



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PEROVSKİT GÜNEŞ HÜCRELERİNDE
KALİKSAREN MOLEKÜL TEMELLİ
KENDİLİĞİNDEN OLUŞAN TEK TABAKA
ARAYÜZEY MODİFİKASYONUNUN
PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ**

Gamze DÖLEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Gamze DÖLEK tarafından hazırlanan “Perovskit Güneş Hücrelerinde Kaliksaren Molekül Temelli Kendiliğinden Oluşan Tek Tabaka Arayüzey Modifikasyonunun Performans Üzerine Etkileri” adlı tez çalışması 27/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

Üye

Unvanı Adı SOYADI

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 201016030 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Gamze DÖLEK

Tarih: 12.08.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PEROVSKİT GÜNEŞ HÜCRELERİNDE KALİKSAREN VE BODIPY MOLEKÜL TEMELLİ KENDİLİĞİNDEN OLUŞAN TEK TABAKA ARAYÜZEY MODİFİKASYONUNUN PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ

Gamze DÖLEK

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mahmut KUŞ

2020, 57 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. Mahmut KUŞ
Doç. Dr. Faruk ÖZEL
Dr. Öğr. Üyesi Çisem KIRBIYIK**

Perovskite güneş pilleri (PSC'ler), yüksek verimlilik, düşük maliyet vb. gibi dikkat çekici özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Bu teknolojiye ticarileşmenin sağlanabilmesi için aşılması gereken sorunlar bulunmaktadır. En önemli sorunlar kararlılık ve tekrarlanabilirlik olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle arayüzey çalışmaları bu sorunların çözülmesi açısından önem arz etmektedir. Arayüzey çalışmalarında kendiliğinden oluşan tek tabaka (SAM) tekniği en yaygın kullanılan ve fayda sağlayan metodlardan biridir. SAM tekniğine dayanan arayüz modifikasyonunun perovskite güneş pillerinin performansını artırmak için yüzey kimyası üzerinde önemli etkisi vardır.

Bu çalışmada, perovskit güneş pillerini iyileştirmek için kaliksaren tabanlı SAM'ların fotovoltaiik cihaz performansını araştırdık. ITO / SAM / PEDOT: PSS / Perovskite / PCBM / Al konfigürasyonu ile ITO kaplı ve FTO / TiO₂ substratlarında modifiye edilmiş kaliksaren bazlı SAM'lar kullanılmıştır. Modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş ITO yüzeyinin yüzey özelliklerini belirlemek için AFM ve SEM cihazları kullanılmıştır. Sonuçlar, ITO yüzeyinin Kaliksaren türüne ve arayüzey modifikasyonu tekniğine bağlı olarak modifiye edilmesinden sonra fotovoltaiik cihaz parametrelerinin iyileştirildiğini göstermektedir. Bu çalışma sonucunda hem arayüzey modifikasyonunun önemi hem de SAM molekülünün yapısının verim üzerine etkilerinin önemi gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş hücresi, kaliksaren, perovskit güneş hücresi, SAM

ABSTRACT

MS THESIS

THE INFLUENCES OF CALIXARENE MOLECULE BASED SELF-ASSEMBLED MONOLAYER INTERFACE MODIFICATION ON PEROVSKITE SOLAR CELLS

Gamze DÖLEK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Chemical Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Mahmut KUŞ

2020, 57 Pages

**Jury
Prof. Dr. Mahmut KUŞ
Assoc.Prof.Dr. Faruk ÖZEL
Asst.Prof.Dr. Çisem KIRBIYIK**

Perovskite solar cells (PSCs) have been a great attention due to its remarkable properties such as high efficiency, low cost, so on. But there is still some problems must be solved in front commercialization of this technology. The most important problems for his technology can be defined to be stability and reproducibility. Especially interface engineering is very important for solving those problems. Among interface engineering techniques, self assembled monolayer (SAM) is commonly used and facile method for such applications. SAM technique is one of the most preferred method owing to its important effect on surface chemistry to improve the performance of perovskite solar cells.

In this study, we investigated the use of calixarene based SAMs to improve photovoltaic device performance perovskite solar cells. Calixarene based SAMs modified on to ITO-coated substrates with a configuration of Glass/ITO/SAM/PEDOT:PSS/Perovskite/PCBM/Al and also compact TiO₂ coated normal geometry perovskite solar cells were investigated. In order to determine surface properties of non-modified and modified ITO surface, AFM and SEM were performed. The results show improved solar cell performance depending on interface modification technique and also molecular structure of SAM molecule. This work presented the importance of interface modification and beside the importance of molecular structure of SAM molecule to improve the performance of perovskite solar cells.

Keywords: Calixaren, Perovskite solar cell (PSC), Self-Assembled, Solar cell

ÖNSÖZ

Lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, başarıya ulaşmam için sabırla ve hoşgörüsüyle her zaman yanımda olup bana destek veren çok değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Mahmut KUŞ' a şükran ve saygılarımı sunar ve teşekkürü bir borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarım benden hiçbir yardımı esirgemeyen, bilgilerini benimle paylaşan ve beni her konuda yönlendirerek her zaman destek olan ikinci hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Esmâ YENEL'e her zaman yanımda olduğu için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım boyunca bana her konuda yardımcı olarak çalışmalarına destek olan hocalarım sayın Dr. Öğr. Üyesi Çisem KIRBIYIK, sayın Öğr. Gör. Dr. Tuğbahan YILMAZ ve Öğr. Gör. Sümeyra BÜYÜKÇELEBİ' ye emeklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Altyapı imkanlarından yararlandığım Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama merkezine teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince sağladıkları imkanlar için, Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ve 2210-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurtiçi Yüksek Lisans Burs Programı bursuyla maddi desteğinden yararlandığım TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, her konuda yanımda olarak bana bu zorlu süreçte her zaman destek olan en başta biricik abim Hamza DÖLEK'e, sevgili annem ve babam, Güner ve Süleyman DÖLEK'e, bana her zaman babalık yapan amcam Yılmaz DÖLEK'e, dualarını hiçbir zaman eksik etmeyen babaannem Yurdağül DÖLEK'e ve beni her zaman enerjileri ile mutlu eden ikiz yeğenlerim Çınar ve Toprak'a çok minnettarım. İyi ki varsınız

Son olarak benim her zaman eğitim hayatımda başarılı olmamı dileyen rahmetli anneannem ve dedem bu çalışmamı size atfediyorum, huzurla uyuyun.

Gamze DÖLEK
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Hücrelerinin Tarihsel Gelişimi	2
1.1.1. Birinci Nesil Güneş Hücreleri	3
1.1.2. İkinci Nesil Güneş Hücreleri.....	4
1.1.3. Üçüncü Nesil Güneş Hücreleri.....	4
1.1.4. Dördüncü Nesil Güneş Hücreleri	4
1.2. Güneş Hücrelerinden Kullanılan Sistemler	5
1.3. Güneş Hücrelerinin Temel Yapısı ve Çalışma Prensibi	5
1.4. Perovskit Güneş Hücreleri	6
1.5. Güneş Hücrelerinde Kendiliğinden Monte Olabilen Tek Tabakalar (SAM).....	10
1.6. Kaliksarenler	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
2.1. Kendiliğinden Monte Olabilen Tek Tabakalar (SAM).....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Deney Çalışmalarında Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar	15
3.2. Deneysel Çalışmalar	16
3.2.1. Florlanmış Kalay Oksit (FTO) ve İndiyum Kalay Oksit (İTO) Kaplı Cam Kullanılarak Hazırlanan Güneş Hücreleri.....	16
3.2.1.1. Cam yüzeylerinin hazırlanması	16
3.2.1.2. Yoğun TiO ₂ tabakası üzerine kaliksaren kaplanması.....	18

3.2.1.3. Kaliksarenlerin kaplanması.....	19
3.2.1.4. Elektron transfer tabakasının hazırlanması.....	19
3.2.1.5. Perovskit katmanının hazırlanması.....	19
3.2.1.6. Boşluk transfer tabakasının hazırlanması	20
3.2.1.7. Elektrotların kaplanması	21
3.2.1.8. Ölçümler	22
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	23
4.1.Perovskit Film Yüzeylerinin İncelenmesi (SEM ve AFM)	23
4.2. Perovskit Güneş Hücresi Sonuçları	29
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	38
5.1 Sonuçlar	38
5.2 Öneriler	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	: Santigrat derece
µm	: Mikrometre
cm ²	: Santimetrekare
eV	: Elektron volt
mg	: Miligram
mL	: Mililitre

Kısaltmalar

ABX ₃	: Perovskit yapısı
ACN	: Asetonitril
AFM	: Atomik kuvvet mikroskobu
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
C ₄	: Kaliksaren
CH ₃ NH ₃ I, MAI	: Metil amonyum iyodür
DMF	: Dimetilformamit
DMSO	: Dimetil sülfüroksit
FF	: Doyma faktörü (Fill Factor)
FTO	: Florlanmış Kalay Oksit
GBL	: Gama bturolakton
HTM	: Boşluk iletim malzemesi
ITO	: İndiyum kalay oksit
I-V	: Akım-Voltaj
J _{sc}	: Kısa devre akımı
LED	: Işık yayan diyotlar
MA	: Metilamin
P3HT	: Poli(3hekziltiyofen-2,5-diil
PbI ₂	: Kurşun iyodür
PCBM	: 6,6-fenil C ₆₁ bütirik asit metil ester,
PEDOT	: Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)

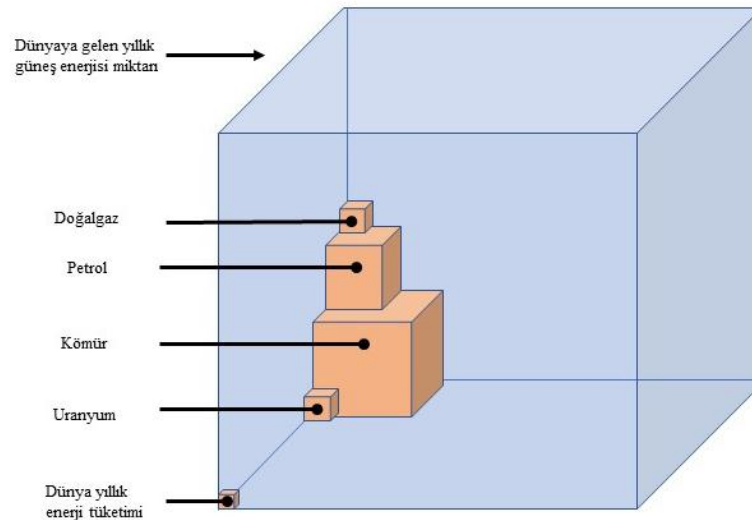
PSC	: Perovskit güneş hücresi
PSS	: Poly(styrenesulfonate
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
SAM	: Kendiliğinden monte olabilen tek tabakalar
sec-but	: Sekonder bütanol
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SnO ₂	: Kalay oksit
TiO ₂	: Titanyum (IV) izopropoksit
UV	: Ultra viyole
Voc	: Açık devre voltajı
ZnO	: Çinko oksit

1. GİRİŞ

Dünyadaki bütün canlılar için en önemli ihtiyaçlardan biri olan enerji, özellikle insanın yaşam kalitesinin artması enerji kaynakları ile doğrudan ilişkilidir. Ancak fosil yakıtlarının azalması, endüstrileşme, enerji tüketim hızının artması ile yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarından uzaklaşmaya başlanmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmıştır. Yenilenebilir olmayan enerji kaynağı olan fosil yakıt kaynaklarının üretimi çok uzun yıllar sürdüğü gibi çevreye de büyük ölçüde zarar vermektedir. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir avantaj olarak görünmektedir. Bu kaynakların en başında, dünya yaşamının da en büyük enerji kaynağı olan, temiz ve çok miktarda enerji elde edebileceğimizin “Güneş” gelmektedir.

2016 yılında dünyadaki enerji kaynaklarının %85,5’i doğalgaz, petrol ve kömür gibi fosil kaynaklardır. 2016 yılındaki bilgilere göre; petrol dünyadaki enerji tüketiminde %33,3’lük bir dilime sahipken kömür %28,1, doğalgaz %24,1, hidrolik enerji %6,9, nükleer enerji %4,5 ve yenilenebilir enerjiler ise %3,2 olarak devam etmektedir (Koç ve ark., 2018).

Güneş enerjisi, diğer kaynaklar ile kıyaslandığında sahip olduğu potansiyel açısından önde gelmektedir. Güneşten dünyaya gelen yıllık enerji miktarı diğer tüm enerji rezervlerinden daha fazladır. Güneş enerjisinin potansiyeli ile dünyadaki diğer enerji rezervlerinin potansiyeli Şekil 1.1.’de kıyaslanmıştır (Çoşkun, 2016).



Şekil 1.1. Dünyaya ulaşan yıllık Güneş enerjisinin Dünyadaki diğer enerji rezervleri ile karşılaştırılması

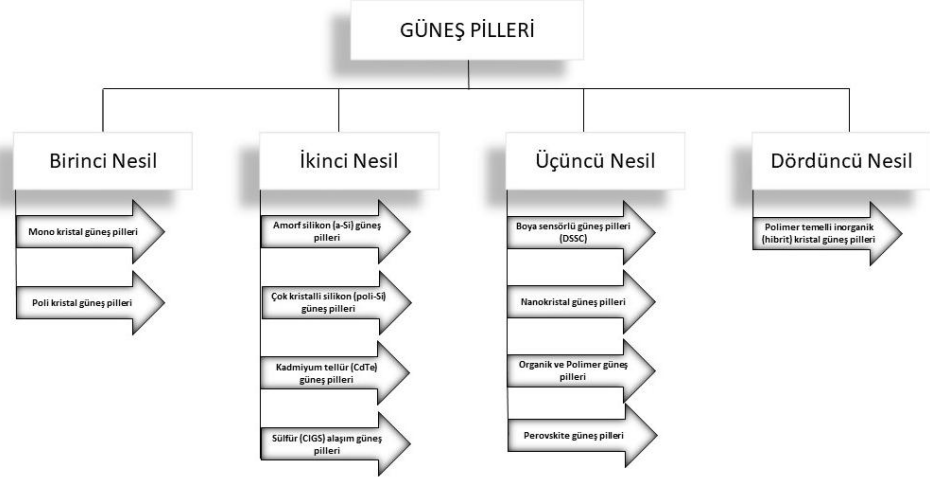
Güneşten dünyaya ulaşan enerji miktarı oldukça fazla olmasına rağmen doğrudan enerji kaynağı olarak kullanmak yeni gelişmekte olan bir teknolojidir. Bunun başlıca sebebi güneşten gelen enerjiyle üretilen elektriğin diğer kaynaklara göre oldukça pahalı olmasıdır. Bu dezavantaj dışında güneş enerjisi hem temiz hem tükenmeyen hem de çevreci olmak gibi avantajlara sahip olmasıyla günümüzün en önemli enerji kaynaklarından biridir. Bu yüzden güneşten elde edilen enerji ile yapılacak araştırmalar rağbet görmektedir (AYDOĞAN, 2016). Güneş enerjisinin avantajları; doğal ısıtma ve soğutma sistemleri kullanarak binaların gereksiz ve aşırı ticari enerji tüketimlerini önlemesi, çevre değerlerini koruması, çevreye verilen zararları en aza indirmesi ve ekonomik olması olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise; yarıiletkenlerin temin sıkıntısı ve verim/maliyet oranının halen yüksek olmasıdır. Ancak bu dezavantajlar da güneş hücreleri ile ilgili çalışmalar ile aşılabacaktır (Boz, 2011).

1.1. Güneş Hücrelerinin Tarihsel Gelişimi

1839 yılında Becquerel tarafından güneş ışığının, malzemelerdeki elektronları harekete geçirip bir elektrik akımı meydana getirebileceği keşfedildi ve bu olaya fotovoltaiik etki adı verildi (Spanggaard ve Krebs, 2004). Daha sonrasında fotovoltaiik olay detaylı olarak 1877'de Adams ve Day tarafından tanımlandı (Adams ve Day, 1877). Önceden metal-yarıiletken ara yüzeyler kullanılırken yarıiletken-yarıiletken ara yüzeylerin veriminin daha iyi olduğu görüldü. Bu hücreler ilk olarak 1941 yılında Ohl tarafından rapor edilmiştir (Ohl, 1946). 1954 yılında inorganik tabanlı bir güneş hücrelerinin ilk örneği Bell Laboratuvarında gerçekleştirildi ve bu ilk örnekte %6 verim elde edilmiştir. (Chapin ve ark., 1954). Sonrasında güneş hücreleri uzay çalışmalarında kullanılmış ve güneş hücreleri teknolojisi gelişmeye başlamıştır. 1960'larda verim %15'e kadar yükselmiştir (Goetzberger ve ark., 2003). Bu tarihten sonra fotovoltaiik teknolojileri ile ilgili araştırmalar hızla ilerlemiştir. Ancak halen diğer teknolojilere göre pahalı olmasından dolayı ucuz malzemeler kullanılarak fotovoltaiik hücre üretimiyle ilgili çalışmalar araştırmacıların gündemindedir (Hoppe ve Sariciftci, 2004).

Güneş hücreleri yıllar geçtikçe farklı nesil başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Birinci nesilde tek kristal silikon plakalar ve polikristal silikon plakalar kullanılırken ikinci nesilde amorf silikon, çok kristalli silikon, kadmiyum tellür ve kadmiyum sülfürleşimler kullanılmıştır. Üçüncü nesilde organik malzemelerin de uygulandığı nanokristal güneş hücreleri, polimer güneş hücreleri ve boya sensörlü güneş hücreleri

kullanılmıştır. Son olarak ise dördüncü nesil olarak hibrit-inorganik güneş hücreleri üzerinde çalışılmaktadır (Gourdin, 2007).



Şekil 1.2. Güneş hücrelerinin nesilleri

1.1.1. Birinci Nesil Güneş Hücreleri

İlk üretilen güneş hücreleridir. Günümüzde ticari olarak kullanılan fotovoltaik ürünlerin %80'i silisyum teknolojisidir (Kumar ve Ravi, 2011). Silisyum güneş hücreleri tek kristal veya çok kristal olarak üretilmektedir. Silisyum güneş hücrelerinin en büyük avantajı yüksek performanslarının yanı sıra kararlı bir davranış göstermeleridir. Dezavantajı ise yavaş ve dikkatli bir üretim süreci vardır ve kullanılan silisyum en pahalı silisyum türüdür (Glunz ve ark., 2012).

Silisyumun bu kadar tercih edilmesinin en önemli sebebi, dünyada en çok bulunan ikinci element olmasıdır. Diğer sebepleri ise tamamen kararlı ve toksik olmayan bir malzeme olmasıdır. 1,12 eV endirekt bant aralığı ile güneş ışımaya iyi adepte edebilir ve mikroelektronik teknoloji ile üretim için endüstriye uyumlu olması da diğer avantajları arasındadır (Hosenuzzaman ve ark., 2015; Lacerda ve Van Den Bergh, 2016).

Tek kristal silisyum güneş hücrelerinde elde edilen en yüksek verim %25,6, çok kristal silisyum güneş hücrelerinde ise verim %20,8 olarak rapor edilmiştir (Green ve ark., 2015). Günümüzde çok tercih edilmesine rağmen sonrasında daha ucuz daha az malzeme kullanılarak daha yüksek verimler elde edilen güneş pillerine ihtiyaç duyulmuştur (Kumar ve Ravi, 2011).

1.1.2. İkinci Nesil Güneş Hücreleri

İkinci nesil güneş hücreleri birinci nesil hücrelere göre düşük maliyetlidir. Bunun sebebi ikinci nesil güneş hücrelerinde silisyum tabaka kullanılmaması ve maliyeti düşük malzemeler tercih edilmesidir (Öztürk, 2012).

Birinci nesil güneş hücreleri 100 cm² alana sahipken, ikinci nesil güneş hücreleri ise çok daha geniş alanlarda üretilmektedir. Ayrıca, ince film yarı iletken malzemelerin soğurma katsayısı silisyuma kıyasla çok yüksektir. İnce film güneş hücrelerinde 1 µm kalınlığındaki iletken film yeterli olurken, silisyum güneş hücrelerinde ise bunun neredeyse 100–1000 katı kalınlıkta bir filme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda, maliyetli yarıiletken kullanımı azaltılmıştır (Halme, 2002). Düşük maliyetli olması rağmen henüz yaygınlaşamamasının nedeni verimlerinin %10 civarında olmasıdır. Ancak verimi arttırmak için yapılan çalışmalar devam etmektedir. Uzun ve uydur uygulamalarında kullanıldığında verimi %28-30 civarındadır fakat bu da maliyeti yükseltmektedir (Boz, 2011).

İkinci nesil güneş hücreleri; amorf silisyum, polikristal silisyum, kadmiyum tellür, bakır indiyum selenoid, galyum arsenik olarak sınıflandırılabilir (Boz, 2011).

1.1.3. Üçüncü Nesil Güneş Hücreleri

Bu nesildeki hücreler perovskit güneş hücreleri, boya duyarlı güneş hücreleri, nanokristal güneş hücreleri ve organik ve polimer güneş hücreleridir (Bagher ve ark., 2015). Üçüncü nesil güneş hücreleri de daha az maliyet ile yüksek verim elde edilmesini amaçlamaktadır (Green, 2006) Diğer nesillere göre avantajlarından biri aktif madde kullanımının daha düşük olmasıdır. Silisyum güneş hücrelerine göre yüksek absorpsiyon verimi nedeniyle organik tabaka kalınlıkları 1/10' u kadardır. Çözelti prosesi üretilebildiklerinden süreç kolaydır ve bu sebeplerle düşük maliyetlidir (Boz, 2011).

1.1.4. Dördüncü Nesil Güneş Hücreleri

Diğer nesillerdeki sorunlara çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bu nesilde hibrit-inorganik güneş hücreleri bulunmaktadır. Organik ve inorganik malzemelerin nanoyapılarının karışımıdır. Böylece iki malzemenin özellikleri de birleşmiştir.

İşlenebilirliği, düşük maliyeti ve ince film cihazlarının çok yönlü üretimi açısından ön plandadır (Günes ve Sariciftci, 2008).

1.2. Güneş Hücrelerinden Kullanılan Sistemler

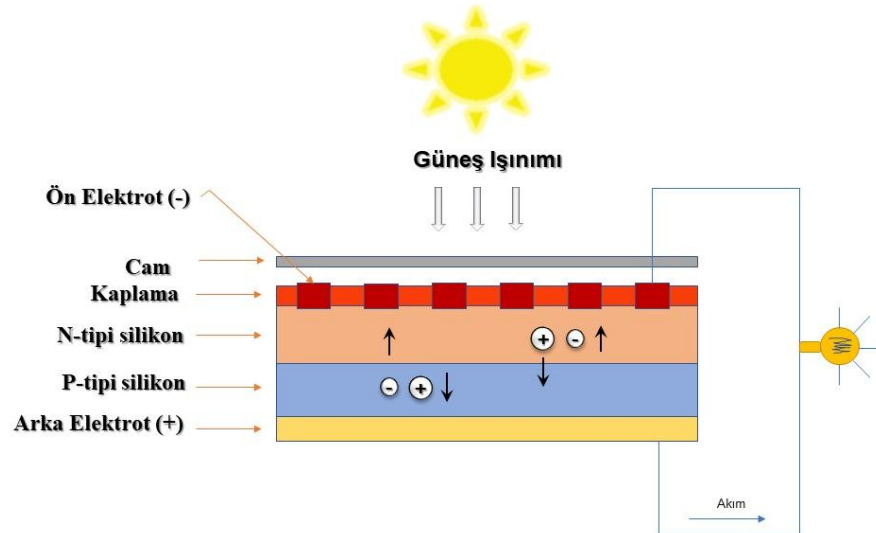
Bu sistemler;

- ✓ Yoğunlaştırıcı güneş hücresi sistemleri,
- ✓ Çok katlı (birçok bant aralıklı) güneş hücresi sistemleri,
- ✓ İnce film güneş hücresi teknolojisidir.

Güneş hücrelerinde maliyeti azaltmak ve verimi yükseltmek için yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonunda ince filmlerin daha geniş yüzeylere yapılması fikri ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalarla güneş hücrelerinde kullanılacak yarıiletken malzemelerin düşük maliyetlerdeki cam ve ya metal gibi tabakalarda daha geniş yüzeylere kaplanabileceği görülmüştür (Arslan, 2018).

1.3. Güneş Hücrelerinin Temel Yapısı ve Çalışma Prensibi

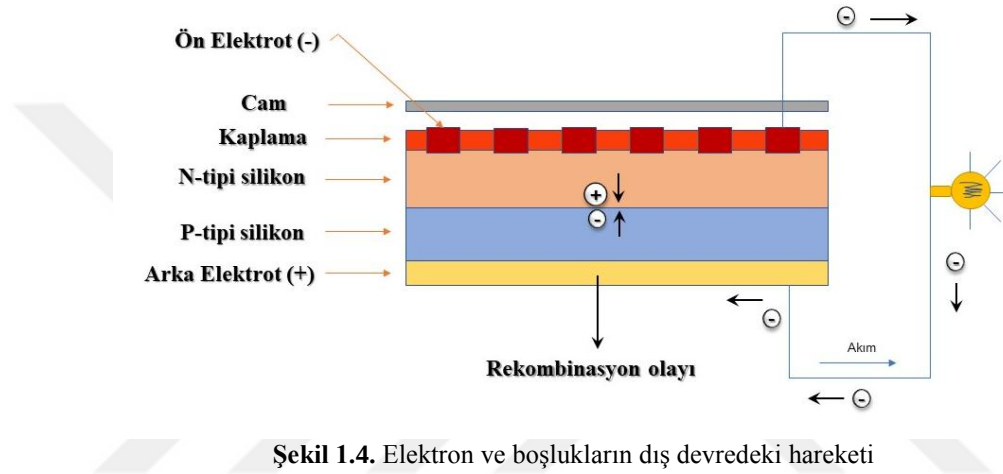
Güneş ışığını direkt olarak elektriğe dönüştüren aygıtlara güneş hücresi ya da güneş hücresi denir. Güneş ışığının soğurularak elektronunun bir üst seviyeye geçmesi ve yüksek enerjiye sahip olan bu elektronun güneş hücresinden dışarı doğru hareket etmesiyle güneş ışığından elektrik elde edilir. Böylece elektron enerjisini dışarıda dağıtarak hücreye geri döner (AYDOĞAN, 2016).



Şekil 1.3. Güneş hücresinin çalışma prensibi

Bir güneş hücresi yapısı yarıiletkenlerin uygun ara yüzeyler ile birleştirildikten sonra alt ve üst elektronları eklenmesiyle oluşur.

Bu yapı fotoaktif bir sistemdir ve ışığa maruz bırakıldığında fotovoltaiik bir hücre olarak çalışır. Ön ve arka elektrotlar, ara yüzeyler ve yarıiletken hücre sistemine göre değişiklikler gösterebilir. Güneş hücresinde ışığın enerjiye dönüştürülmesi; aktif bölgede fotonların soğurulması, elektron-boşluk çiftlerinin oluşması, elektronların n-tipi bölgeye boşlukların ise p tipi bölgeye hareket etmesi, yük taşıyıcıların elektronlar sayesinde taşınması ve bu sayede dış bölgede hareketin sağlanması (Şekil 1.4) olarak sıralanabilir (AYDOĞAN, 2016).



Şekil 1.4. Elektron ve boşlukların dış devredeki hareketi

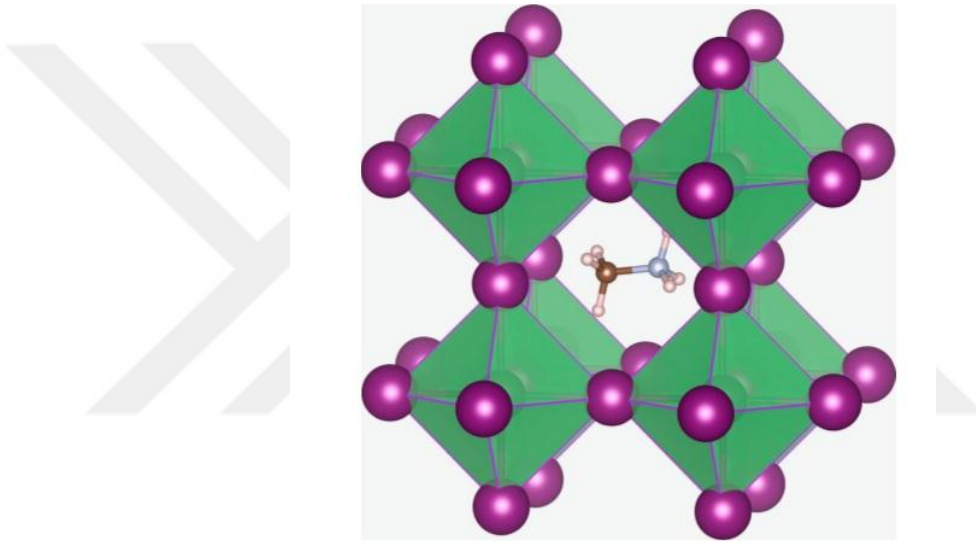
Işıklı üretilen elektronların iletkenliğe katkıda bulunmadan bir delik(hole) ile birleşerek yani yarıiletkenin iletkenlik bandına çıkmadan birbirini yok etmesi olayına rekombinasyon denir. Ancak delikler yasak enerji aralığını geçerek ve ışık enerjisi soğurarak yeterli bir potansiyel enerjiye sahip elektron iletkenliğe katkıda bulunabilirler. Bu bölgeyi geçemeyenler ise rekombinasyona uğrayarak yok olurlar bu da başka enerji tiplerine (ısı ve ışık) dönüşmelerine neden olur. Rekombinasyon sonucu oluşan ısı enerjisi ve ışıkla üretilen başka elektron-deşik çiftlerinin de hızlanmasına harcanabilir. Dolayısıyla fotovoltaiik verimi etkileyen komplike bir proses rekombinasyon olayıdır (Alkaya, 2005).

1.4. Perovskit Güneş Hücreleri

1839 yılında ilk olarak alman bilim adamı, Gustav Rose'un Rusya gezisi sırasında Ural dağlarında, kalsiyum titanit temelli minerali keşfetmesiyle perovskit malzemesi ortaya çıkmıştır. Rus mineralojist olan Lev von Perovski'nin onuruna

“perovskite” ismi verilmiştir (Eperon ve ark., 2014). Aslında dünyanın manto katmanında anorganik yapıda fazla miktarda bulunmaktadır. Perovskit minerali kalsiyum, titanyum ve oksijenden oluşur ve CaTiO_3 formundadır.

Perovskit güneş hücrelerinin genellikle ABX_3 (A: organik/inorganik katyon grubu; B: metal katyon grubu; X: tuz elementi) yapısı vardır. Bu açıdan perovskit minerali ile aynı kristalografik yapıya sahiptir. X, Cl, Br ve I gibi bir oksit veya halojenlerdir. M, koordinasyon sayısı 6 olan bir metal katyonu ifade eder. A; Ca, K, Na, Pb, Sr, diğer nadir metaller olabilir. AMX_3 'te A, M ve X'in herhangi birinde değişiklik yapılması bant aralığını değiştirir. Band açısı, kurşun kalay oranını değiştirerek 1.55 eV ve 1.17 eV arasında ayarlanabilir (Eames ve ark., 2015).



Şekil 1.5. Perovskite yapısı(Eames ve ark., 2015)

Perovskit yüksek soğurum katsayısına sahiptir ve direkt band yapılı bir malzeme olarak kullanılır. Bu özelliği ile Si güneş hücreleriyle kıyaslandığında fazla miktarda fotonun soğurulmasına olanak sağlar ve ince bir tabakaya sahiptir. Bu da maliyet açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Perovskitin önemli bir diğer avantajı ise uzun difüzyon yolu ve yüksek taşıyıcı mobilitesidir (Stranks ve ark., 2013; Xing ve ark., 2013; Ma ve ark., 2016). Bu Özelliği kısmen daha kalın bir tabaka ile daha yüksek soğurum şiddeti elde ederken aynı zamanda da hücre içerisindeki rekombinasyon kayıplarını azaltmaktadır. Fotovoltaik uygulamalarda perovskit malzemesi yüksek dielektrik sabitli ve düşük eksiton bağlanma enerjisine sahiptir. Bu da diğer bir avantajıdır (Xing ve ark., 2013; Miyata ve ark., 2015; Salim ve ark., 2015).

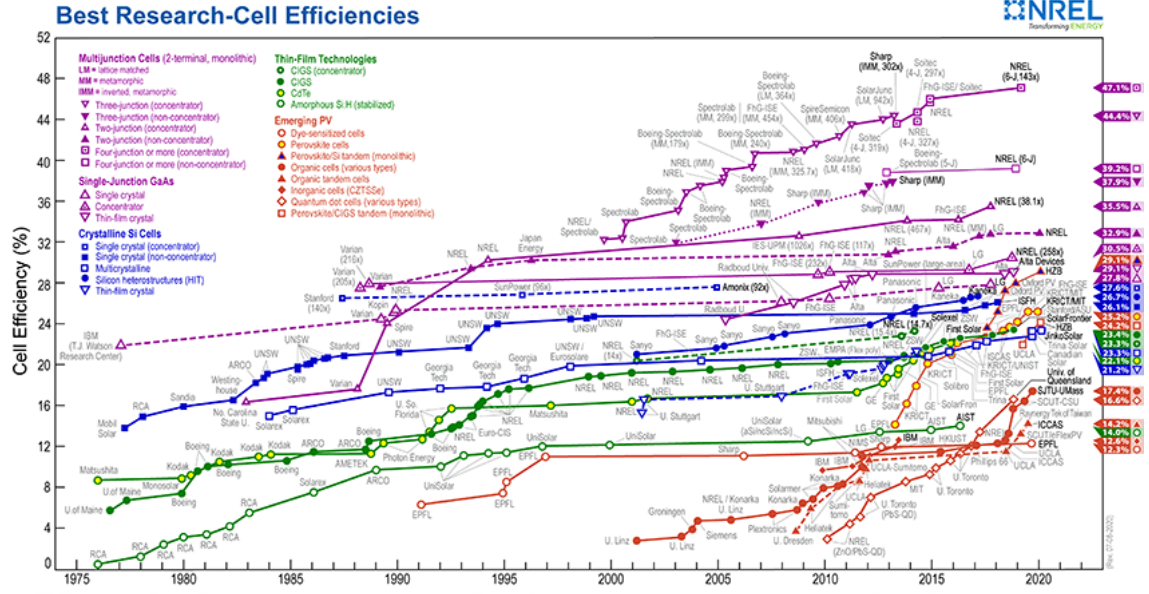
Her bir hücrede kendine özgü avantajlar varken dezavantajlar da mevcuttur. Örneğin, n-i-p yapılı düzlemsel yapı uzun yük difüzyonu ve uzun taşıyıcı ömrü sunmak

gibi avantajları varken bu yapılar da homojen ve uniform bir perovskit film oluşturmak da dezavantajlara yol açabilir. Çünkü oluşabilecek pin-hole (iğne-delikleri) ler akım kaçaklarına neden olmaktadır. Bu durumu çözmek için mezoporoz tabaka kullanılabilir ancak bu yapıda mezoporoz tabakanın kristallenmesinde kullanılacak olan yüksek sıcaklıklar büyük bir dezavantaj yaratmaktadır. Diğer yandan, p-i-n yapılı ters hücre yapısı inorganik tabanlı malzemelerinde kullanımında büyük avantajdır. Fakat bu yapıda istenilen kalitede perovskit film büyütülmesi oldukça zordur. Özetle, bir hücre yapısının diğerinden üstün olduğunu söylemek mümkün değildir. Çünkü diğer tabakalar ve üretim koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Literatürde bakıldığında mezoporoz tabakalı n-i-p yapılarının yüksek verim verdiği gözlemlenmiştir (Arora ve ark., 2017; Luo ve ark., 2018; Wang ve ark., 2018).

Perovskit güneş hücresi ilk olarak 2009 yılında Miyasaka ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir. İlk perovskit güneş hücrelerinde elektron toplayıcı rolünde olan TiO_2 üzerine ince perovskit tabakası kaplanarak boya duyarlı perovskit güneş hücresinden elde edilen verim, %3.8 idi (Kojima ve ark., 2006).

2012 yılında Oxford Üniversitesinden Mike Lee ve Henry Snaith tarafından yayınlanan çalışmada boşluk taşıyıcı olarak spiro-OMeTAD kullanılarak aygıt kararlılığının verimi artırılmıştır ve %10'lara çıkarılmıştır (Lee ve ark., 2012). 2013 yılında ise Burschka ve arkadaşları yeni iki farklı solüsyon ile güneş hücresi oluşturmuşlar ve %15'i geçen verimler elde etmişlerdir. Böylelikle perovskit güneş hücrelerine olan ilgi artmıştır. (Burschka ve ark., 2013).

Yang ve arkadaşları 2017 yılında formamidyum perovskit içeren bir güneş hücresi üretmişlerdir. Bu malzemeyi hazırlarken açık devre gerilimi ve kısa devre akımını olumsuz etkileyen unsurlar için ekstra iyot iyonları katkılayarak bu sorunları minimuma düşürmeye çalışmışlardır. Böylece % 22.1'lik bir verim elde ederek perovskit güneş hücrelerinde o yıla kadar ki en büyük verimi elde etmişlerdir (Yang ve ark., 2017b).



Perovskit güneş hücreleri klasik anorganik güneş hücrelerine göre birçok avantaja sahiptir. Klasik anorganik güneş hücrelerinin hazırlanması için 1000 °C yi aşan sıcaklıklara ihtiyaç duyulması, yüksek maliyetli hazırlanma süreci, pahalı vakum odalarına ihtiyaç duyulur. Ancak perovskit güneş hücrelerinde laboratuvarlarda basit yöntemler ile çözelti hazırlanabilir. Bu çözeltileri kaplamak için spin coater yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemde tamamen homojen yüzeyler elde edilemediğinden GBL, toluen ve DMSO gibi çözücüler kullanılmıştır (Jeon ve ark., 2014).

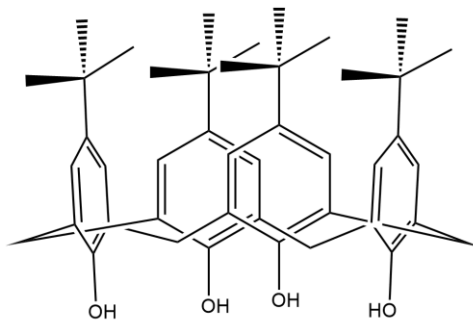
Perovskit güneş hücrelerinde kararlılığın uzun süre korunamaması en büyük sıkıntılardan biridir. Bu kararsızlığın sebebi oksijen ve nem gibi çevresel etkenlerdir. Isısal etki, gerilim altında ısınma ve ışınım etkisi (UV) gibi etkenler de kararlılığı etkilemektedir. Perovskit tabakada bulunan metalin suyla çözünebilir organik bileşenleri nemli ortamda hücrelerin hızlı bir şekilde bozunmasına neden olmaktadır. Bu bozunmayı engellemek için malzemelerin bileşenlerinin, aygıt yapılarının ve arayüzlerinin dış ortamlara göre optimize edilmesin gerekmektedir (Habisreutinger ve ark., 2014).

1.5. Güneş Hücrelerinde Kendiliğinden Monte Olabilen Tek Tabakalar (SAM)

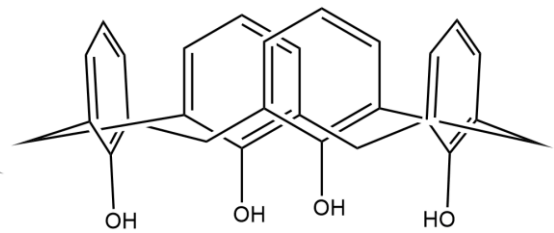
Uygun metal yüzeyleri üzerinde kendiliğinden oluşan, yoğun kompakt, iyi düzenlenmiş, çok ince organik filmlere SAM filmleri denir. Bu filmlerin oluşum kolaylığı, metal yüzeyine sıkıca bağlanmaları sayesinde farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Ancak uygun bir yüzey üzerinde adsorbe edilen SAM filmleri, yapışma, sürtünme ve de yüzeyin ıslanması gibi özelliklerini değiştirirler. Bu filmler mikro elektronik cihazlarda, nanoteknoloji, biyoteknoloji, korozyon korunması gibi olağanüstü potansiyel uygulamalar sağlamaktadır (Salcı ve Solmaz, 2018).

1.6. Kaliksarenler

P-süstitüe fenollerinin bazik ortamlarda formaldehitler ile kondensasyon tepkimeleri sonucu elde edilen bileşikler Kaliksarenlerdir. Kaliksarenler görsel olarak incelendiğinde şekilleri sepete benzemektedir. (Gutsche ve Muthukrishnan, 1978). Kelime anlamı olarak “Kaliks” (calix) sözcüğü vazoya benzetildiğinden tetramer şeklimi özellikle kase benzeri konformasyona dönüştürmektedir. Kaliksarenler makrosiklik bileşiklerinden biri olup son yapılan çalışmalarda da oldukça popülerdir (Gutsche ve Stoddart, 1989). Kaliksarenler yapıları incelendiğinde halkalı bir yapıya sahip olup (Şekil 1.8.), basit olarak türevlendirilebilir ve farklı boyutta molekül boşluğu meydana getirebilmesinden dolayı, katyon, nötral ve anyon moleküller için de tercih edilen iyi bir taşıyıcıdır (Böhmer, 1995).



Chemical Formula: $C_{44}H_{56}O_4$
Molecular Weight: 648.93



Chemical Formula: $C_{26}H_{24}O_4$
Molecular Weight: 424.50

Şekil 1.7. Çalışmalarda kullanılan kaliksaren yapıları a(C₄(1)) ve b(C₄(2))

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kendiliğinden Monte Olabilen Tek Tabakalar (SAM)

Kendiliğinden monte olabilen tek tabakalar (SAM) in, diğer teknolojilerde uygulanan ışık yayan diyotlar (LED) ve ince film transistörleri gibi yaygın olduğu anlaşılmıştır (Imahori ve ark., 2001; Kobayashi ve ark., 2004; Hsiao ve ark., 2005).

Organik molekül SAM'ları, tipik olarak ankraj grubu, bağlayıcı ve fonksiyonel gruplardan oluşan adsorpsiyon ile yüzeyler üzerinde kendiliğinden oluşan moleküler düzenekleri belirtir (Love ve ark., 2005). SAM molekülleride en güçlü bağlanma enerjisi fosfonik asit ve sonrasında sırasıyla sülfonik asit, hidroksamik asit ve amid gelmektedir. Bağlayıcılar genellikle alkil zincirleridir ve supramoleküler yapıları Van der Waals ile bağlıdır. Uzun zincir uzunluğu güçlü Van der Waals ile sonuçlanır ve SAM'lar alt tabakaya dikey olarak hizalanır. SAM'ların kimyasal yapıları fonksiyonel grubun yüzey özelliklerini değiştirebilir.

SAM katmanının hazırlanması için iki tip hazırlama yöntemi vardır. Bunlar sıvı faz biriktirme ve buhar fazı biriktirme yöntemleridir (Love ve ark., 2005; Qiao ve Zuo, 2018). Sıvı faz biriktirme yönteminde alt tabakanın SAM çözeltilerine temasıyla yüzey reaksiyonun oluşması işlemidir. SAM hazırlanması, oluşumu ve başka bir ekipman gerektirmedikinden çok popüler olmuştur. SAM'ların bu kadar popüler olmasında çözücü, zaman ve konsantrasyon gibi faktörler de etkili olmuştur. Bu yöntem daldırma ve ardından tavlama olmak üzere iki adımdan oluşur ve bu da kompakt bir tek tabakanın oluşumunu sağlar (Hanson ve ark., 2003). Spin kaplamada, düzgün bir merkezkaç kuvveti ile homojen filmler oluşur. SAM çözeltisi yüzey üzerine dağıtılır ve kontrollü bir şekilde döndürülür. Spin kaplama tek bir tabakaya uygulanır ancak kaplama işlemi birkaç dakika aldığından avantajlıdır. Başka bir yöntem de buhar biriktirme yöntemidir. Buhar biriktirme yöntemi, SAM ile doyurulmuş bir ortama dönüştürmek için aktif oksit açığa çıkarılarak yapılır. SAM'lar ve yüzey arasındaki etkileşimi güçlendirmek için termal tavlama yapılır. Bu üç yöntemde organik çözücülerin kullanılması ve hızlı bir şekilde homojen tabakanın elde edilmesi açısından avantajlıdır (Choi ve ark., 2020).

Literatürde yapılan birçok çalışma SAM tekniğinin tuzakların pasivasyonu, enerji seviyelerinin düzenlenmesi, morfolojinin düzenlenmesi gibi sebeplerle güneş hücrelerinin performansını arttırdığı bilinmektedir (Wojciechowski ve ark., 2014; Yang ve ark., 2017a), (Kırbıyık ve ark., 2020a; Kırbıyık ve ark., 2020b; Kırbıyık ve ark.,

2020c). Örneğin SAM molekülleri polar bir yapıya sahip olduklarından ara yüzeylerde enerji seviyelerini etkilemektedirler (Khodabakhsh ve ark., 2004). Sahip oldukları dipol nedeniyle örneğin metal oksit tabaka ile perovskit arasındaki enerji düzeylerini daha uygun hale getirebilmektedir (Will ve ark., 2018). SAM molekülleri genel itibarıyla silan, karboksilik asit, fosforik asit ve sülfonik asit gibi polar gruplar ihtiva etmekte ve yüzeylere bu gruplar aracılığı ile bağlanabilmektedir (Chen ve ark., 2006; Zhang ve Cole, 2015).

Aşağıda verilen tabloda literatürde bulunan bazı örnekler ve etkileri verilmiştir (Choi ve ark., 2020)

Çizelge 2.1. Çeşitli SAM'ların farklı konfigürasyonlardaki verimleri(Choi ve ark., 2020)

<i>Hücre Tipi</i>	<i>SAM</i>	<i>Konfigürasyon</i>	<i>Verim (%)</i>	<i>Referans</i>
Mezofor	C ₆₀ SAM	FTO/m-TiO ₂ /SAM/CH ₃ NH ₃ PbI _{3-x} Cl _x /P3HT/Ag	11.7	(Abrusci ve ark., 2013)
Mezofor	HOCO-R-NH ₃ ⁺ I ⁻	FTO/c-TiO ₂ /m-TiO ₂ /SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	12	(Ogomi ve ark., 2014)
Mezofor	4-Aminobenzoik asit	FTO/c-TiO ₂ /m-TiO ₂ /SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	10.58	(Li ve ark., 2015a)
Mezofor	Aminopropyltrimethoxysilane	FTO/c-TiO ₂ /m-TiO ₂ /SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /ZrO ₂ /carbon	12.77	(Liu ve ark., 2015)
Mezofor	Bromoasetik asit	FTO/c-TiO ₂ /m-TiO ₂ /SAM/ CH ₃ NH ₃ PbBr ₃ /Au	5.57	(Kim ve ark., 2015)
Mezofor	Sinapoly malate	FTO/c-TiO ₂ /m-TiO ₂ /SAM/(CsFAMA)Pb(IBr) ₃ /Co(II)/(III)/Au	20.47	(Cao ve ark., 2018a)
Mezofor	i-alanine	FTO/c-TiO ₂ /m-TiO ₂ /SAM/CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	14.95	(Shih ve ark., 2017)
Mezofor	4-ABPACI	FTO/c-TiO ₂ /m-TiO ₂ /SAM/CH ₃ NH ₃ PbI ₃ :SAM/Spiro-OMeTAD/Au	16.55	(Li ve ark., 2015b)
İnce Film	C60SAM	FTO/c-TiO ₂ /SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI _{3-x} Cl _x /Spiro-OMeTAD/Au	17.3	(Wojciechowski ve ark., 2014)
İnce Film	C3SAM	ITO/ZnO/SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/MoO ₃ /Ag	15.67	(Zuo ve ark., 2015)
İnce Film	3-Aminopropyltriethoxysilane	FTO/SnO ₂ /SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	18.32	(Yang ve ark., 2017a)
İnce Film	C9	ITO/SnO ₂ /SAM/(FAPbI ₃) _x (MAPbBr ₃) _{1-x} /Spiro-OMeTAD/Au	21.3	(Liu ve ark., 2018)
İnce Film	Sil-C60	FTO/SAM/Cs _{0.175} FA _{0.825} PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	15.2	(Topolovsek ve ark., 2017)
İnce Film	PCBDAN	ITO/SAM/PCBM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	18.1	(Xie ve ark., 2017)
İnce Film	PCBA	ITO/ZnLiO/SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Ag	18.02	(An ve ark., 2017)
İnce Film	JTCA	ITO/ZnO/SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	18.82	(Azmi ve ark., 2018a)
İnce Film	1,2-Ethanedithiol	ITO/ZnO-S/SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	19.65	(Azmi ve ark., 2018b)
İnce Film	4-Pyridinecarboxylic acid	ITO/SnO ₂ /SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI _{3-x} Cl _{3-x} /Spiro-OMeTAD/Au	18.77	(Zuo ve ark., 2017)
İnce Film	Dopamine	ITO/SnO ₂ /SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	16.87	(Hou ve ark., 2018)
İnce Film	C ₆₀ SAM	FTO/PEALD-SnO ₂ /SAM/MA1 _x FA _x PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	20.42	(Wang ve ark., 2017a)
İnce Film	C ₆₀ -C6-PA	ITO/SAM/CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Ag	15.4	(Hou ve ark., 2017b)
İnce Film	C ₆₀ SAM	ITO/SAM/SnO _x /PC ₆₀ BM/(FAMA)Pb(IBr) ₃ /PDCBT/Ta-WO _x	21.2	(Hou ve ark., 2017a)
İnce Film	Ethanolamine	FTO/ZnO/MgO/SAM/(CsFAMA)Pb(IBr) ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	21.1	(Cao ve ark., 2018b)
İnce Film	NDSB201	FTO/SnO ₂ /SAM/(CsFAMA)Pb(IBr) ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	21.43	(Choi ve ark., 2018)
Ters Dizilim	Fluoro-silane	ITO/PTAA:F4-TCNQ/	19.5	(Bai ve ark., 2018)

Ters Dizilim	C ₃ SAM	CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /SAM/C60/BCP/Al ITO/PEDOT:PSS/SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ Cl _x /PCBM/ZnO/Ag	11.6	2016b) (Gu ve ark., 2015)
Ters Dizilim	Boronik asit	ITO/SAM/PEDOT:PSS/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /PCBM/Ag	15.66	(Tang ve ark., 2019)
Ters Dizilim	Diethanolamine	FTO/NiO/SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ Cl _x /PCBM/PN4N/Ag	15.9	(Bai ve ark., 2016a)
Ters Dizilim	Diethanolamine	ITO/NiO/SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /C60(CH ₂)Ind/PN4N/Ag	18.1	(Xue ve ark., 2017)
Ters Dizilim	Benzoik asit	ITO/NiOx/SAM/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /PCBM/bis-C60/Ag	18.4	(Wang ve ark., 2017b)
Ters Dizilim	C ₆₀ SAM	ITO/PTAA/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /SAM/Cu	18.9	(Wang ve ark., 2016)
Ters Dizilim	V1036:C4	ITO/V1036:C4 SAM/(CsFAMA)Pb(IBr) ₃ /C60/BCP/Cu	17.8	(Magomedov ve ark., 2018)
Ters Dizilim	Rhodamine101	ITO/PEDOT:PSS/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ Cl _x /PCBM/SAM/LiF/Ag	13.2	(Sun ve ark., 2015)
Ters Dizilim	C ₆₀ -SB	ITO/PEDOT:PSS/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /PCBM/SAM:TBAI/Ag	15.31	(Duzhko ve ark., 2017)
Ters Dizilim	HDAC	ITO/P ₃ CT-NA/ CH ₃ NH ₃ PbI ₃ /PCBM/SAM/Ag	17.1	(Zhu ve ark., 2017a)

*Copyright izni alınmıştır.

Literatürde mezo gözenekli yapılar için SAM örnekleri olmakla beraber bu tez çalışmasında düzlemsel geometri tercih edildiği için bu geometriye ait literatür bilgisi aşağıda özetlenmiştir.

Bilindiği üzere düzlemsel yapıdaki perovskit hücreler mezo gözenekli yapıda olanlara kıyasla daha az aktif temas yüzeyine sahip olsa da aktif tabakalar arası etkileşimler temel alındığında mezo gözenekli yapılara kıyasla daha fazla etkileşim veya modifikasyona karşı da fazla etkileşim gösterirler. Düzlemsel PSC'lerde ilk SAM uygulaması Snaith ve arkadaşları tarafından C₆₀-SAM uygulaması şeklinde yapılmıştır (Hanson ve ark., 2003). Bu çalışmada SAM modifikasyonunun histeri etkisini azalttığı görülmüştür. Chen ve arkadaşları 3-aminopropanoik asit ile ZnO yüzeyini modifiye etmişler ve perovskitin kristallenmesinde olumlu etki yanında ZnO yüzeyinde oluşan pin-hollerin azaldığını göstermişlerdir (An ve ark., 2017). Çisem Kırbıyık ve arkadaşları boronik asit türevlerinin TiO₂ yüzeylerde SAM olarak kullanılmasıyla hem hücre verimlerinde artış hem tekrarlanabilirlikte artış gözlemlemişlerdir (Kırbıyık ve ark., 2019). Huary ve arkadaşları SnO₂ yüzeylerinde SAM modifikasyonunu işlem süresine bağlılığını araştırmışlar ve bu çalışmada hidroksi ve amino gruplarının her ikisini de içeren SAM moleküllerini kullanmışlardır(Hou ve ark., 2018). Bu çalışmada kullandıkları SAM moleküllerinin perovskit film morfolojisinin düzenlenmesine ciddi katkı sağladığını belirtmişlerdir. Hou ve arkadaşları fosforik asit grubu içeren SAM molekülleri ile yaptıkları çalışmada verimde değişiklik gözlemlemişler ve fonksiyonel grupların da verim üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir(Hou ve ark., 2017b). Metal oksit yüzeylerinin SAM tekniğine dayalı olarak modifikasyonu konusunda tez

çalışmasında da kullanılan nötral yapıdaki moleküllere birkaç örnek yukarıda verilmiş olup iyonik yapılar ile alakalı birçok çalışma olmakla birlikte tez çalışmalarında kullanılan yapılardan çok farklı oldukları için burada değinilmemiştir.

Ters geometrideki PSC'lerde Kara ve arkadaşları ITO yüzeyini boronik asit türevleri ile SAM tekniğine dayalı modifiye ederek %16'ya ulaşan verimler elde etmişlerdir (Kara ve ark., 2018). Bu çalışmada SAM modifikasyonunun ITO'nun iş fonksiyonu üzerine etkileri de gösterilmiştir.

Wang ve arkadaşları bir seri benzoik asit ile NiO_x yüzeyini SAM tekniğine dayalı modifiye etmişler ve bu modifikasyonun arayüzey temasını iyileştirmesi yanında enerji seviyelerinin uyumlu hale gelmesini de sağlamışlardır (Wang ve ark., 2017b).

Al-Ashouri ve arkadaşları içinde boşluk transfer özelliği olan bir grup yanında yüzeye tutunabilen fonksiyonel grup içeren (fosfonik asit grubu) bir molekül sentezleyerek bunun boşluk transfer tabakasında kullanılabileceğini göstermişlerdir (Al-Ashouri ve ark., 2019). Bu çalışma küçük moleküllerin sadece SAM amaçlı kullanılması dışında boşluk transfer malzemesi olarak kullanılması açısından da önemlidir.

Zhu ve arkadaşları ise zwitter iyonik bazı malzemeler kullanarak katot elektrotun modifikasyonunu gerçekleştirmiş ve %17'leri bulan verimlere ulaşmışlardır (Zhu ve ark., 2017b).

Bu tez çalışmasında literatür bilgilerine dayanarak daha önce hiç denenmemiş olan kaliksaren türevleri düzlemsel yapıdaki perovskit güneş hücrelerinde hem normal hem ters geometri için denenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Deney Çalışmalarında Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

Çalışmalar sırasında indiyum kalay oksit (ITO) ve flor katkılı kalay oksit (FTO) kaplı camlar kullanılmıştır. Camların temizliği için Hellmanex (Hellma III Liquid, alkalın sıvı temizleyici), saf su, aseton (Sigma-Aldrich) ve etanol (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. Güneş hücreleri için boşluk iletim malzemesi olarak PEDOT:PSS (Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) ve kaliksaren kullanılmıştır. Elektron iletim malzemesi olarak ise TiO_2 tabakası için titanyum (IV) izopropoksit (%99,9, Sigma-Aldrich) ve asetil aseton (%99,5, Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

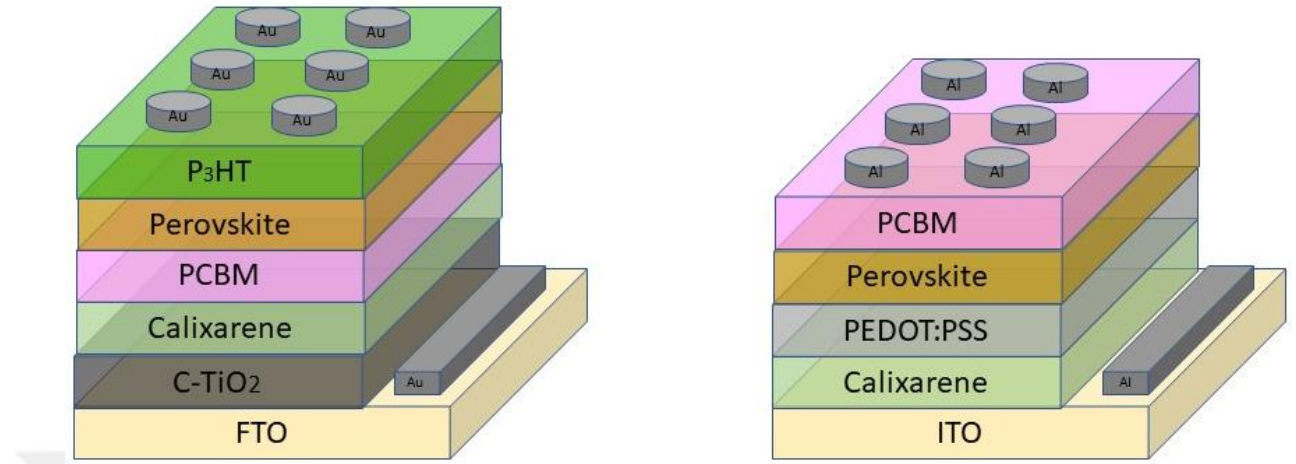
Perovskit çözeltileri için $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ (Lumtec), PbI_2 (%99,9, Alfa Aesar), γ -bütiralakton (GBL, susuz, Sigma Aldrich), dimetilformamit (DMF, Sigma Aldrich) ve dimetilsülfoksit (DMSO, Sigma Aldrich) ve asetonitril (Sigma Aldrich) kullanılmıştır.

P3HT (poli(3hekziltiyofen-2,5-diil), Lumtec) ve PCBM (6,6-fenil C61 bütirik asit metil ester, Lumtec) saflaştırma yapılmaksızın klorbenzen (Sigma Aldrich) ile çözelti haline getirilmiştir.

ITO ve FTO yüzeylerinin temizlenmesi için 42-220 model UVO temizleyici ve plazma aşındırma ünitesi, yüzeylerin aktifleştirilmesi için Diener Plasma System Femto Pcce -Plasma Cleaner O2 plazma sistemi, çözelti filmlerinin kaplanması için ise Laurell marka WS-400BZ-GNPP/LITE model döngüsel kaplama cihazı kullanılmıştır. Devrelerin elektrot kaplamaları için Glove Box sistemi içerisinde MBraun markalı PVD sistemi kullanılmıştır. Ölçümler için AM1,5 ATLAS solar simülatör ve Keithley 2634b, 2400, 2401a cihazları kullanılarak akım-voltaj grafikleri elde edilmiştir. Hücrelerin ince film ve yüzey karakterizasyonları NT-MDT marka Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.Deneysel Çalışmalar

Tez çalışmasında yapılacak olan güneş hücresi yapıları şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 FTO ve ITO yüzeyindeki farklı yapılar

3.2.1. Florlanmış Kalay Oksit (FTO) ve İndiyum Kalay Oksit (İTO) Kaplı Cam Kullanılarak Hazırlanan Güneş Hücreleri

3.2.1.1. Cam yüzeylerinin hazırlanması

FTO ve ITO kaplı camlar hücre boyutları 1,5x1,5 cm² olacak şekilde kesilmişler ve numaralandırılmışlardır. Sonrasında saf su kullanılarak seyreltilmiş hellmanex çözeltisi ile ultrasonik banyoda 10 dk boyunca temizlenmiştir ve ardından saf su, aseton ve etanol ile ultrasonik banyoda 10 dk boyunca temizlenerek azot gazı ile kurutulmuştur (Şekil 3.2). Kurutulan camların yüzeydeki organik atıkların temizlenmesi ve yüzeyin aktifleştirilmesi amacıyla oksijen plazmada tutulmuştur. Böylece camlar kaplama için hazır hale getirilmiştir. Tez çalışmaları boyunca bütün FTO ve ITO camlar bu işleminden geçmiştir. Şekil 3.3’de bu işlemler sırasında kullanılan malzemeler verilmiştir.



Şekil 3.2 Ultrasonik banyo



Şekil 3.3 Oksijen Plazma

3.2.1.2. Yoğun TiO₂ tabakası üzerine kaliksaren kaplanması

FTO kaplı camlar üzerine kaplanacak olan yoğun TiO₂ hazırlamak için 3 mL titanyum izopropoksit ve 9 mL mutlak etanolün bir kapta ve 2 mL asetilaseton ve 6 mL etanol çözeltisi 10 ar dakika karıştırılarak sonrasında buzlu ortamda damla damla titanyum izopropoksitli çözeltiye eklenmiştir ve 1 gece karışması sağlanmıştır. Kaplama yapılmadan önce yarı yarıya mutlak etanol ile seyreltilerek püskürtme şişesine alınmıştır. Püskürtme işlemi 450°C'ye ısıtılmış FTO camlar üzerine yapılmıştır. Yüzeyleri aktifleştirilmiş camlar maskelemek için metal kısıkaçlar kullanılarak 3 dk boyunca 450°C'ye kadar ısıtılmıştır. 4 kez püskürtme yapıldıktan sonra soğumaya bırakılmıştır (Şekil 3.4). Kaliksaren kloroform ile 1 nM 100 ml'lik bir çözelti hazırlanmıştır ve 1 gece boyunca karıştırılmıştır. Hazırlanan çözelti ile iki farklı yöntemde kaplama yapılmıştır. Bunlardan biri spin kaplama diğeri ise SAM tekniğidir. SAM tekniği için yüzeyler hazırlanan çözeltinin içine daldırılarak bir gece bekletilmiştir. Spin kaplamada TiO₂ katmanı üzerine 5000 rpm 40 s olacak şekilde dinamik bir kaplama gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemden sonra yüzeyler 80°C'de 10 dk kurutulmuştur.



Şekil 3.4 TiO₂ kaplamada kullanılan püskürtme yöntemi

3.2.1.3. Kaliksarenlerin kaplanması

Kaliksaren kloroform ile 1 nM 100 ml'lik bir çözelti hazırlanmıştır ve 1 gece boyunca karıştırılmıştır. Hazırlanan çözelti ile iki farklı yöntemde kaplama yapılmıştır. Bunlardan biri spin kaplama diğeri ise SAM tekniğidir. SAM tekniği için yüzeyler hazırlanan çözeltinin içine daldırılarak bir gece bekletilmiştir. Spin kaplamada 5000 rpm 40 s olacak şekilde dinamik bir kaplama gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemden sonra yüzeyler 80°C'de 10 dk kurutulmuştur.

3.2.1.4. Elektron transfer tabakasının hazırlanması

FTO kaplı camlar için elektron transfer malzemesinin modifikasyonunda pin holleri doldurarak verimi büyük ölçüde arttıran PCBM 'in %2 lik çözeltisi yüzey üzerine 2000 rpm 40 s olacak şekilde kaplanmıştır ve 100°C'de 10 dk kurumaya bırakılmıştır.

ITO kaplı camlarda elektron transfer malzemesi olarak yine PCBM kullanılmıştır. PCBM'in %2 lik çözeltisi yüzey üzerine 2500 rpm 60 s olacak şekilde kaplanmıştır ve 110°C'de 30 dk kurumaya bırakılmıştır.

3.2.1.5. Perovskit katmanının hazırlanması

Bu tez çalışmasında 3 farklı perovskit çözeltisi kullanılmıştır. Bunlar; GBL, ACN ve DMF:DMSO çözücü sistemleri kullanılarak hazırlanan perovskit çözeltileridir. Perovskit çözeltilerinin detayları aşağıda verilmiştir.

GBL çözücüsü kullanılarak hazırlanan perovskit çözeltisi için Jeon ve ark. tarafından yayınlanan prosedür kullanılmıştır (Jeon ve ark., 2014). Çözücü GBL içinde 1,23 mol oranında PbI₂ ve metilamonyum iyodür çözülerek önce 2 sa 70°C'de daha sonra ise 50°C de 1 gece bekletilmiştir. Kaplama hızları olarak 4000 rpm 50 s ve sonrasında toluen ilavesinin 15 s'de dinamik olarak kaplanmıştır. Kaplanan filmler kristallenebilmesi için 15 dk 85°C'de bekletilmiştir.

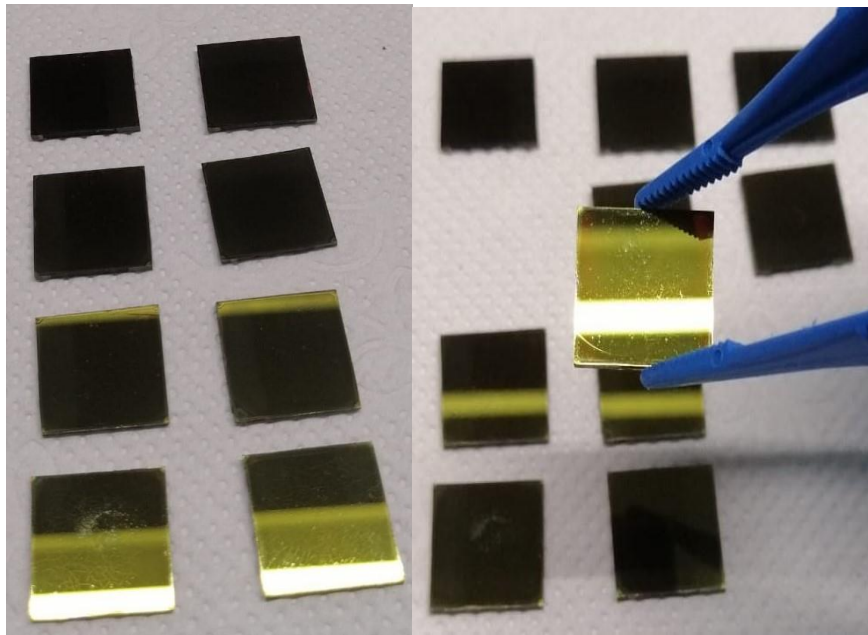
ACN çözücüsü kullanılarak hazırlanan perovskit çözeltisi için Noel ve ark. tarafından yayınlanan prosedür kullanılmıştır (Noel ve ark., 2017). Asetonitril/metilamin çözücü karışımı metilaminin asetonitril içerisinde bir düzenek yardımıyla çözündürülmesi ile hazırlanmıştır. Bunun için konsantrasyonları 0,5 M olacak şekilde 1' e 1.06 oranında MAI-PbI₂ asetonitril içerisinde dağıtılmıştır.

Metilaminin metanol içerisindeki (%40'lık) çözeltisi bir düzenek yardımıyla metilaminin buharı asetonitril karışımı içerisinde gönderilmiştir. Burada metilamin / metanol çözeltisi bir yıkama şişesi içerisinde buz banyosuna yerleştirilmiştir. Yıkama şişesine gönderilen Ar gazının oluşturduğu kabarcıklarla birlikte buharlaşarak metilamin Ar/MA karışımı halinde asetonitril süspansiyonu içine gönderilmiştir. Bu işlem siyah renkli asetonitril süspansiyonunun rengi açık sarı ve çözelti şeffaf olana dek devam ettirilmiştir ve böylece çözelti kullanılabilir hale getirilmiştir.

DMF:DMSO çözücülü perovskit çözeltisinin hazırlanmasında Zhang ve ark. tarafından yayınlanan prosedür kullanılmıştır (Zhang ve ark., 2016). Buna göre perovskit katmanı 6000 rpm'de 30 s dinamik olarak kaplanırken 7 s sonra filme sekonder bütanol (sec-but) eklenmiştir ve hemen 100⁰ C'ye alınmıştır. Filmin 30 s içinde kararıp ayna gibi olması beklenmiştir. 100⁰ C'deki ısıtıcıda 15 dk bekletilmiştir.

3.2.1.6. Boşluk transfer tabakasının hazırlanması

FTO kaplı camlar da boşluk transfer tabakası için P3HT kullanılmıştır. P3HT çözeltisi 20 mg/1 mL klorbenzen içinde %2 lik olacak şekilde hazırlanmıştır ve 1 gece 45-50°C'de bekletilmiştir. Perovskit katmanının üzerine sitatik olarak 1500 rpm'de 15 s ve 2000 rpm'de 15 s olmak üzere iki basamakta kaplanarak tamamen kuruması için 85°C'de 15 dk ısıtılmıştır. P3HT kaplanmış yüzeyle Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. P3HT kaplanmış yüzeyler

ITO kaplı camlar için yapılan çalışmalarda boşluk transfer malzemesi olarak PEDOT:PSS kullanılmıştır. Çözelti gece boyunca manyetik karıştırıcı üzerinde bırakılarak homojen karışım elde edilmesi sağlanmıştır. Yüzey üzerine 2000 rpm 60 s’de statik olarak kaplanmıştır. 120°C’de 10 dk bekletilerek kurutulmuştur.

3.2.1.7. Elektrotların kaplanması

Son olarak cihaz üretiminin tamamlanması için kullanılacak HTM’nin enerji aralığına uygun elektrot olarak FTO’lu konseptler için Ag, ITO’lu konseptler için ise Al azot atmosferi altında glove box içerisine entegre edilmiş fiziksel buhar biriktirme (PVD) sistemiyle kaplanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Fiziksel buhar biriktirme (PVD) sistemi

3.2.1.8. Ölçümler

Hazırlanan güneş hücrelerinin ölçümleri AM 1,5 güneş ışığı simülatörü entegre edilmiş glove box sistemi içinde yapılmıştır (Şekil 3.7). Öncelikle güneş ışığı simülatörünün verdiği ışık şiddeti belirlenecek ve ölçümler sırasında bu rakamlar gerçek verimliliği bulmak amacıyla kullanılmıştır. Hücre ölçümleri Keithley 2400 cihazı ile yapılarak akım-voltaj grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 3.7 Solar simülatör ile ölçüm

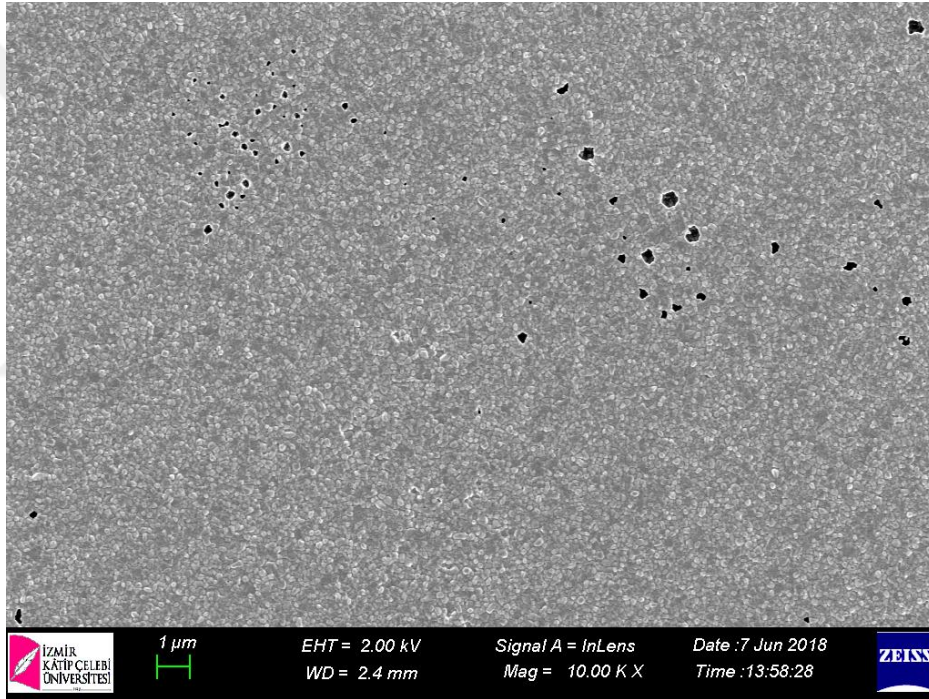
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

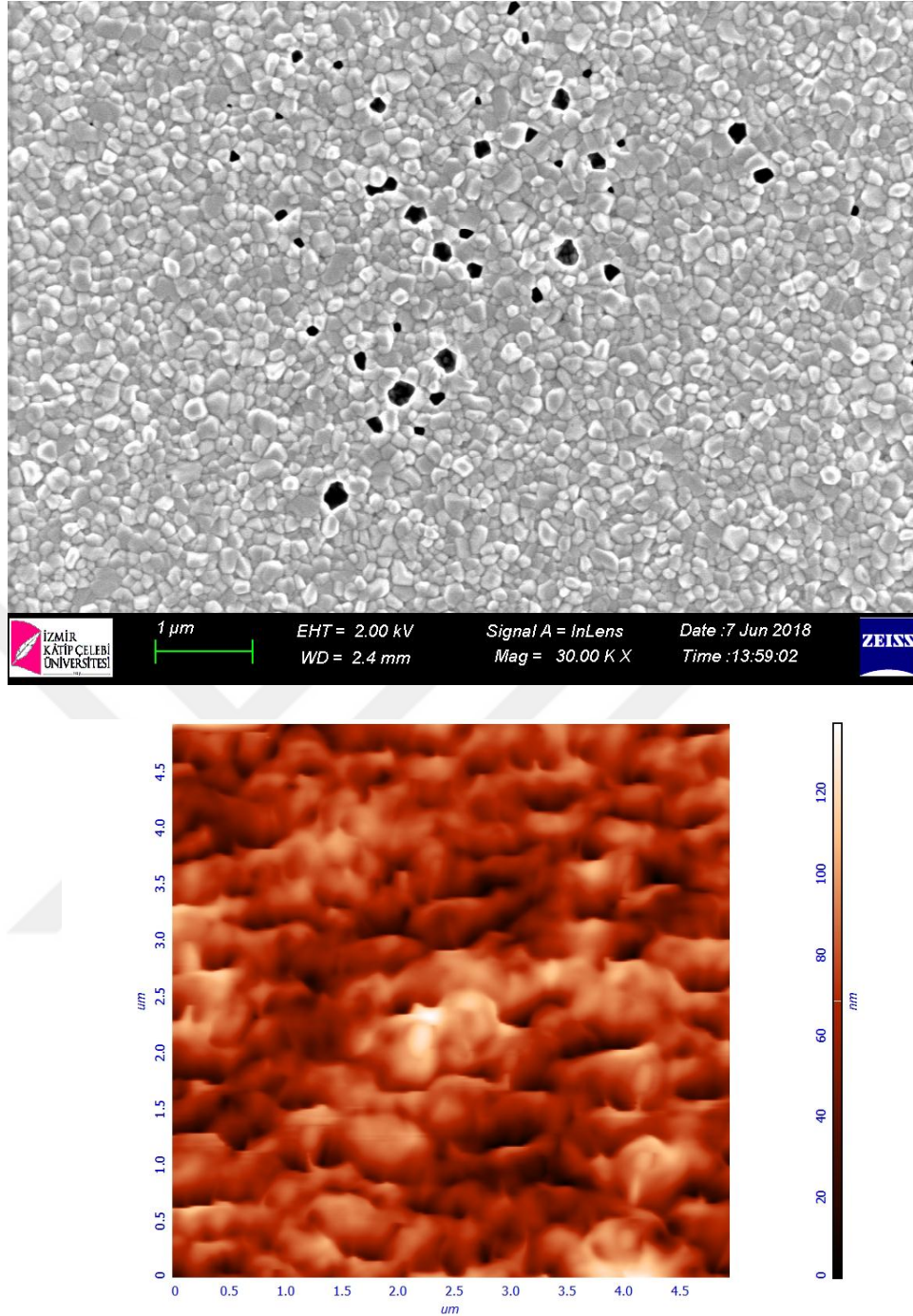
4.1.Perovskit Film Yüzeylerinin İncelenmesi (SEM ve AFM)

Bilindiği üzere perovskit güneş hücrelerinde perovskit kristallerinin oluşumu, kristal parçacıklarının büyüklüğü ve filmin kalitesi, kristal parçacıkları arasında kalan boşlukların büyüklüğü gibi parametreler hücre performansını ciddi şekilde etkilemektedir. Bir perovskit güneş hücresinin yüksek verimle çalışmasında en önemli kısım perovskit filmin düzgün oluşması ve yüzeyde çatlak kırık ve deliklerin olmamasıdır. Literatürde farklı çözücüler ve farklı yöntemler kullanılarak düzgün perovskit kristali ve filmlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında kendi tasarımlarımız ve laboratuvar şartlarımıza en uygun perovskit çözücü sistemini bulmak amacı ile Asetonitril, Gama büritolakton ve Dimetilsülfoksit:dimetilformamid çözücü sistemleri denenmiştir. Deneysel kısımda detayları verilen bu çözücüler ile hazırlanan filmlerin SEM ve AFM görüntüleri alınarak en kaliteli perovskit filmin elde edilebileceği çözelti tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak burada şunu belirtmekte fayda vardır. SEM ve AFM görüntülerinde çok düzgün görünen bir filmin güneş hücresinde yüksek verim vermeyebilir. Bu nedenle SEM ve AFM çalışmaları hücrelerin performansları ile karşılaştırılarak desteklenmeye çalışılmıştır.

Şekil 4.1.(a ve b) de asetonitril çözeltisi kullanılarak elde edilen perovskit filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir. Görüntülerde net bir şekilde film üzerinde oluşan delikler göze çarpmaktadır. Bu delikler konseptte göre PCBM veya P3HT kaplandığında kapanacak olsa da kontak elektrotun kaplanmasından sonra ciddi sorunlara neden olabilen problemlerdir. Kontak elektrotların delik olmayan bölgelere denk gelmesi halinde hücre yüksek verimle çalışabilir ancak delikli bölgeye denk gelmesi durumunda sızıntı akımlar ya da kısa devreye neden olarak performansı düşürür. Normalde literatürde asetonitril çözeltisi kullanıldığında ortalama verimler %12-16 arasında ve yüksek tekrarlanabilir özelliktedir (Noel ve ark., 2017). Ancak bizim laboratuvar koşullarında film oluşumu sırasında bu deliklerin oluşumu engellenememektedir. Ortamdaki nem sıcaklık gibi parametreler bunda etkindir. Asetonitril çözeltisinde bilindiği üzere metilamin kurşun iyodür ile kompleks yaparak asetonitril içinde çözünebilir hale gelmektedir. Aynı şekilde metilamonyum iyodür de asetonitril içinde çözünebilmekte ve film kaplanırken asetonitrilin kaynama noktasının düşük olması yanında metil aminin hızla ortamdaki uzaklaşması ile dönü sırasında kurşun iyodür ve

metilamonyum iyödür hızla birleşerek perovskit materyalini oluşturmakta çözücünün hızla buharlaşması da ani bir çökmeye neden olarak büyük kristal parçacıklarının oluşumuna neden olmaktadır. Böylece geniş bir alan üzerinde düzgün bir kristal yapı elde edilebilmektedir. Perovskit bileşenlerinin asetonitril içinde iyi çözünememesi, molar oranın tutturulamaması, ortamdaki nem ve sıcaklık gibi nedenler bu mekanizmayı olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla bizim laboratuvar koşullarında yapılan birçok denemede bu deliklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Zaten asetonitril çözeltisi ile yapılan hücrelerde verimlerin çok düşük çıkması da bunu desteklemektedir. Bu hücrelerin verimleri düşük çıktığından sonuçların içine konulmamıştır.

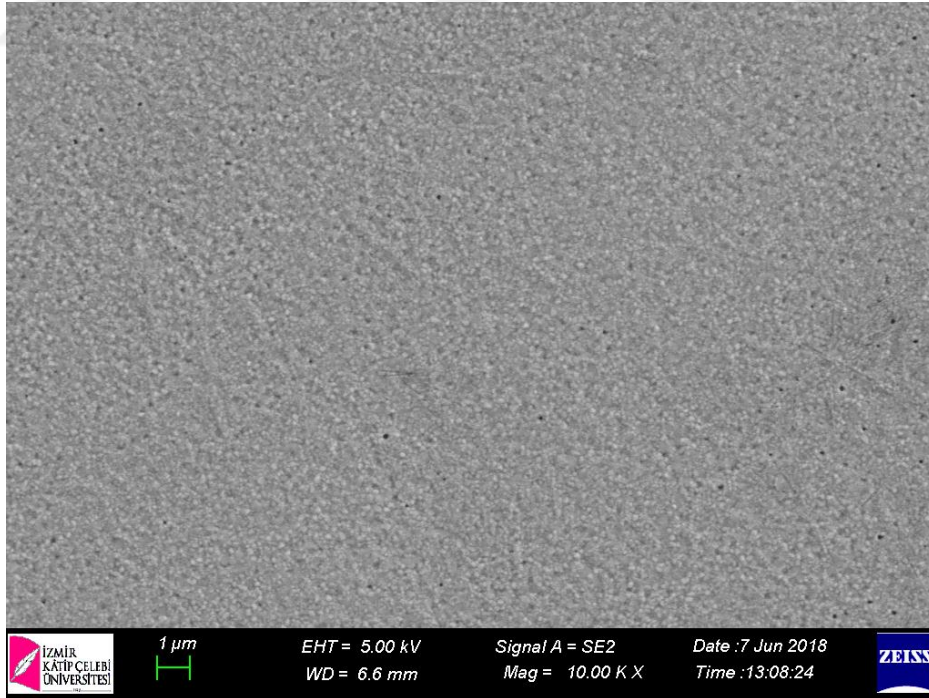


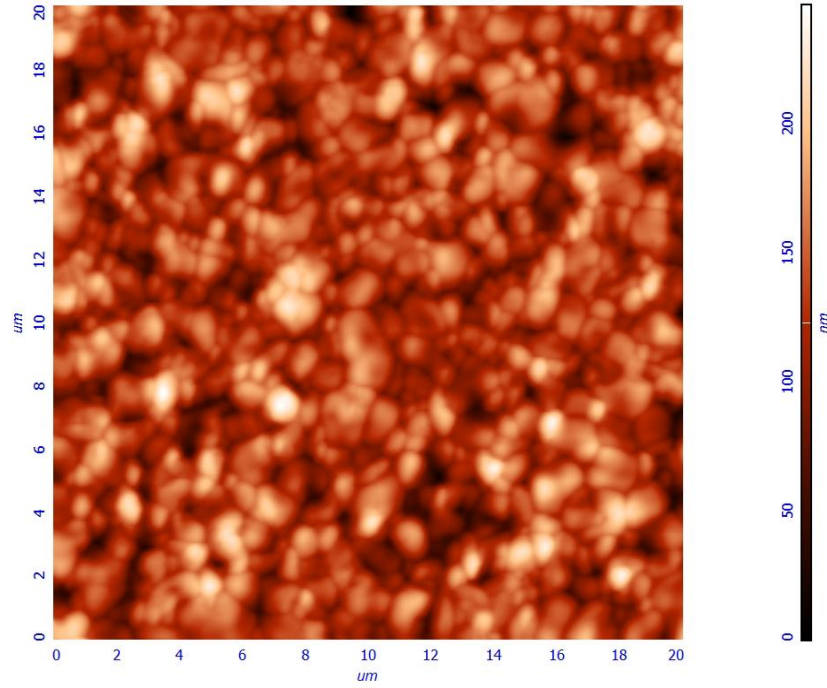


Şekil 4.1. Asetonitril çözeltisinden elde edilmiş Perovskit filmlerin SEM (a ve b) AFM (c) görüntüleri.

Gama bütirolakton çözeltisinden elde edilen perovskit filmin SEM görüntüsü ise Şekil 4.2’de verilmiştir. GBL kaynama noktası yüksek bir çözücü olup kurşun iyodür ve metilamonyum iyodürü çok iyi çözebilmektedir. Bu çözücü kullanıldığında oluşan filmin kurutulması ve düzgün perovskit yapının elde edilmesinde önceleri ciddi sorunlar yaşanmış iken Seok ve arkadaşları tarafından antisolvent yıkaması prosedürünün keşfinden sonra GBL çözeltisi ile çok yüksek verimlerle çalışan hücreleri yapılmaya başlanmıştır (Zheng ve ark., 2015). Bu işlemde kristal oluşum mekanizması şu şekilde

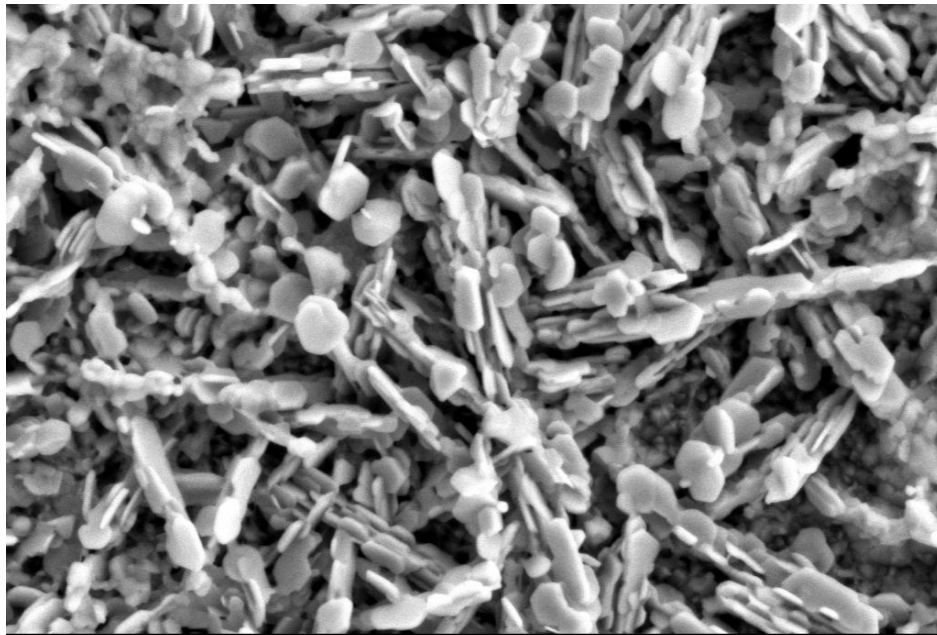
işler. GBL de çözünmüş perovskit materyalleri spin ile destek materyali üzerine kaplanır. Kaplama sırasında dinamik halde yani dönü devam ederken film üzerine tolüen vb perovvskit metaryallerini çözmeyen yani çöktüren bir çözücü damlatılır. Damlatılan çözücü miktarı ve damlatma zamanı çok kritiktir (Kara ve ark., 2016). Damlatma öncesi spin hızı 1000 rpm civarında iken damlatma sırasında 5000 rpm e kadar çıkılmalıdır. Burada film damlatmadan hemen önce GBL den elde edilen filmin ne tam kuruması ne de çok ıslak olması istenir. Yani kritik nokta GBL den elde edilen filmin yumuşak halde kuru-ıslak arası bir durumda olmasıdır. Dönü hızının aniden 5000 rpm e çıkarılması bunu sağlar. Tam bu anda damlatılan antisolvent (tolüen vb) perovskit materyalin ani çökmesine neden olur. Film tamamen ıslak olmadığı için de kristaller olduğu yere çökerek katı bir matriks oluştururlar. Eger GBL film tam kurumuş ise damlatılan antisolvent tüm yüzeye yayılamayacağından düzgün perovskit kristaller oluşamaz. Bu yüzden bu metodu kullanırken laboratuvar koşullarında ciddi bir optimizasyon gereklidir. Bu çalışmada elde edilen perovskit filmin SEM görüntüsüne (Şekil 4.2) bakıldığında filmin çok düzgün bir şekilde oluştuğu, kristal sınır bölgelerinde boşlukların neredeyse yok denecek kadar az oluştuğu gözlemlenmiştir.





Şekil 4.2. GBL çözeltisinden elde edilmiş Perovskit filmlerin SEM (a) AFM (b) görüntüleri.

DMSO:DMF çözücü sistemi kullanılarak elde edilen perovskit filmlerin SEM görüntüleri de şekil 4.3 (a ve b) de verilmiştir. DMSO:DMF sisteminde mantık çok yoğun hazırlanmış perovskit çözeltisinin, ki konsantrasyonu GBL nin 2 katından fazladır, anti solvent olarak sec-bütanol ile yıkanmasıdır. Bu şekilde mekanizma olarak GBL çözeltisine benzer şekilde perovskit kristalleri oluşur. DMSO GBL'ye oranla perovskit materyallerini daha iyi çözen yüksek kaynama noktalı bir çözücüdür. DMSO moleküllerinin kurşun iyodür ile kompleks yapabilme özelliği iyi çözünmeyi sağlama yanında metil amonyum iyodür ile perovskit oluşumunu zorlaştıran bir etkiye sahiptir. Sec-bütanolün anti solvent olarak eklenmesi ve ardından yapılan termal işlem perovskit malzemenin oluşumunu sağlar. Şekil 4.3' te görüleceği üzere çok büyük perovskit kristalleri oluşmuş ancak film yüzeyi de bir o kadar pürüzlüdür. Bu pürüzler üst katman malzemelerin kaplanmasını ve homojen dağılmasını engellediğinden hücre performansı düşük çıkmaktadır. Ancak şunu belirtmekte fayda vardır. DMSO:DMF sisteminde düzgün elde edilen filmler ACN ve GBL çözeltilerinden elde edilene oranla çok daha yüksek verimli perovskit güneş hücrelerinin elde edilmesini sağlar. Ancak burada sorun tekrarlanabilirliktir. ACN de olduğu gibi bu çalışmanın yapıldığı laboratuvar koşullarında tekrarlanabilirlik düşük çıkmaktadır.



İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ

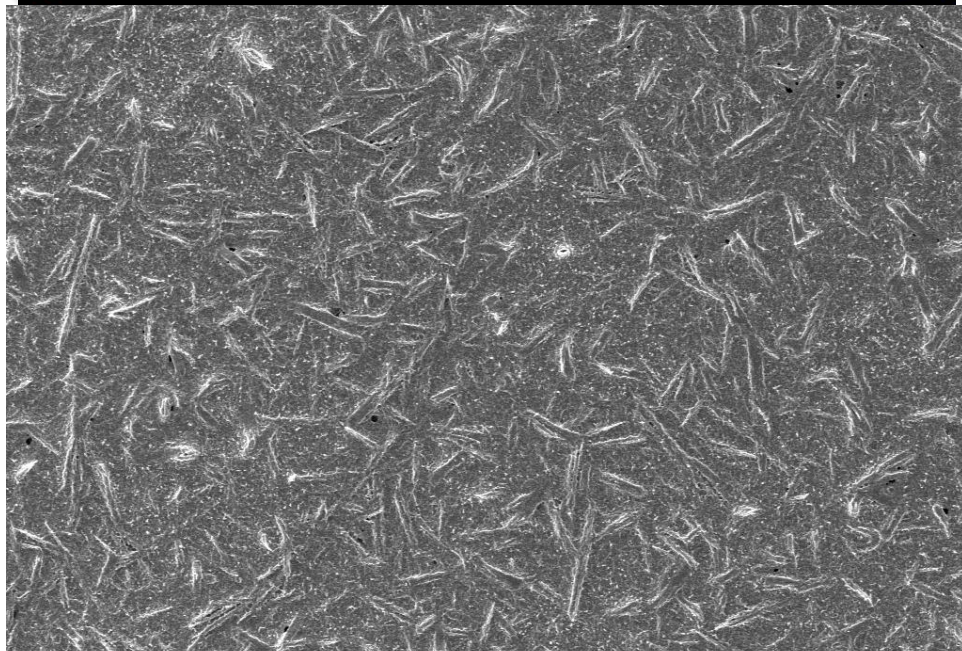
1 μm

EHT = 5.00 kV
WD = 6.3 mm

Signal A = SE2
Mag = 30.00 K X

Date : 7 Jun 2018
Time : 10:39:55

ZEISS



İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ

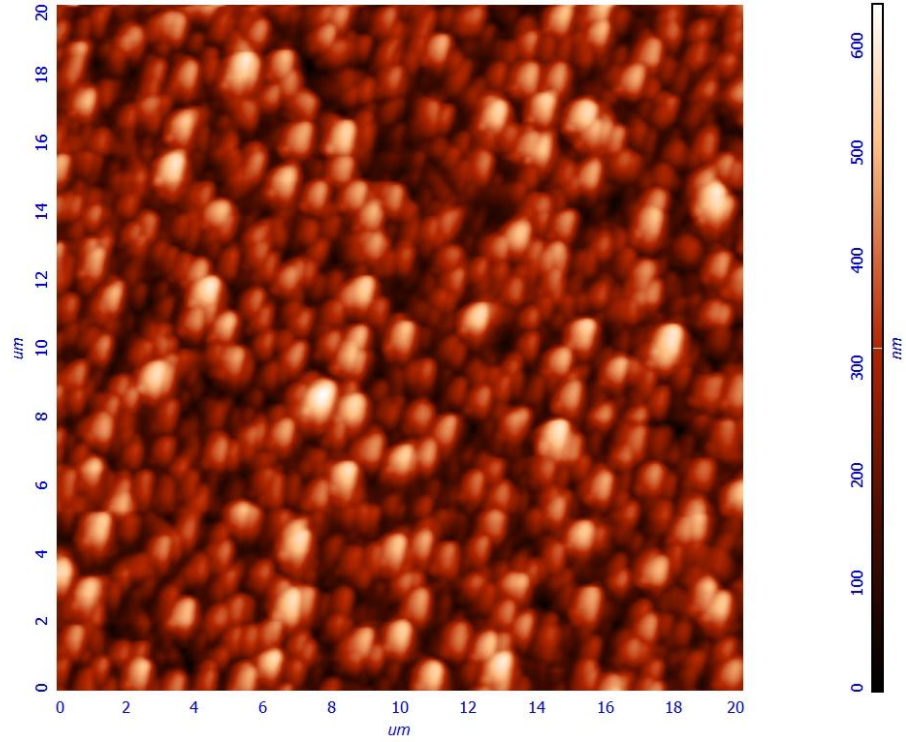
2 μm

EHT = 3.00 kV
WD = 2.3 mm

Signal A = InLens
Mag = 5.00 K X

Date : 7 Jun 2018
Time : 9:51:03

ZEISS



Şekil 4.3. DMSO:DMF çözeltisinden elde edilmiş Perovskit filmlerin SEM (a ve b) AFM (c) görüntüleri.

4.2. Perovskit Güneş Hücresi Sonuçları

Ters geometride elde edilen perovskit güneş hücrelerinde arayüzey modifikasyonu ITO yüzey ile PEDOT arasına uygulanmıştır. Arayüzey modifikasyonunda SAM yanında spin kaplama ile ince bir tabaka da kaplanması ile etkiler araştırılmış ve farklı konseptlerde yapılan denemeler ve sonuçları aşağıda tablo 4.1 de sunulmuştur.

Konsept:

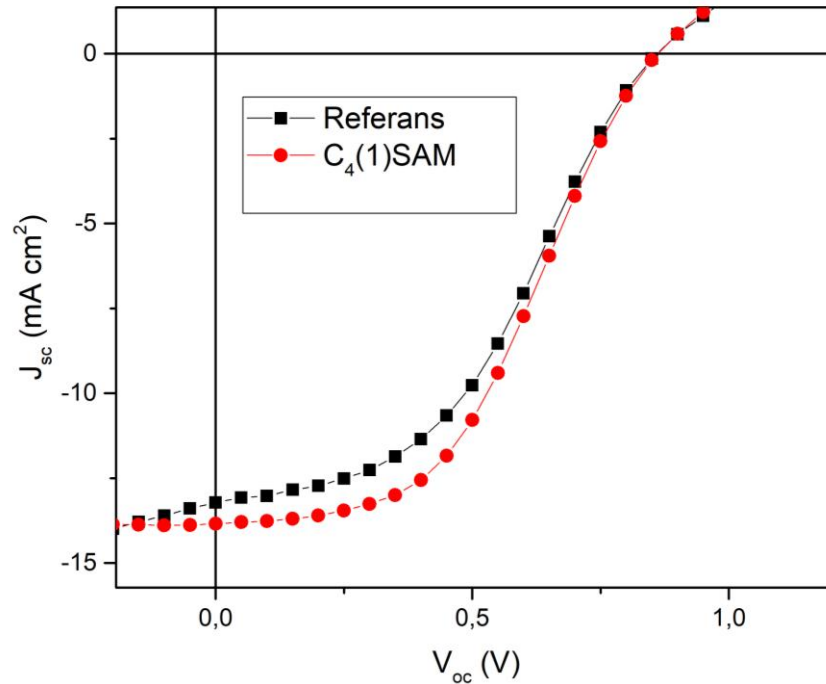
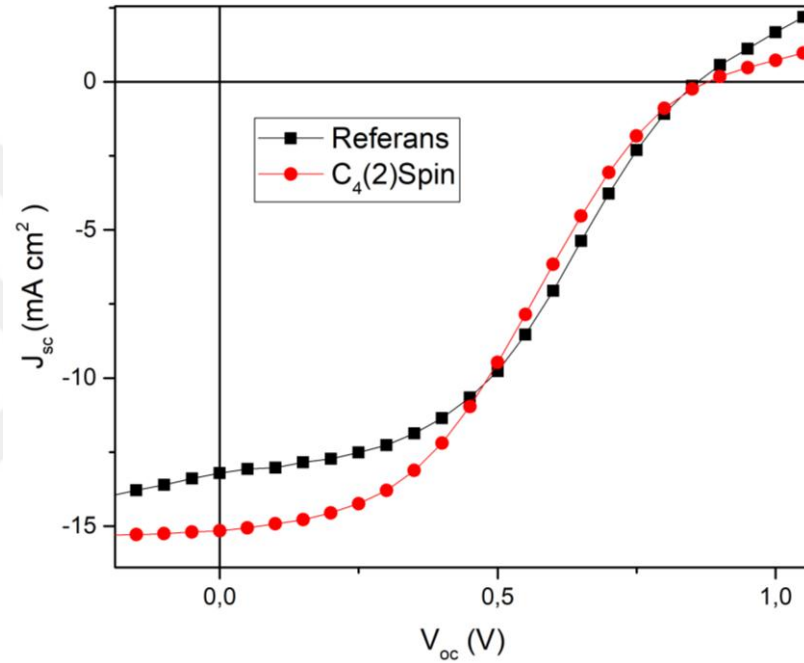
1. ITO/PEDOT/PEROVSKIT(GBL)/PCBM/Al
2. ITO/C₄(1)(SAM)/PEDOT/PEROVSKIT(GBL)/PCBM/Al
3. ITO/ C₄(2)(SAM)/PEDOT/PEROVSKIT(GBL)/PCBM/Al
4. ITO/ C₄(1)(Spin)/PEDOT/PEROVSKIT(GBL)/PCBM/Al
5. ITO/ C₄(2)(Spin)/PEDOT/PEROVSKIT(GBL)/PCBM/Al

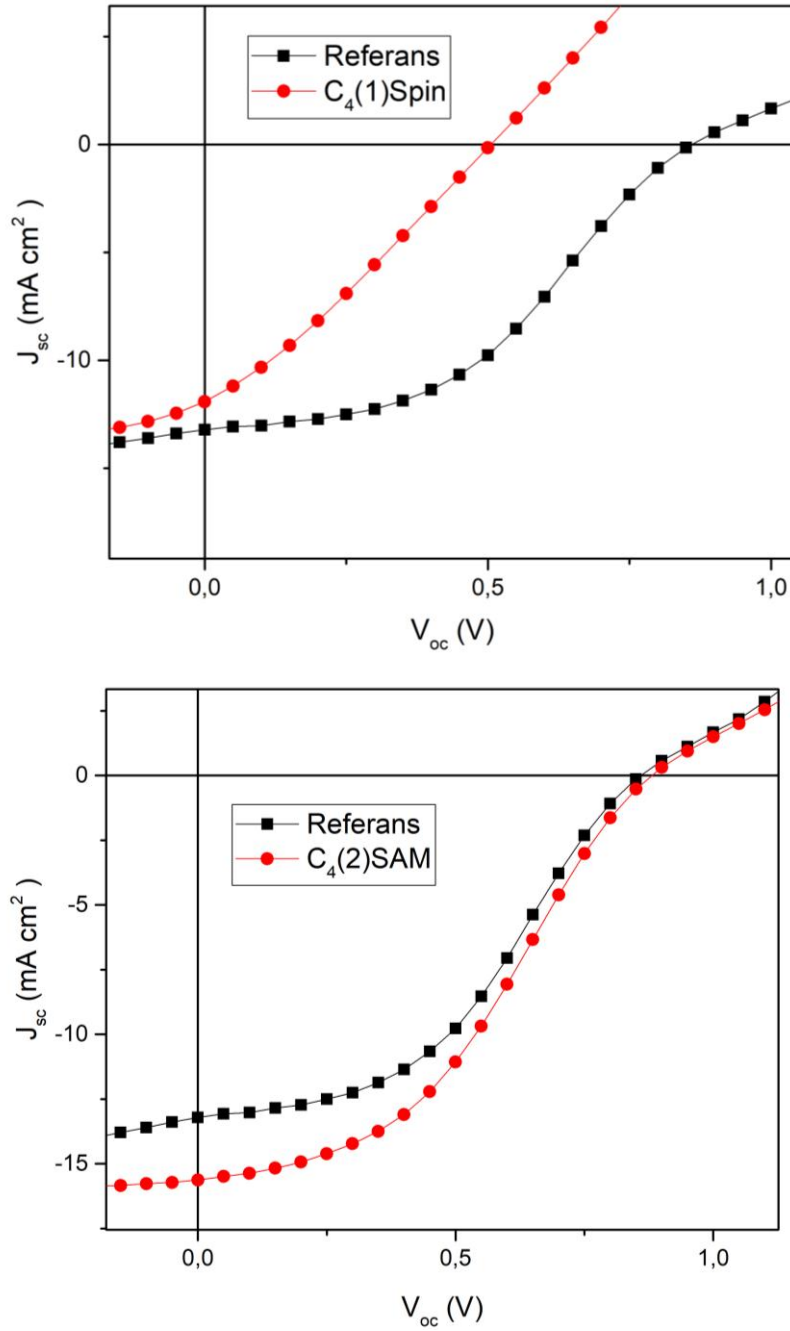
Çizelge 4.1. Ters geometrideki perovskit güneş hücrelerinin performans değerleri

	Sayıcı Elektrot	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	Verim (%)
Referans	E1	0,900	14,40	33,94	5,502
	E2	0,850	13,21	43,47	6,104
	E3	0,900	13,64	37,95	5,827
	E4	0,850	14,32	36,92	5,620
	E5	0,900	13,83	37,74	5,869
	E6	0,900	13,85	32,41	5,052
Konsept 2	E1	0,850	13,84	45,83	6,741
	E2	0,750	13,23	35,63	4,420
	E3	-	-	-	-
	E4	0,800	12,05	38,94	4,694
	E5	-	-	-	-
	E6	-	-	-	-
Konsept 3	E1	0,900	15,62	39,34	6,915
	E2	0,550	0,692	27,80	0,132
	E3	0,850	14,52	36,35	5,610
	E4	0,900	15,21	36,31	6,216
	E5	0,750	5,843	38,75	2,123
	E6	0,900	15,24	38,64	6,629
Konsept 4	E1	-	-	-	-
	E2	0,500	11,91	28,96	2,156
	E3	-	-	-	-
	E4	0,600	8,873	29,19	1,943
	E5	-	-	-	-
	E6	-	-	-	-
Konsept 5	E1	0,900	15,15	36,16	6,166
	E2	0,850	11,47	36,15	4,407
	E3	0,900	14,38	35,07	5,675
	E4	0,900	15,23	34,93	5,985
	E5	0,800	14,41	37,42	5,393
	E6	0,950	15,54	32,74	6,043

Tablo 4.1 incelendiğinde genel olarak arayüzey modifikasyonunun verimlerde iyileşmeye yol açtığı gözlemlenmektedir. Referans perovskit güneş hücresinde %6.1 civarında olan verim değerleri konsept 3 için %6.9 gibi rakamlara ulaşarak %13'lük bir artış göstermiştir. Öte yandan SAM tekniği daha iyi sonuçlar verirken spinle yapılan arayüzey modifikasyonunda verimde artış gözlenmemiş hatta konsept 4 için düşme göze batmaktadır. Tekrarlanan değerlerden elde edilen sonuçlar ortalama değer olarak tabloda verildiğinden bunun deneysel bir hata olarak değerlendirilmesi uygun bulunmamıştır. SAM tekniğinin spine oranla daha iyi sonuç vermesinin nedeni SAM tekniğinde ITO tabaka üzerinde biriken kalıksaren moleküllerinin tek tabaka halinde olması ve bunun elektron iletimini engelleyecek düzeyde bir kalınlığa neden olmaması olarak düşünülmüştür. Spin tekniğinde ise kalıksaren tabaka daha kalın olmakta ve belli bir kalınlık sonrasında elektron akışını engelleyecek düzeyde bir bariyer oluşturmaktadır. Öte yandan elde edilen güneş hücrelerinin IV grafikleri şekil 4.4'te

sırasıyla verilmiştir. Burada dikkat çeken IV grafiklerinde çift diyot karakteristiğinin oluşmasıdır. Bu durum verimlerde ciddi düşmelere neden olan bir olaydır. Bunun oluşma nedeni arayüzeylerde tam eklem oluşmaması, bir başka deyişle morfolojideki bozukluklar nedeni ile bir direnç tabakasının oluşması böylece rekombinasyonda bir artma olarak açıklanabilir. Bu durum verimliliği ciddi anlamda düşürmektedir. Oysa IV grafiğindeki gidişata bakıldığında bu direncin olmaması durumunda FF elde edilen değerden çok daha iyi olacak ve verimlerde %10'ların üzerine taşınacaktır. Gözlemlenen kısa devre akımı ve açık devre gerilimleri de bunu desteklemektedir.





Şekil 4.4. ITO'lu konseptlerin IV grafikleri

Normal geometrideki pervovkit güneş hücrelerinde de ters geometride olduğu gibi SAM ve spin tekniği uygulanmış bunun yanında antisolvent yıkamasında kullanılan tolüen içine de kaliskaren doplanarak yıkama çözeltisi olarak kullanılmış ve denemeler yapılmıştır. Bu konseptlerde arayüzey modifikasyonu (antisolvent çözeltisi doplaması hariç) yoğun TiO_2 tabaka ile perovskit katman arasına uygulanmıştır. Tablo 4.2 de normal geometrideki düzlemsel perovskit güneş hücrelerinin performans değerleri verilmiştir.

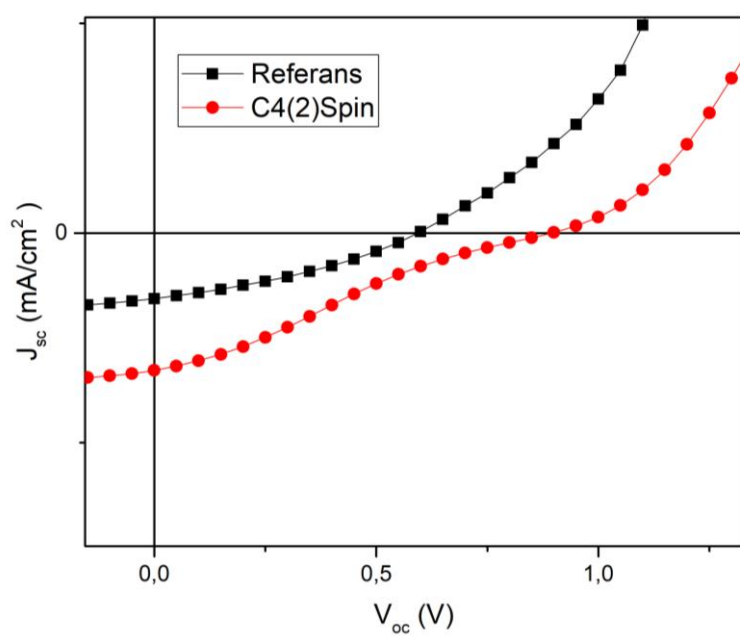
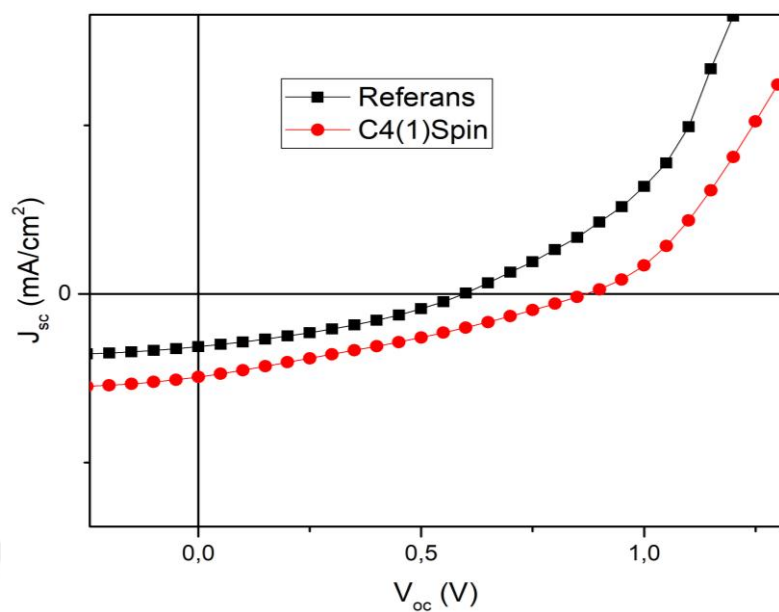
Konsept:

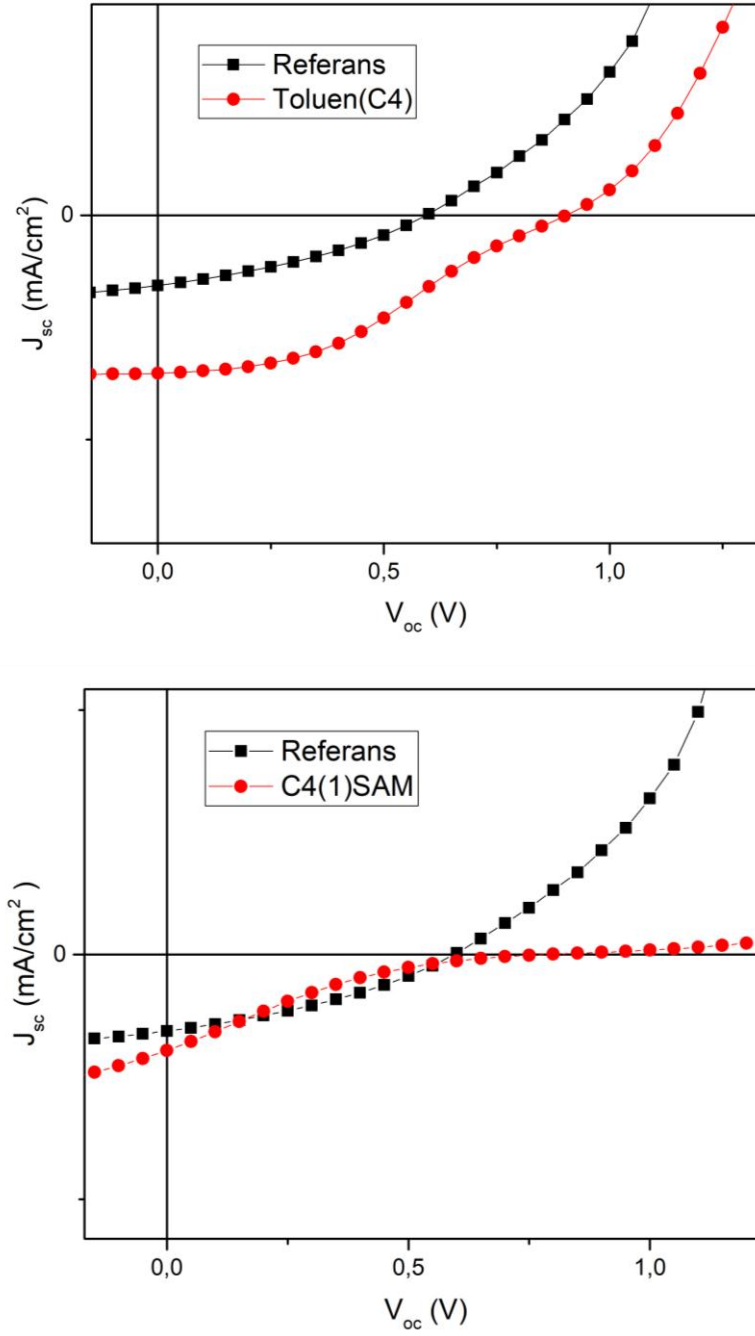
1. FTO/TiO₂/PCBM/Perovskit(GBL)/P3HT/Ag
2. FTO/TiO₂/C4(1)SAM/PCBM/Perovskit(GBL)/P3HT/Ag
3. FTO/TiO₂/C4(2)SAM/PCBM/Perovskit(GBL)/P3HT/Ag
4. FTO/TiO₂/C4(1)SPiN/PCBM/Perovskit(GBL)/P3HT/Ag
5. FTO/TiO₂/C4(2)SPiN/PCBM/Perovskit(GBL)/P3HT/Ag
6. FTO/TiO₂/PCBM/Perovskit(GBL)(Toluen-C4(2))/P3HT/Ag

Çizelge 4.2. Normal geometrideki düzlemsel perovskit güneş hücrelerinin performans değerleri

	Sayıcı Elektrot	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	Verim (%)
Referans	E1	0,100	6,429	30,69	0,246
	E2	-	-	-	-
	E3	-	-	-	-
	E4	0,600	7,817	34,24	2,007
	E5	0,600	7,300	34,45	1,886
	E6	0,600	6,009	32,47	1,463
Konsept 2	E1	0,850	9,926	12,99	1,370
	E2	0,800	7,788	17,40	1,355
	E3	0,800	9,811	15,25	1,496
	E4	-	-	-	-
	E5	-	-	-	-
	E6	-	-	-	-
Konsept 3	E1	0,800	7,517	12,33	0,927
	E2	-	-	-	-
	E3	-	-	-	-
	E4	0,600	6,469	56,33	2,733
	E5	0,750	9,337	14,83	1,298
	E6	0,700	8,808	15,57	1,200
Konsept 4	E1	-	-	-	-
	E2	-	-	-	-
	E3	0,850	12,32	30,83	4,038
	E4	0,900	15,98	22,10	3,975
	E5	0,950	15,37	18,92	3,454
	E6	0,950	16,18	19,90	3,824
Konsept 5	E1	0,900	16,38	23,58	4,346
	E2	-	-	-	-
	E3	-	-	-	-
	E4	0,800	14,68	27,26	4,004
	E5	0,900	15,21	23,18	3,967
	E6	0,950	13,70	18,39	2,994
Konsept 6	E1	-	-	-	-
	E2	-	-	-	-
	E3	0,900	17,61	36,87	7,305
	E4	0,850	14,74	32,96	5,164
	E5	0,900	15,14	32,22	5,492
	E6	1000	14,75	24,81	4,577

Normal geometride ki perovskit güneş hücrelerinde arayüzlere kaliksaren türevleri ile yapılan modifikasyonda ters geometride olduğu gibi verimlerde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Bir konsept hariç diğerlerinin tamamında %100 e yakın verim artışı olmaktadır. Anca genel verim değerlerine bakıldığında perovskit hücreler için referans verimi %2 lerde kaldığından modifikasyon sonucu elde edilen %4 veya 7 gibi değerlerin anormal bir verim artışı gibi değerlendirilmesi yerine SAM veya spin ile yapılan TiO₂-perovskit arayüzey modifikasyonunun verimlerde iyileşme sağladığı şeklinde değerlendirmek daha uygun görülmüştür. Öte yandan normal geometrideki hücrelerde referans dahil verimlerin düşük çıkmasının nedeninin perovskit katmanının yüzeyinde oluşan bozukluklardan ötürü olduğu düşünülmektedir. Bu durumun düzeltilebilmesi için antisolvent içine kaliksaren katkılanması yapılmıştır. Bu denemede elde edilen sonuç oldukça umut vericidir. Antisolvent içine kaliksaren doplanması ile yapılan denemede %7.3'lere ulaşan verim değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni perovskit katmanının kristallenmesi sırasında oluşan çatlakların kaliksaren tarafından doldurulan tuzak etkilerinin yok edilmesidir. Şekil 4.5'te normal geometrideki güneş hücrelerinin IV grafikleri verilmiştir.





Şekil 4.5. FTO'lu konseptlerin IV grafikleri

Normal geometrideki güneş hücrelerinde ters geometride görülen çift diyot karakteri daha az gözlemlenmiştir. Bunun nedeni P3HT'nin PCBM'ye oranla perovskit yüzeyi daha düzgün kapatması olarak düşünülmüştür. Ancak yine de verimler beklenenden daha düşüktür. Tekrar denemeler yapılmış elde edilen en iyi sonuçlar tablolara dökülerek yorumlanmaya çalışılmıştır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan çalışmalarda SAM veya spin tekniği ile arayüzeylerin modifiye edilmesinin genel olarak verim değerlerini yükselttiği gözlemlenmiştir. Ters ve düz geometrilerin her ikisinde de benzer artışların gözlemlenmiş olması arayüzey modifikasyonunun önemini bir kez daha kanıtlamıştır. Burada özellikle belirtmemiz gereken referans hücre verimlerinin ortalama değerlerinin düşük kalması nedeni ile arayüzey modifikasyonunun verim üzerine etkisinin istatistiksel olarak hesaplanmasının tam doğru sonuçlar vermeyeceğidir. Referans hücrelerde ortalama verimlerin %12-14 arası olması durumunda daha doğru sonuçlara ulaşılabilecektir. Bu çalışmaların yapıldığı laboratuvar koşullarında bu ortalama değerlere ulaşamamış olması da bir eksiklik olarak not edilebilir.

5.2 Öneriler

Arayüzey modifikasyonunun önemi bu çalışma ile bir kez daha ortaya çıkmıştır. Yukarı da da belirtildiği üzere istatistiksel bir sonuç almak adına ortalama verim değerlerinin en az %12 olduğu optimizasyonlar yapılarak çalışma daha da detaylandırılmalı ve arayüzey modifikasyonunun verim üzerine tam anlamı ile ne kadar etki ettiği öngörülebilmelidir. Öte yandan antisolvent içine katkı çok daha ilginç sonuçlar vermiş olup bu çalışmanın daha sistematik bir şekilde yapılarak optimize edilmesi çok daha yüksek verimli güneş hücrelerinin üretimini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abrusci, A., Stranks, S. D., Docampo, P., Yip, H.-L., Jen, A. K.-Y. ve Snaith, H. J., 2013, High-performance perovskite-polymer hybrid solar cells via electronic coupling with fullerene monolayers, *Nano letters*, 13 (7), 3124-3128.
- Adams, W. G. ve Day, R. E., 1877, V. The action of light on selenium, *Proceedings of the Royal Society of London*, 25 (171-178), 113-117.
- Al-Ashouri, A., Magomedov, A., Roß, M., Jošt, M., Talaikis, M., Chistiakova, G., Bertram, T., Márquez, J. A., Köhnen, E. ve Kasparavičius, E., 2019, Conformal monolayer contacts with lossless interfaces for perovskite single junction and monolithic tandem solar cells, *Energy & Environmental Science*, 12 (11), 3356-3369.
- Alkaya, A., 2005, Amorf silikon güneş pillerinde fototaşıyıcı rekombinasyon kinetiği, *MERSİN ÜNİVERSİTESİ*.
- An, Q., Fassel, P., Hofstetter, Y. J., Becker-Koch, D., Bausch, A., Hopkinson, P. E. ve Vaynzof, Y., 2017, High performance planar perovskite solar cells by ZnO electron transport layer engineering, *Nano Energy*, 39, 400-408.
- Arora, N., Dar, M. I., Hinderhofer, A., Pellet, N., Schreiber, F., Zakeeruddin, S. M. ve Grätzel, M., 2017, Perovskite solar cells with CuSCN hole extraction layers yield stabilized efficiencies greater than 20%, *Science*, 358 (6364), 768-771.
- Arslan, İ., 2018, Tekirdağ koşullarında polikristal ve monokristal tip pv güneş panellerinin verimlilik karşılaştırılması, *Namık Kemal Üniversitesi*.
- AYDOĞAN, D. Ş., 2016, Katkılı perovskit güneş pillerinin üretimi ve fotovoltaik karakterizasyonu.
- Azmi, R., Hadmojo, W. T., Sinaga, S., Lee, C. L., Yoon, S. C., Jung, I. H. ve Jang, S. Y., 2018a, High-Efficiency Low-Temperature ZnO Based Perovskite Solar Cells Based on Highly Polar, Nonwetting Self-Assembled Molecular Layers, *Advanced Energy Materials*, 8 (5), 1701683.
- Azmi, R., Lee, U.-H., Wibowo, F. T. A., Eom, S. H., Yoon, S. C., Jang, S.-Y. ve Jung, I. H., 2018b, Performance Improvement in Low-Temperature-Processed Perovskite Solar Cells by Molecular Engineering of Porphyrin-Based Hole Transport Materials, *ACS applied materials & interfaces*, 10 (41), 35404-35410.
- Bagher, A. M., Vahid, M. M. A. ve Mohsen, M., 2015, Types of solar cells and application, *American Journal of optics and Photonics*, 3 (5), 94.
- Bai, Y., Chen, H., Xiao, S., Xue, Q., Zhang, T., Zhu, Z., Li, Q., Hu, C., Yang, Y. ve Hu, Z., 2016a, Effects of a molecular monolayer modification of NiO nanocrystal layer surfaces on perovskite crystallization and interface contact toward faster hole extraction and higher photovoltaic performance, *Advanced Functional Materials*, 26 (17), 2950-2958.

- Bai, Y., Dong, Q., Shao, Y., Deng, Y., Wang, Q., Shen, L., Wang, D., Wei, W. ve Huang, J., 2016b, Enhancing stability and efficiency of perovskite solar cells with crosslinkable silane-functionalized and doped fullerene, *Nature communications*, 7 (1), 1-9.
- Boz, O. H., 2011, Günümüzün alternatif enerji kaynağı: Fotovoltaik güneş pilleri, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Böhmer, V., 1995, Calixarenes, macrocycles with (almost) unlimited possibilities, *Angewandte Chemie International Edition in English*, 34 (7), 713-745.
- Burschka, J., Pellet, N., Moon, S.-J., Humphry-Baker, R., Gao, P., Nazeeruddin, M. K. ve Grätzel, M., 2013, Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells, *Nature*, 499 (7458), 316-319.
- Cao, J., Lv, X., Zhang, P., Chuong, T. T., Wu, B., Feng, X., Shan, C., Liu, J. ve Tang, Y., 2018a, Plant Sunscreen and Co (II)/(III) Porphyrins for UV-Resistant and Thermally Stable Perovskite Solar Cells: From Natural to Artificial, *Advanced Materials*, 30 (27), 1800568.
- Cao, J., Wu, B., Chen, R., Wu, Y., Hui, Y., Mao, B. W. ve Zheng, N., 2018b, Efficient, hysteresis-free, and stable perovskite solar cells with ZnO as electron-transport layer: effect of surface passivation, *Advanced Materials*, 30 (11), 1705596.
- Chapin, D. M., Fuller, C. ve Pearson, G., 1954, A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power, *Journal of Applied Physics*, 25 (5), 676-677.
- Chen, F., Li, X., Hihath, J., Huang, Z. ve Tao, N., 2006, Effect of anchoring groups on single-molecule conductance: comparative study of thiol-, amine-, and carboxylic-acid-terminated molecules, *Journal of the American Chemical Society*, 128 (49), 15874-15881.
- Choi, K., Lee, J., Kim, H. I., Park, C. W., Kim, G.-W., Choi, H., Park, S., Park, S. A. ve Park, T., 2018, Thermally stable, planar hybrid perovskite solar cells with high efficiency, *Energy & Environmental Science*, 11 (11), 3238-3247.
- Choi, K., Choi, H., Min, J., Kim, T., Kim, D., Son, S. Y., Kim, G.-W., Choi, J. ve Park, T., 2020, A Short Review on Interface Engineering of Perovskite Solar Cells: A Self-Assembled Monolayer and Its Roles, *Solar RRL*, 4 (2), 1900251.
- Çoşkun, F. M., 2016, Katkılı perovskite güneş pillerinin üretimi ve fotovoltaik karakterizasyonu, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Duzhko, V. V., Dunham, B., Rosa, S. J., Cole, M. D., Paul, A., Page, Z. A., Dimitrakopoulos, C. ve Emrick, T., 2017, N-doped zwitterionic fullerenes as interlayers in organic and perovskite photovoltaic devices, *ACS Energy Letters*, 2 (5), 957-963.
- Eames, C., Frost, J. M., Barnes, P. R., O'regan, B. C., Walsh, A. ve Islam, M. S., 2015, Ionic transport in hybrid lead iodide perovskite solar cells, *Nature communications*, 6 (1), 1-8.

- Eperon, G. E., Stranks, S. D., Menelaou, C., Johnston, M. B., Herz, L. M. ve Snaith, H. J., 2014, Formamidinium lead trihalide: a broadly tunable perovskite for efficient planar heterojunction solar cells, *Energy & Environmental Science*, 7 (3), 982-988.
- Glunz, S., Preu, R. ve Biro, D., 2012, Crystalline silicon solar cells: state-of-the-art and future developments, *Comprehensive renewable energy*, 1, 353-387.
- Goetzberger, A., Hebling, C. ve Schock, H.-W., 2003, Photovoltaic materials, history, status and outlook, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 40 (1), 1-46.
- Gourdin, G., 2007, Solar Cell Technology, *Current State of the Art*.
- Green, M. A., 2006, Third generation photovoltaics.
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W. ve Dunlop, E. D., 2015, Characterizing electrical output of bifacial photovoltaic modules by altering reflective materials, *Prog. Photovolt. Res. Appl*, 23, 1-9.
- Gu, Z., Zuo, L., Larsen-Olsen, T. T., Ye, T., Wu, G., Krebs, F. C. ve Chen, H., 2015, Interfacial engineering of self-assembled monolayer modified semi-roll-to-roll planar heterojunction perovskite solar cells on flexible substrates, *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (48), 24254-24260.
- Gutsche, C. D. ve Muthukrishnan, R., 1978, Calixarenes. 1. Analysis of the product mixtures produced by the base-catalyzed condensation of formaldehyde with para-substituted phenols, *The Journal of Organic Chemistry*, 43 (25), 4905-4906.
- Gutsche, C. D. ve Stoddart, J. F., 1989, Monographs in Supramolecular Chemistry, Royal Society of Chemistry, Cambridge. 1.
- Günes, S. ve Sariciftci, N. S., 2008, Hybrid solar cells, *Inorganica Chimica Acta*, 361 (3), 581-588.
- Habisreutinger, S. N., Leijtens, T., Eperon, G. E., Stranks, S. D., Nicholas, R. J. ve Snaith, H. J., 2014, Carbon nanotube/polymer composites as a highly stable hole collection layer in perovskite solar cells, *Nano letters*, 14 (10), 5561-5568.
- Halme, J., 2002, Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests.
- Hanson, E. L., Schwartz, J., Nickel, B., Koch, N. ve Danisman, M. F., 2003, Bonding self-assembled, compact organophosphonate monolayers to the native oxide surface of silicon, *Journal of the American Chemical Society*, 125 (51), 16074-16080.
- Hoppe, H. ve Sariciftci, N. S., 2004, Organic solar cells: An overview, *Journal of materials research*, 19 (7), 1924-1945.
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A. A. ve Nahar, A., 2015, Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284-297.

- Hou, M., Zhang, H., Wang, Z., Xia, Y., Chen, Y. ve Huang, W., 2018, Enhancing efficiency and stability of perovskite solar cells via a self-assembled dopamine interfacial layer, *ACS applied materials & interfaces*, 10 (36), 30607-30613.
- Hou, Y., Du, X., Scheiner, S., McMeekin, D. P., Wang, Z., Li, N., Killian, M. S., Chen, H., Richter, M. ve Levchuk, I., 2017a, A generic interface to reduce the efficiency-stability-cost gap of perovskite solar cells, *Science*, 358 (6367), 1192-1197.
- Hou, Y., Scheiner, S., Tang, X., Gasparini, N., Richter, M., Li, N., Schweizer, P., Chen, S., Chen, H. ve Quiroz, C. O. R., 2017b, Suppression of hysteresis effects in organohalide perovskite solar cells, *Advanced Materials Interfaces*, 4 (11), 1700007.
- Hsiao, C.-C., Chang, C.-H., Hung, M.-C., Yang, N.-J. ve Chen, S.-A., 2005, Self-assembled monolayer modification of indium tin oxide anode surface for polymer light-emitting diodes with poly [2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1, 4-phenylene vinylene] for high performance, *Applied Physics Letters*, 86 (22), 223505.
- Imahori, H., Norieda, H., Yamada, H., Nishimura, Y., Yamazaki, I., Sakata, Y. ve Fukuzumi, S., 2001, Light-harvesting and photocurrent generation by gold electrodes modified with mixed self-assembled monolayers of boron–dipyrrin and ferrocene–porphyrin–fullerene triad, *Journal of the American Chemical Society*, 123 (1), 100-110.
- Jeon, N. J., Noh, J. H., Kim, Y. C., Yang, W. S., Ryu, S. ve Seok, S. I., 2014, Solvent engineering for high-performance inorganic–organic hybrid perovskite solar cells, *Nature materials*, 13 (9), 897-903.
- Kara, A., Duygu, Kara, K., Oylumluoglu, G., Yigit, M. Z., Can, M., Kim, J. J., Burnett, E. K., Gonzalez Arellano, D. L., Buyukcelebi, S. m. ve Ozel, F., 2018, Enhanced device efficiency and long-term stability via boronic acid-based self-assembled monolayer modification of indium tin oxide in a planar perovskite solar cell, *ACS applied materials & interfaces*, 10 (35), 30000-30007.
- Kara, K., Kara, D. A., Kirbiyik, C., Ersoz, M., Usluer, O., Briseno, A. L. ve Kus, M., 2016, Solvent washing with toluene enhances efficiency and increases reproducibility in perovskite solar cells, *RSC advances*, 6 (32), 26606-26611.
- Khodabakhsh, S., Poplavskyy, D., Heutz, S., Nelson, J., Bradley, D. D., Murata, H. ve Jones, T. S., 2004, Using self-assembling dipole molecules to improve hole injection in conjugated polymers, *Advanced Functional Materials*, 14 (12), 1205-1210.
- Kim, H. B., Im, I., Yoon, Y., Do Sung, S., Kim, E., Kim, J. ve Lee, W. I., 2015, Enhancement of photovoltaic properties of CH₃NH₃PbBr₃ heterojunction solar cells by modifying mesoporous TiO₂ surfaces with carboxyl groups, *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (17), 9264-9270.
- Kirbiyik, Ç., Kara, D. A., Kara, K., Büyükcelebi, S., Yiğit, M. Z., Can, M. ve Kuş, M., 2019, Improving the performance of inverted polymer solar cells through modification of compact TiO₂ layer by different boronic acid functionalized self-assembled monolayers, *Applied Surface Science*, 479, 177-184.

- Kırbıyık, Ç., Alıç, T. Y. ve Kuş, M., 2020a, Influence of alkyl chain length of boronic acid self-assembled monolayers on indium tin oxide and their organic solar cell performance, *Microelectronic Engineering*, 111394.
- Kırbıyık, Ç., Can, M. ve Kuş, M., 2020b, Interfacial modification via boronic acid functionalized self-assembled monolayers for efficient inverted polymer solar cells, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 107, 104860.
- Kırbıyık, Ç., Toprak, A., Başlak, C., Kuş, M. ve Ersöz, M., 2020c, Nitrogen-doped CQDs to enhance the power conversion efficiency of perovskite solar cells via surface passivation, *Journal of Alloys and Compounds*, 154897.
- Kobayashi, S., Nishikawa, T., Takenobu, T., Mori, S. ve Shimoda, T., 2004, T. Mitani, H. Shimotani, N. Yoshimoto, S. Ogawa, and Y. Iwasa, *Nat. Mater*, 3, 317.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ., 2018, dünyada ve türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makina*, 59 (692), 86-114.
- Kojima, A., Teshima, K., Shirai, Y. ve Miyasaka, T., 2006, Novel photoelectrochemical cell with mesoscopic electrodes sensitized by lead-halide compounds (2), *Proc. 210th ECS Meeting*, 1.
- Kumar, A. ve Ravi, K., 2011, Thin Single Crystal Silicon Solar Cells on Ceramic Substrates: November 2009-November 2010, *National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States)*.
- Lacerda, J. S. ve Van Den Bergh, J. C., 2016, Diversity in solar photovoltaic energy: Implications for innovation and policy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 331-340.
- Lee, M. M., Teuscher, J., Miyasaka, T., Murakami, T. N. ve Snaith, H. J., 2012, Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites, *Science*, 338 (6107), 643-647.
- Li, B., Chen, Y., Liang, Z., Gao, D. ve Huang, W., 2015a, Interfacial engineering by using self-assembled monolayer in mesoporous perovskite solar cell, *RSC advances*, 5 (114), 94290-94295.
- Li, X., Dar, M. I., Yi, C., Luo, J., Tschumi, M., Zakeeruddin, S. M., Nazeeruddin, M. K., Han, H. ve Grätzel, M., 2015b, Improved performance and stability of perovskite solar cells by crystal crosslinking with alkylphosphonic acid ω -ammonium chlorides, *Nature chemistry*, 7 (9), 703-711.
- Liu, K., Chen, S., Wu, J., Zhang, H., Qin, M., Lu, X., Tu, Y., Meng, Q. ve Zhan, X., 2018, Fullerene derivative anchored SnO₂ for high-performance perovskite solar cells, *Energy & Environmental Science*, 11 (12), 3463-3471.
- Liu, L., Mei, A., Liu, T., Jiang, P., Sheng, Y., Zhang, L. ve Han, H., 2015, Fully printable mesoscopic perovskite solar cells with organic silane self-assembled monolayer, *Journal of the American Chemical Society*, 137 (5), 1790-1793.

- Love, J. C., Estroff, L. A., Kriebel, J. K., Nuzzo, R. G. ve Whitesides, G. M., 2005, Self-assembled monolayers of thiolates on metals as a form of nanotechnology, *Chemical reviews*, 105 (4), 1103-1170.
- Luo, D., Yang, W., Wang, Z., Sadhanala, A., Hu, Q., Su, R., Shivanna, R., Trindade, G. F., Watts, J. F. ve Xu, Z., 2018, Enhanced photovoltage for inverted planar heterojunction perovskite solar cells, *Science*, 360 (6396), 1442-1446.
- Ma, L., Hao, F., Stoumpos, C. C., Phelan, B. T., Wasielewski, M. R. ve Kanatzidis, M. G., 2016, Carrier diffusion lengths of over 500 nm in lead-free perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ films, *Journal of the American Chemical Society*, 138 (44), 14750-14755.
- Magomedov, A., Al-Ashouri, A., Kasparavičius, E., Strazdaite, S., Niaura, G., Jošt, M., Malinauskas, T., Albrecht, S. ve Getautis, V., 2018, Self-Assembled Hole Transporting Monolayer for Highly Efficient Perovskite Solar Cells, *Advanced Energy Materials*, 8 (32), 1801892.
- Miyata, A., Mitioglu, A., Plochocka, P., Portugall, O., Wang, J. T.-W., Stranks, S. D., Snaith, H. J. ve Nicholas, R. J., 2015, Direct measurement of the exciton binding energy and effective masses for charge carriers in organic-inorganic tri-halide perovskites, *Nature Physics*, 11 (7), 582-587.
- Noel, N. K., Habisreutinger, S. N., Wenger, B., Klug, M. T., Hörantner, M. T., Johnston, M. B., Nicholas, R. J., Moore, D. T. ve Snaith, H. J., 2017, A low viscosity, low boiling point, clean solvent system for the rapid crystallisation of highly specular perovskite films, *Energy & Environmental Science*, 10 (1), 145-152.
- NREL, 2020, Best research-cell efficiencies, NREL Golden, CO.
- Ogomi, Y., Morita, A., Tsukamoto, S., Saitho, T., Shen, Q., Toyoda, T., Yoshino, K., Pandey, S. S., Ma, T. ve Hayase, S., 2014, All-solid perovskite solar cells with HOCO-R-NH_3^+ I-anchor-group inserted between porous titania and perovskite, *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (30), 16651-16659.
- Ohl, R. S., 1946, Light-sensitive electric device, Google Patents.
- Öztürk, A., 2012, Monokristal ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans, Tunceli Üniversitesi, Tunceli*.
- Qiao, R. ve Zuo, L., 2018, Self-assembly monolayers boosting organic-inorganic halide perovskite solar cell performance, *Journal of materials research*, 33 (4), 387.
- Salcı, A. ve Solmaz, R., 2018, Fabrication of rhodanine self-assembled monolayer thin films on copper: Solvent optimization and corrosion inhibition studies, *Progress in Organic Coatings*, 125, 516-524.
- Salim, T., Kadro, J., Khuc, M.-T., Haselsberger, R., Cheng, L., Xia, H., Gurzadyan, G. G., Su, H., Lam, Y. M. ve Marcus, R. A., 2015, Elucidating the role of disorder and free-carrier recombination kinetics in $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite films, *Nature communications*, 6 (1), 1-8.

- Shih, Y. C., Lan, Y. B., Li, C. S., Hsieh, H. C., Wang, L., Wu, C. I. ve Lin, K. F., 2017, Amino-Acid-Induced Preferential Orientation of Perovskite Crystals for Enhancing Interfacial Charge Transfer and Photovoltaic Performance, *Small*, 13 (22), 1604305.
- Spanggaard, H. ve Krebs, F. C., 2004, A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 83 (2-3), 125-146.
- Stranks, S. D., Eperon, G. E., Grancini, G., Menelaou, C., Alcocer, M. J., Leijtens, T., Herz, L. M., Petrozza, A. ve Snaith, H. J., 2013, Electron-hole diffusion lengths exceeding 1 micrometer in an organometal trihalide perovskite absorber, *Science*, 342 (6156), 341-344.
- Sun, K., Chang, J., Isikgor, F. H., Li, P. ve Ouyang, J., 2015, Efficiency enhancement of planar perovskite solar cells by adding zwitterion/LiF double interlayers for electron collection, *Nanoscale*, 7 (3), 896-900.
- Tang, L., Qiu, J., Wei, Q., Gu, H., Du, B., Du, H., Hui, W., Xia, Y., Chen, Y. ve Huang, W., 2019, Enhanced Performance of Perovskite Light-Emitting Diodes via Diamine Interface Modification, *ACS applied materials & interfaces*, 11 (32), 29132-29138.
- Topolovsek, P., Lamberti, F., Gatti, T., Cito, A., Ball, J., Menna, E., Gadermaier, C. ve Petrozza, A., 2017, Functionalization of transparent conductive oxide electrode for TiO₂-free perovskite solar cells, *Journal of Materials Chemistry A*, 5 (23), 11882-11893.
- Wang, C., Xiao, C., Yu, Y., Zhao, D., Awni, R. A., Grice, C. R., Ghimire, K., Constantinou, I., Liao, W. ve Cimaroli, A. J., 2017a, Understanding and eliminating hysteresis for highly efficient planar perovskite solar cells, *Advanced Energy Materials*, 7 (17), 1700414.
- Wang, M., Jiang, X., Bian, J., Feng, Y., Wang, C., Huang, Y., Zhang, Y. ve Shi, Y., 2018, High-Performance and Stable Mesoporous Perovskite Solar Cells via Well-Crystallized FA0.85MA0.15Pb (I0.8Br0.2)3, *ACS applied materials & interfaces*, 11 (3), 2989-2996.
- Wang, Q., Dong, Q., Li, T., Gruverman, A. ve Huang, J., 2016, Thin insulating tunneling contacts for efficient and water-resistant perovskite solar cells, *Advanced Materials*, 28 (31), 6734-6739.
- Wang, Q., Chueh, C. C., Zhao, T., Cheng, J., Eslamian, M., Choy, W. C. ve Jen, A. K., 2017b, Effects of Self-Assembled Monolayer Modification of Nickel Oxide Nanoparticles Layer on the Performance and Application of Inverted Perovskite Solar Cells.
- Will, J., Hou, Y., Scheiner, S., Pinkert, U., Hermes, I. M., Weber, S. A., Hirsch, A., Halik, M., Brabec, C. ve Unruh, T., 2018, Evidence of tailoring the interfacial chemical composition in normal structure hybrid organohalide perovskites by a self-assembled monolayer, *ACS applied materials & interfaces*, 10 (6), 5511-5518.
- Wojciechowski, K., Stranks, S. D., Abate, A., Sadoughi, G., Sadhanala, A., Kopidakis, N., Rumbles, G., Li, C.-Z., Friend, R. H. ve Jen, A. K.-Y., 2014, Heterojunction modification for highly efficient organic-inorganic perovskite solar cells, *ACS nano*, 8 (12), 12701-12709.

- Xie, J., Yu, X., Huang, J., Sun, X., Zhang, Y., Yang, Z., Lei, M., Xu, L., Tang, Z. ve Cui, C., 2017, Self-Organized Fullerene Interfacial Layer for Efficient and Low-Temperature Processed Planar Perovskite Solar Cells with High UV-Light Stability, *Advanced Science*, 4 (8), 1700018.
- Xing, G., Mathews, N., Sun, S., Lim, S. S., Lam, Y. M., Grätzel, M., Mhaisalkar, S. ve Sum, T. C., 2013, Long-range balanced electron-and hole-transport lengths in organic-inorganic $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, *Science*, 342 (6156), 344-347.
- Xue, Q., Bai, Y., Liu, M., Xia, R., Hu, Z., Chen, Z., Jiang, X. F., Huang, F., Yang, S. ve Matsuo, Y., 2017, Dual interfacial modifications enable high performance semitransparent perovskite solar cells with large open circuit voltage and fill factor, *Advanced Energy Materials*, 7 (9), 1602333.
- Yang, G., Wang, C., Lei, H., Zheng, X., Qin, P., Xiong, L., Zhao, X., Yan, Y. ve Fang, G., 2017a, Interface engineering in planar perovskite solar cells: energy level alignment, perovskite morphology control and high performance achievement, *Journal of Materials Chemistry A*, 5 (4), 1658-1666.
- Yang, W. S., Park, B.-W., Jung, E. H., Jeon, N. J., Kim, Y. C., Lee, D. U., Shin, S. S., Seo, J., Kim, E. K. ve Noh, J. H., 2017b, Iodide management in formamidinium-lead-halide-based perovskite layers for efficient solar cells, *Science*, 356 (6345), 1376-1379.
- Zhang, F., Song, J., Zhang, L., Niu, F., Hao, Y., Zeng, P., Niu, H., Huang, J. ve Lian, J., 2016, Film-through large perovskite grains formation via a combination of sequential thermal and solvent treatment, *Journal of Materials Chemistry A*, 4 (22), 8554-8561.
- Zhang, L. ve Cole, J. M., 2015, Anchoring groups for dye-sensitized solar cells, *ACS applied materials & interfaces*, 7 (6), 3427-3455.
- Zheng, X., Chen, B., Wu, C. ve Priya, S., 2015, Room temperature fabrication of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ by anti-solvent assisted crystallization approach for perovskite solar cells with fast response and small J-V hysteresis, *Nano Energy*, 17, 269-278.
- Zhu, L., Li, X., Song, C., Liu, X., Wang, Y.-C., Zhang, W. ve Fang, J., 2017a, Cathode modification in planar hetero-junction perovskite solar cells through a small-molecule zwitterionic carboxylate, *Organic Electronics*, 48, 204-210.
- Zhu, L., Song, C., Li, X., Wang, Y.-C., Zhang, W., Sun, X., Zhang, W. ve Fang, J., 2017b, A benzobis (thiadiazole)-based small molecule as a solution-processing electron extraction material in planar perovskite solar cells, *Journal of Materials Chemistry C*, 5 (41), 10777-10784.
- Zuo, L., Gu, Z., Ye, T., Fu, W., Wu, G., Li, H. ve Chen, H., 2015, Enhanced photovoltaic performance of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite solar cells through interfacial engineering using self-assembling monolayer, *Journal of the American Chemical Society*, 137 (7), 2674-2679.
- Zuo, L., Chen, Q., De Marco, N., Hsieh, Y.-T., Chen, H., Sun, P., Chang, S.-Y., Zhao, H., Dong, S. ve Yang, Y., 2017, Tailoring the interfacial chemical interaction for high-efficiency perovskite solar cells, *Nano letters*, 17 (1), 269-275.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gamze Dölek
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Aydın/28.09.1991
Telefon :05068785722
Faks :
E-Posta :gamzedolekk@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Altınyıldız Koleji /	Avanos	/ Nevşehir	/2010
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi /	Selçuklu	/ Konya	/ 2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi /	Selçuklu	/ Konya	/ -
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016	SANDOZ	İlaç Mümessili

UZMANLIK ALANI

Kimya Mühendisliği

YABANCI DİLLER

İngilizce