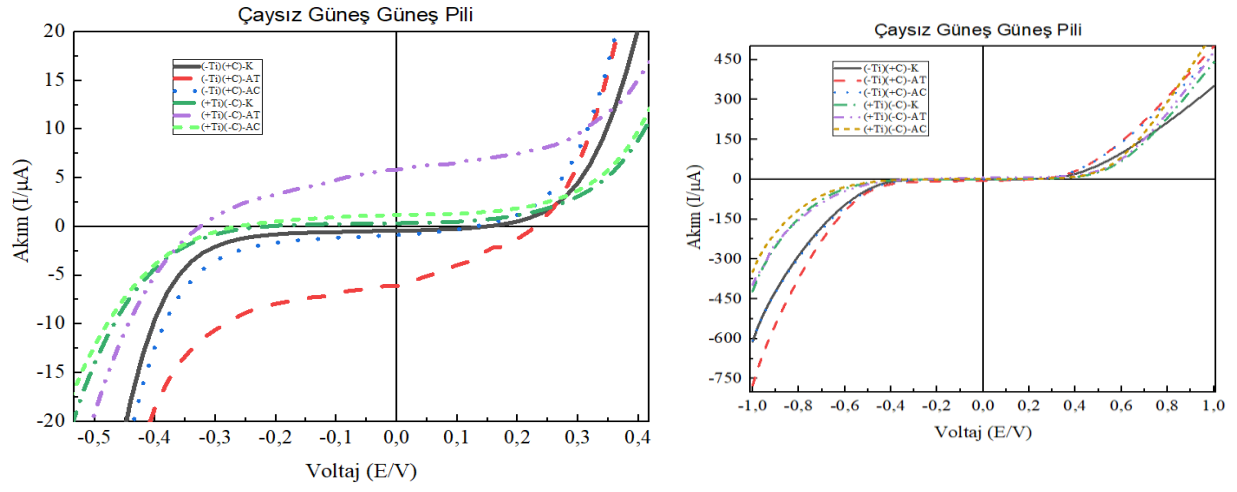
Şekil 27’de çay kaplı bir grafiği görülmektedir. Burada aydınlık taraf (çAT) bir güneş pili özelliği göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken durum bu güneş pilinde normal bir güneş pilinden farklı olarak karanlık ortamda (çK) akım geçişi fazla olmasına rağmen, çaylı güneş pilinde neredeyse sıfır akım geçmektedir. Bu güneş pilinin daha uzun ömürlü olmasını sağlayabilen bir özellik olabilir.



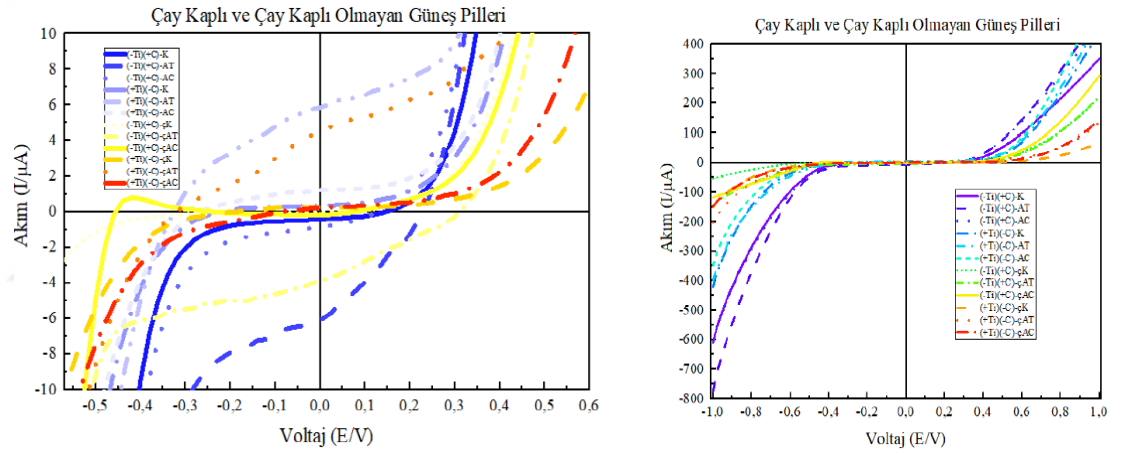
Şekil 28. Çay Kaplı Güneş Pili



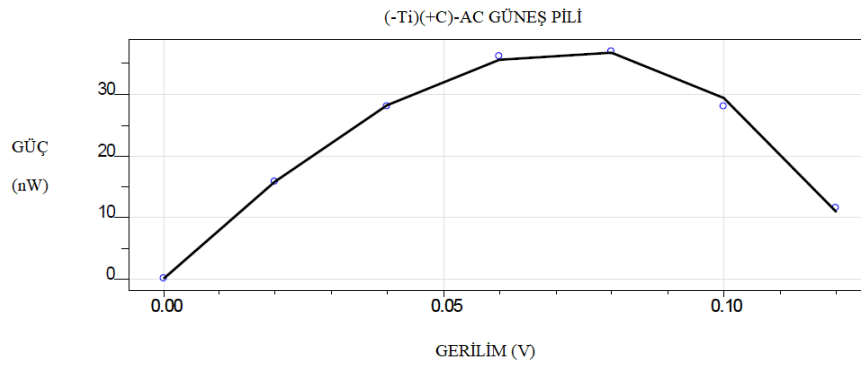
Şekil 29. Çaylı-Çaysız Güneş Pili



Şekil 30. Çaysız Güneş Pili



Şekil 31. Çay Kaplı ve Çay Kaplı Olmayan Güneş Pilleri

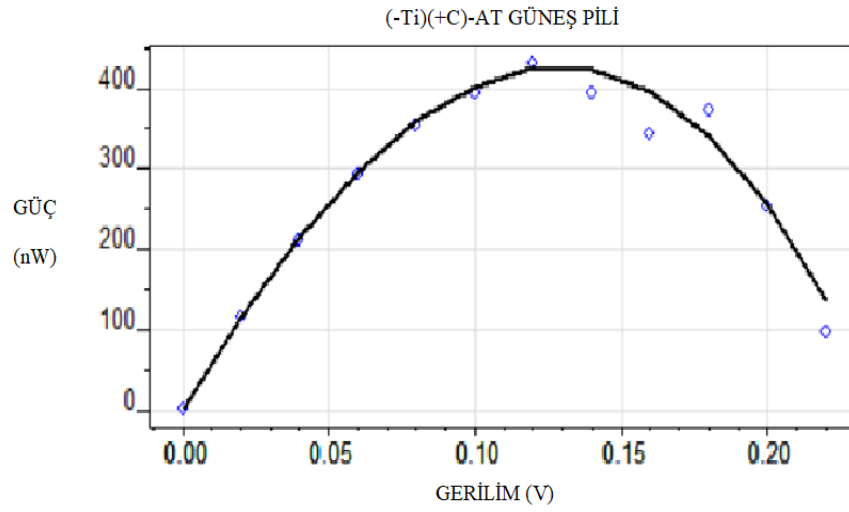


Şekil 32. (-Ti)(+C)-AC Güneş Pili Güç-Gerilim

Tablo 1. (-Ti)(+C)-AC Güneş Pili Güç-Gerilim Ölçüm Değerleri

I_{sc}	$8.673E^{-7}$ A
J_{sc}	$5.782E^{-3}$ A/m ²
E_{oc}	0.1279 V
$E(P_{max})$	0.0732 V
P_{max}	$3.724E^{-8}$ W
AA	$3.227E^{-7}$ A
BB	10.2059 V ⁻¹
FF	$3.359E^{-1}$
CE	$2.670E^{-7}$
η	$4,00E^{-8}$

Tablo 1’de Karbon tarafından aydınlatılmış(AC) güneş pili değerleri görülmektedir. Bu güneş pilinin altta kalan kısmı olduğu için değerler normaldir.

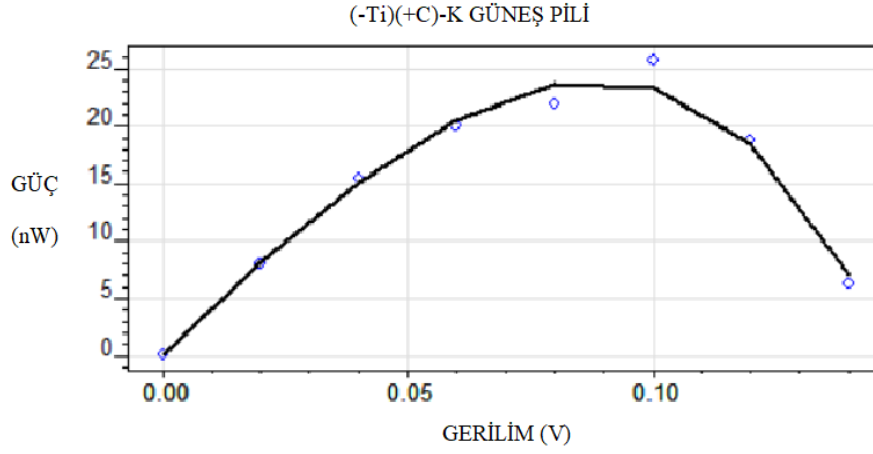


Şekil 33. (-Ti)(+C)-AT Güneş Pili Güç-Gerilim

Tablo 2. (-Ti)(+C)-AT Güneş Pili Güç-Gerilim Ölçüm Değerleri

I_{sc}	$6.040 \text{ E}^{-06} \text{ A}$
J_{sc}	$4.026 \text{ E}^{-02} \text{ A/m}^2$
E_{oc}	0.2330 V
$E(P_{max})$	0.1276 V
P_{max}	$4.230 \text{ E}^{-07} \text{ W}$
AA	$5.114 \text{ E}^{-06} \text{ A}$
BB	3.3475 V^{-1}
FF	3.006 E^{-01}
CE	3.032 E^{-06}
η	$4,55\text{E}^{-07}$

Tablo 2’de Titanyum tarafından aydınlatılmış(AT) bir güneş pili görülmektedir. Değerler normal bir güneş pili verimindedir.

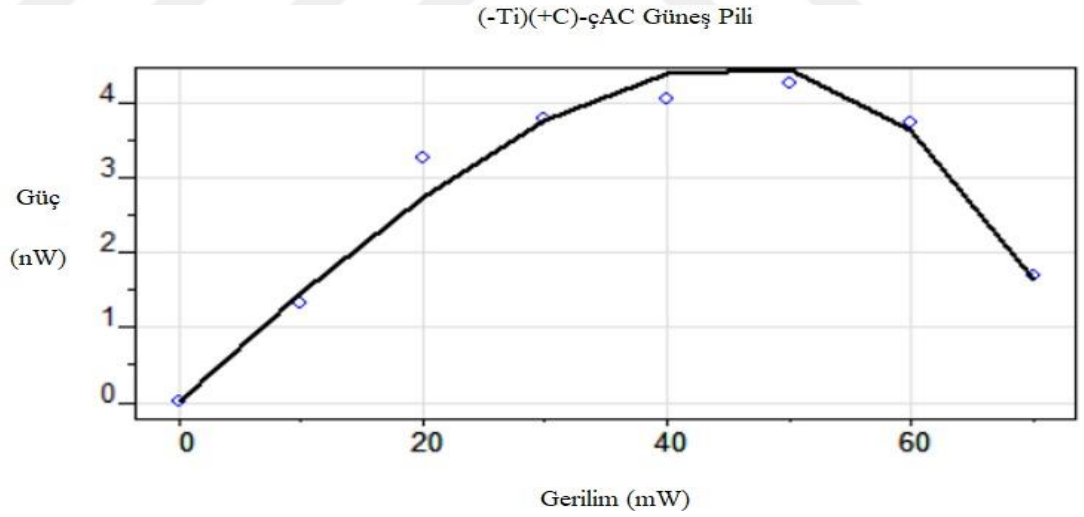


Şekil 34. (-Ti)(+C)-K Güneş Pili

Tablo 3. (-Ti)(+C)-K Güneş Pili Değerleri

I_{sc}	$4.291E^{-07}$ A
J_{sc}	$2.861E^{-03}$ A/m ²
E_{oc}	0.1480 V
$E(P_{max})$	0.0889 V
P_{max}	$2.399E^{-08}$ W
AA	$7.268E^{-08}$ A
BB	13.0532 V ⁻¹
FF	$3.777E^{-01}$
CE	$1.720E^{-07}$
η	2,58E-08

Tablo 3 Karanlık taraftan aydınlatılmış (K) doğru bağlanmış güneş pilidir. Karanlık güneş pilleri ile aynı karakteristik özellikleri göstermektedir.

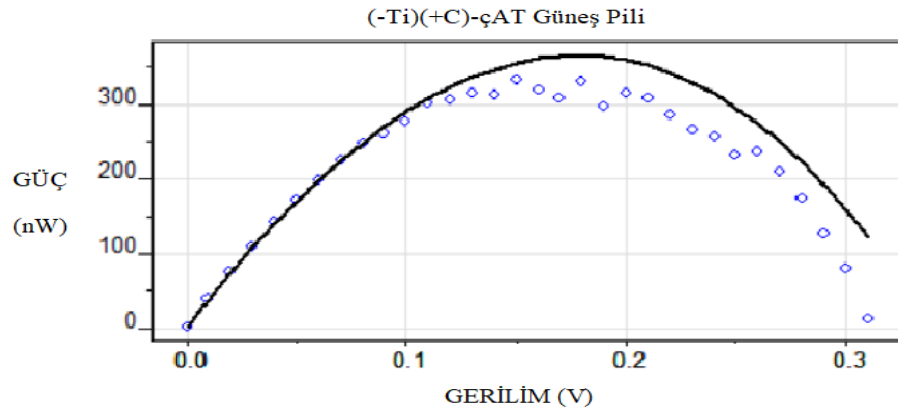


Şekil 35. (-Ti)(+C)-çAC Güneş Pili

Tablo 4. (-Ti)(+C)-çAC Güneş Pili Değerleri

I_{sc}	$1.528 \text{ E}^{-07} \text{ A}$
J_{sc}	$1.018 \text{ E}^{-03} \text{ A/m}^2$
E_{oc}	0.0750 V
$E(P_{max})$	0.0458 V
P_{max}	$4.501 \text{ E}^{-09} \text{ W}$
AA	$1.986 \text{ E}^{-08} \text{ A}$
BB	28.8274 V^{-1}
FF	3.927 E^{-01}
CE	3.226 E^{-08}
η	$4,84\text{E}-09$

Tablo 4'te Karbon tarafından aydınlatılmış (çAC) çaylı güneş pili değerleri gösterilmektedir.

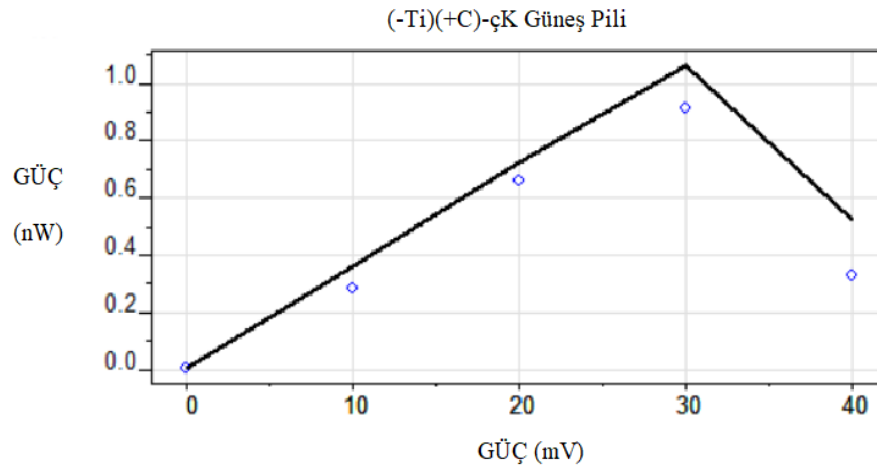


Şekil 36. (-Ti)(+C)-çAT Güneş Pili

Tablo 5. (-Ti)(+C)-çAT Güneş Pili Değerleri

I_{sc}	$3.829 \text{ E}^{-06} \text{ A}$
J_{sc}	$2.552 \text{ E}^{-02} \text{ A/m}^2$
E_{oc}	0.3122 V
$E(P_{max})$	0.1659 V
P_{max}	$3.422 \text{ E}^{-07} \text{ W}$
AA	$5.063 \text{ E}^{-06} \text{ A}$
BB	1.8038 V^{-1}
FF	2.862 E^{-01}
CE	2.453 E^{-06}
η	$3,68\text{E-}07$

Tablo 5'te çay kaplı titanyum tarafından aydınlatılmış güneş pili görülmektedir. Bu güneş pili organik boya duyarlı güneş pilleri gibidir. Verimi çok yüksek değil fakat gelecek vaat eden bir güneş pili türüdür.



Şekil 37. (-Ti)(+C)-çK Güneş Pili

Tablo 6. (-Ti)(+C)-çK Güneş Pili Değerleri

I_{sc}	$3.626E^{-08}$ A
J_{sc}	$2.417E^{-04}$ A/m ²
E_{oc}	0.0407 V
$E(P_{max})$	0.0334 V
P_{max}	$1.111E^{-09}$ W
AA	$3.542E^{-14}$ A
BB	339.6339 V ⁻¹
FF	$7.521E^{-01}$
CE	$7.966E^{-09}$
η	$1,19E^{-09}$

Tablo 6’da çay kaplı karanlık güneş pili değerleri gözükmemektedir. Karanlık ortamdaki bir güneş pili özelliği göstermemektedir. Burada farklı olarak dikkat edilmesi gereken husus normal bir güneş pilinden farklı olarak çay ile kaplı güneş pili karanlık ortamda neredeyse sıfıra yakın akım geçmektedir.

7.1. Öneriler

Bu çalışma ile çay ile kaplanın bir güneş pilinin verilerini göstermiş olduk. Çalışma sonucunda güneş pillerinde kullanılan çay boyası ile normal güneş pillerinden farklı olarak karanlık ortamda daha stabil olarak davrandığı ortaya çıkmıştır. Bu çay boyalı güneş pilleri ticarileşebilir verimlere ulaşabildiğinde diğer pillerden daha uzun ömürlü olma durumu söz konusudur. Ayrıca arka yüzeyine de herhangi bir yansıma ile pilin çay sayesinde arka yüzeye zeminden yansıyan ışığı geçirme miktarını ciddi oranda azalttığını gözlemleyebiliriz. Bu durumda pil özelliğini daha verimli olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada son yıllarda gelişmekte olan organik boya duyarlı güneş pili olan, çay ile boya duyarlı güneş pili incelenmiştir. Çalışma daha farklı sonuçlar alabilmek adına kullandığımız yöntemlerden bazıları değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilebilir.

Örneğin:

- Çayın demleme zamanı arttırılıp-azaltılabilir.
- Çayın konsantre miktarı değıştirilebilir.
- Çayın demlendikten sonra bekleme süresi değıştirilebilir.
- Çayın kaplama yöntemi değıştirilebilir.
- Çay ile birlikte bir başka boyar madde kullanılabilir.



KAYNAKÇA

- Alpaslan, Z. (2009). Bazı İletken Polimerlerin Güneş Pili Uygulamaları. İzmit, Türkiye: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Altaş, D. D. (1998). Fotovoltaj Güneş Pilleri : Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 66-71.
- Anlı, S. T. (2019, Mayıs). Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) Metodu ile Kalay Oksit (SnO₂) Filmlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi. İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı.
- Ardağ, Y. (2012, Haziran). *Güneş Pili Karakteristiklerinin İncelenmesi*. Denizli, Türkiye: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı.
- Ardağ, Y. (2012, Haziran). Güneş Pili Karakteristiklerinin İncelenmesi. Denizli, Türkiye: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Aslan, A. (2020, Eylül). Yarı İletkenlerde Termomanyetik Etkinin İncelenmesi. *Doktora Tezi*. Tokat, Türkiye: Tokat Gazi Osmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atılğan, İ. (2000). Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Bakış. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31-47.
- Auwal Abdulkadir, A. A. (2020). Properties of İndium Tin Oxide On Black Silicon After Post-Deposition Annealing for Heterojunction Solar Cell. *Elsevier*, 1-5.
- Çolak, H. (2010, Nisan). Değişik Metal Katkılı II-VI Tipi Yarı İletkenlerin Sentezlenmesi, Karakterizasyonu ve Elektriksel İletkenliklerinin Ölçülmesi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim, Dalı Doktora Tezi.
- Esen, K. (2017). Sol-Jel Yöntemi İle ZrO₂ İnce Film Üretimi Ve Yapısal Olarak İncelenmesi. Isparta, Türkiye: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Görmez, A. E. (2020, Eylül). Cds/Cdte Güneş Hücrelerinde MoS₂ İnce Filminin Ara Tabaka Olarak Kullanılması Ve Etkisi. Erzurum, Türkiye: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

- Hacıoğlu, Ş. Ö. (2016, Eylül). Syntheses Of New Multifunctional Donor Acceptor Type Polymers For Electrochromic And Organic Solar Cell Applications. Ankara, Türkiye: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Anabilimdalı, Doktora Tezi.
- Het, G. B. (2020). Organik Boya Duyarlı Güneş Pilleri Üzerine Yapılan Bir Araştırma. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 1-6.
- J. Ajayan, D. N. (2020). A Review Of Photovoltaic Performance Of Organic/İnorganic Solar Cells For Future Renewable And Sustainable Energy Technologies. *Elsevier*, 1-43.
- Kahyaoğlu, A. (2021). Klorofil İle Organik Güneş Pili Üretimi ve Verimliliğin Artırılması. Karabük, Türkiye: Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Karamanav, M. (2007, Mayıs). Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Öztürk, A. (2012, Temmuz). Monokristal ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi. Tunceli: Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Safi, Y. (2018). Çay Atıklarından Yararlanarak Çay Özütü Miktarının Arttırılması. Rize, Türkiye: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Sajjad, S. (2012). Organik Tabanlı Güneş Pili Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 66, 37–39.
- Suresh Kumar Garlapati, M. D. (2018). Printed Electronics Based on İnorganic Semiconductors: From Processes and Materials to Devices. *Advanced Materials*, 1-55.
- Tappei Nishihara, H. K. (2021). Evaluation of Correlation Between Fill Factor and High Mobility Transparent Conductive Oxide Film Deposition Temperature İn The Silicon Heterojunction Solar Cell. *Elsevier*, 1-5.
- Tekin, B. (2011). Katkılı Yarı İtken Alaşımların Yapısal Analizlerinin Karakterizasyonu . İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Türküz, S. (2010, Ekim). İndiyum Kalay Oksit İnce Filmlerin Optoelektronik Özelliklerinin İyileştirilmesi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ünlü, N. A. (2015, Eylül). Development Of P And N Type Conjugated Polymers For Electrochromic And Organic Solar Cell Applications. Ankara, Türkiye: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Anabilimdalı, Doktora Tezi.

- Ürper, O. (2014, Haziran). Tek Duvarlı Karbon Nanotüplerin Organik Güneş Pillerinde Elektrot Malzemesi Olarak Kullanılması . İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Yılmaz, O. (2014). A-SiO_x:H ve Kristal Silisyumdan (C-Si) Oluşan A-SiO_x:H/C-Si Heteroeklem Güneş Pillerinin Fabrikasyonu Ve Karakterizasyonu. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

