



Farklı Yöntemlerle Sentezlenmiş olan ZnO'nin Organik Güneş Hücrelerinde Verim Üzerine Etkisi

The Effect of ZnO Synthesized by Different Methods on Efficiency in Organic Solar Cells

¹Semih Yurtdaş , ²Mustafa Karaman , ³Cem Tozlu 

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karaman, Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya, Türkiye

³İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye

¹syurtdas@kmu.edu.tr, ²mkaraman@ktun.edu.tr ³tozlu.cem@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 18 March 2021

Accepted : 8 April 2021

Keywords:

Organic Solar Cell, Electron Transport Layer, ZnO

ABSTRACT

In this study, a solar cell with ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO₃/Ag structure was produced. Then, the effect of ZnO, which was synthesized with different methods, on device efficiency was investigated. As the synthesis method, sol-gel, nanocrystal and solution processes were used. First of all, XRD characterization has been made for each different synthesis method. Later, the devices were produced by coating with the obtained ZnO solutions. The efficiency of the devices was determined under 100 mw/cm² solar irradiance using Keithley 2400 sourcemeter. According to the obtained findings, the highest efficiency (2.90%) was achieved with ZnO synthesized by sol-gel method. In addition, the sol-gel method has extra advantages as it requires cheaper equipment and relatively harmless chemicals compared to other methods. As a result, it was determined that the most suitable synthesis method for ZnO to be used in organic solar cells is the sol-gel method.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 18 Mart 2021

Kabul : 8 Nisan 2021

Anahtar Kelimeler:

Organik Güneş Hücresi, Elektron Taşıyıcı Tabaka, ZnO

ÖZET

Bu çalışmada ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO₃/Ag yapısına sahip güneş hücresi üretilmiş olup farklı yöntemlerle sentezlenmiş olan ZnO'nin aygıt verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sentez yöntemi olarak, sol-jel, nanokristal ve çözelti prosesi kullanılmıştır. Öncelikle her bir farklı sentez yöntemi için XRD ile karakterizasyon yapılmıştır. Daha sonrasında ise elde edilen ZnO çözeltileri ile kaplamalar yapılarak aygıtlar üretilmiştir. Yapılan aygıtların verim değerleri, 100 mw/cm² güneş ışınması altında Keithley 2400 kaynak ölçer cihazı yardımı ile belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre en yüksek verime (%2,90) sol-jel yöntemiyle sentezlenen ZnO ile ulaşılmıştır. Ayrıca sol-jel yönteminin, diğer yöntemlere göre daha ucuz ekipmanlara ve nispeten zararsız kimyasallara gereksinim duymasından dolayı ekstra avantajları vardır. Sonuç olarak organik güneş hücrelerinde kullanılacak olan ZnO için en uygun sentez yöntemi sol-jel yöntemi olduğu belirlenmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Fosil kaynakların azalması ve bununla beraber nüfus yoğunluğunun sürekli olarak artması nedenleri ile enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bunların yanında çevresel kaygılar da enerjinin temiz bir şekilde sağlanması konusundaki önemi arttırmaktadır. Bu ihtiyaçların sağlanması için yenilenebilir enerji kaynakları büyük öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji yeryüzünde sürekli olarak devam eden atmosferik olaylardan ve bu olaylara etkisi olan diğer etmenlerden elde edilen enerji çeşididir. Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, jeotermal, gel-git, biyokütle ve hidrolik) doğada sürdürülebilir olarak bulunmaktadır [1-2].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin kullanımı ile elektrik elde etmede iki ana teknolojiye dayanılmaktadır. Bunlardan birincisi termal güneş santralleridir. Bu santrallerde uygun sistemler kullanılarak jeneratör vasıtası ile elektrik elde edilmektedir. İkinci yöntem ise güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemlerdir. Fotovoltaik sistemlerin temelini ise güneş hücreleri oluşturmaktadır.

Üzerine düşen güneş ışınım enerjisini fotovoltaik etkiyle doğrudan elektriğe çeviren yarı iletken temelli aygıtlara güneş hücresi denir. Yarı iletken kavramı ise değerlik bandı ile iletim bandının birbirlerine göre konumları ile alakalıdır. Genel olarak yasak enerji aralığı (E_g) 0,5 ile 5 eV arasında olan malzemeler yarı iletken sınıfına girmektedir [3].

Organik güneş hücreleri, düşük maliyetleri, hafif olmaları, geniş alanlara uygulanabilmeleri, çözelti bazlı proseslere uygun olmaları ve mekanik esnekliklerinden dolayı büyük ilgi çekmektedir [4]. Organik güneş hücreleri temel olarak bir donör diğeri akseptör olan iki organik maddeden oluşur. Donör malzeme olarak sıklıkla konjuge polimerler, akseptör malzeme olarak ise fulleren türevleri tercih edilmektedir. Donör ve akseptör malzemelerinin bir araya gelmesi ile aktif tabaka oluşur [5-7]. Bir konjuge polimer olan poli(3-hekzil tiyofen) (P3HT), HOMO (işgal edilmiş en yüksek moleküler orbital enerji seviyesi)-LUMO (işgal edilmemiş en düşük moleküler orbital enerji seviyesi) seviyelerinin uyumu ve yüksek taşıyıcılığında dolayı yüksek akım yoğunluğu sağlar [8]. P3HT, polimer tasarımı için referans görevi gören en popüler donör materyaldir [9]. Fulleren türevleri, hızlı yük ayrımı, uzun eksiton difüzyonu, yeniden düzenlenme enerjilerinin küçüklüğü ve yüksek elektron afinitelerinden dolayı ideal birer akseptör malzemelerdir. Birçok türevi sentezlenmiş olmasına rağmen en popüler olanı yüksek çözünürlükteki fenil-C61-butirik asit metil esteridir (PC₆₁BM) [8,10].

Bir organik güneş hücresinin çalışma prensibinden kısaca bahsetmek gerekirse; aktif tabakada fotonun absorplanması ile bir elektron-boşluk çifti (eksiton) oluşur. Donör ve akseptör moleküllerin arayüzey yakınlığında oluşan eksitonlar ara yüzeyde, serbest elektron ve boşluk yük taşıyıcılarına ayrışarak, boşluk yük taşıyıcıları donör tipi katmana ve elektronlar da akseptör katmana transferleri gerçekleşir. Daha sonrasında ise ayrılan yük taşıyıcıları kontaklar üzerinden toplanır [11]. Eğer kontaklar ile aktif tabaka arasında hem akseptör hem de donör katmanların enerji band yapısına uygun yarı iletken malzemeler kullanılırsa daha verimli bir yük toplanması söz konusu olmaktadır. Çinko oksit (ZnO) önemi de bu noktada ortaya çıkar. ZnO, elektron taşıyıcı tabaka (ETT) olarak kullanılan en yaygın iki yarı iletken malzemenin biridir. Görünür bölgede yüksek oranda geçirgenliğe sahip olması, akseptör katman ve metal kontakla olan enerji band seviyelerinin uyumun iyi olması, ucuz ve kolay yöntemlerle sentezlenebilir olması ve toksik olmaması ZnO'ü ideal bir elektron taşıyıcı tabaka yapar [12].

Konu ile ilgili ZnO kullanımının ve sentez yönteminin etkisinin incelendiği çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir. Yang ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları bir çalışmada ZnO'ün kullanılmadığı PSiF-DBT (poli [2,7-(9,9-dioktil-dibenzosilol)-alt-4,7-bis(tiofen-2-il)benzo-2,1,3-tiadiazol]):PC₆₁BM aktif tabakalı bir polimer güneş hücresinde %1,67 verime ulaşabilmişlerken ZnO kullanılmasıyla %3,8 değerine ulaşabilmişlerdir [13]. Ntwaeaborwa ve arkadaşları (2012), P3HT:PC₆₁BM aktif tabakalı bir polimer güneş hücresinde ZnO'ün varlığının etkisini incelemişlerdir. ZnO olmadan %1,64 verime ulaşılmışken, ZnO varlığında %1,83 değerine ulaştıklarını rapor etmişlerdir [14]. Park ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada, ZnO, kuantum nokta güneş hücresinde ETT olarak kullanılmış ve ZnO sentez yönteminin etkisini incelenmiştir. Yapılan optimizasyon çalışması sonunda ZnO'ün sol-jel yöntemi ile sentezlendiği aygıtta %3,93 verime ulaşılırken nanokristal yöntemi ile sentezlenen aygıtta ancak %1,63 verime ulaşılabildiği rapor edilmiştir [15].

Bu çalışmada ise ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO₃/Ag yapısına sahip organik güneş hücresi üretilmiş olup üç farklı yöntemle (sol-jel, nanokristal ve çözelti prosesi) sentezlenmiş olan ZnO'ün aygıt verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan materyaller ve metotlar bu bölümde açıklanmıştır.

2.1. Materyal

Kullanılan kimyasallar hiçbir saflaştırma işlemine tabi tutulmamıştır. Güneş hücresinde alttaş olarak kullanılan indiyum katkılı kalay oksit (ITO) kaplı camlar (15Ω/kare) Kintech firmasından, temizlik için kullanılan aseton

(%99,5) ve izopropil alkol (%99,5) Tekkim firmasından alınmıştır. Sol-jel yönteminde kullanılan $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (%98-101) ve 2-Metoksietanol Alfa Aesar, etanolamin (%99,5) ise Aldrich firmasından temin edilmiştir. Çözelti prosesinde kullanılan ZnO (%99) Sigma-Aldrich, NH_4OH (%25) ise Merck firmasından alınmıştır. Nanokristal yönteminde ise ZnO kaynağı olarak yine $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (%98-101) (Alfa Aesar) kullanılmış olup metanol (% 100) VWR, KOH (C Pure) ise Tekkim firmasından sağlanmıştır. Yapılan güneş hücresinin aktif tabakasını oluşturan poli(3-hekziltiofen-2,5-diil) (P3HT) (%93) ve (6,6)-fenil C61 bütirik asit metil ester (PCBM) (%99,5) Lum-Tech.firmasından alınmıştır. Güneş hücresinin boşluk taşıyıcı tabakasını oluşturan MoO_3 (%99,8) Sigma-Aldrich, üst kontağı olan Ag (%99,9) ise Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir.

2.2. Metot

Cam temizliği, ZnO sentez metotları, aygıt yapımı ve karakterizasyon işlemleri bu bölümde açıklanmıştır.

2.2.1. Cam temizliği

ITO'ların temizliği Taşaltın ve Karaca'nın önerdiği yöntemin biraz değiştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir [16]. Bu yöntemi kısaca anlatmak gerekirse ITO'lar öncelikle deterjanlı su ile temizlenir ve saf su ile durulanır. Ardından ultrasonik banyoda 20'şer dakika sırasıyla aseton ve izopropanolde tutulur. Azot gazı ile kurutulmuş ITO'lar son olarak UV ozon temizleyicide 20 dk tutulduktan sonra kaplamaya hazır hale gelir.

2.2.2. Sol-jel metodu

Sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO için Liang ve arkadaşlarının (2012) önerdikleri yöntem kullanılmıştır [17]. Öncelikle çinko asetat dihidrat, 2-metoksi etanol içerisine eklenir ve sıcaklık ile beraber karıştırma uygulanır. Bir süre sonra mono etanol amin (MEA) eklenir. MEA ve çinko asetat dihidrat molar oranlarının 1:1 olmasına dikkat edilir. 60 °C sıcaklıkta 2 sa karıştırıldıktan sonra reaksiyon sonlandırılır ve 1 gün yaşlanmaya bırakılır. Yaşlandırma sonrası 0,1 M derişiminde hazırlanan çözelti kaplama yapmak için hazır hale gelir.

2.2.3. Nanokristal metodu

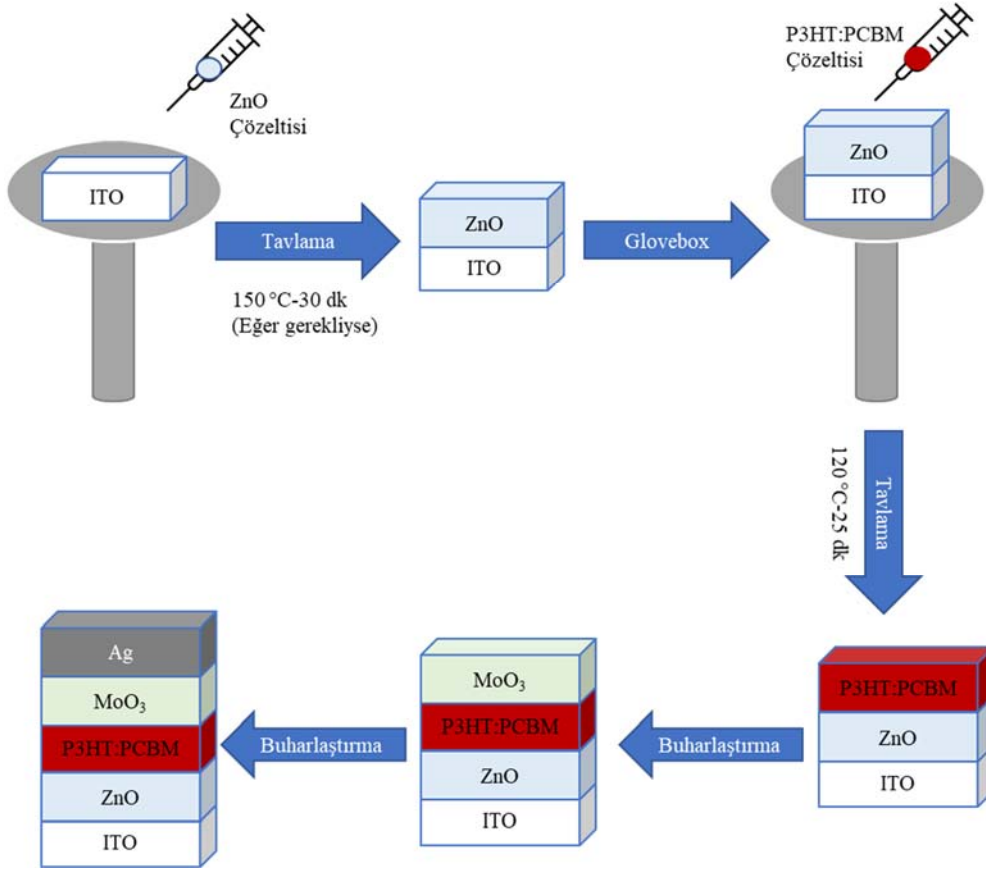
ZnO nanokristalleri Pacholski ve arkadaşlarının 2002 yılında önerdikleri yöntemle sentezlenmiştir [18]. Özetle, 0,01 M $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ 125 mL metanol içerisinde kuvvetli karıştırma altında 60 °C sıcaklıkta çözülür. Ardından 65 mL metanolde hazırlanmış 0,03 M KOH çözeltisi damla damla eklenir. Çözelti 60 °C sıcaklıkta 2 sa daha karıştırılır. Reaksiyon sonunda çözelti soğumaya bırakıldı ve soğuduktan sonra 2 kez metanol ile yıkanır. Elde edilen ZnO nanokristalleri kurutulduktan sonra metanol içerisinde 15 mg/mL konsantrasyonda hazırlanarak kaplama için hazır hale getirilir.

2.2.4. Çözelti prosesi metodu

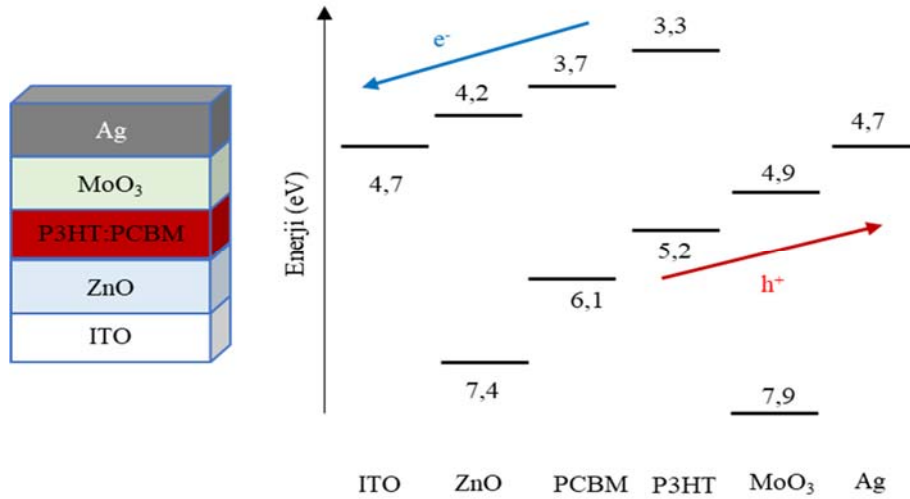
Çözelti prosesi metodunda, Lin ve arkadaşlarının 2014 yılında önerdikleri reçete biraz değiştirilerek uygulanmıştır [19]. Ticari olarak satın alınmış olan ZnO, NH_4OH içerisinde 0,05 M konsantrasyonunda 1 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırılarak hazırlanmıştır.

2.2.5. Aygıt yapımı

Temizlenen ITO üzerine, hazırlanan çözeltiler 2000 rpm hızında 30 sn süresince döner kaplama sistemi yardımı ile ayrı ayrı kaplanarak ETT'lar oluşturulmuştur. Nanokristal yöntemi ile hazırlanan ETT, herhangi bir tavlama işlemine tabi tutulmazken diğer yöntemlerle hazırlanan ETT'lar 150 °C sıcaklıkta 30 dk boyunca tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen üç farklı ETT üzerine soğurucu aktif yarı iletken katmanların ve elektrotların büyütülme yöntemleri aynıdır. Klorobenzen içerisinde 1:1 oranında hazırlanmış P3HT:PCBM döner kaplama ile 1250 rpm'de 40 saniye boyunca kaplanmıştır. Daha sonra 120 °C sıcaklıkta 25 dk süresince inert atmosfer sağlayan eldivenli kabin (glovebox) içerisinde tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. En sonunda ise fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ile boşluk taşıyıcı tabaka olarak 8 nm kalınlığında MoO_3 ve üst kontak olarak 60 nm kalınlığında Ag kaplanmıştır. Aygıt yapım sürecinin şematik gösterimi şekil 1'de verilmiştir. Yapılan aygıtın içeriğinde kullanılan materyallerinin seçiminde enerji seviyeleri dikkate alınmıştır. Bu enerji seviyelerinin şematik gösterimi şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Aygıt yapım süreci



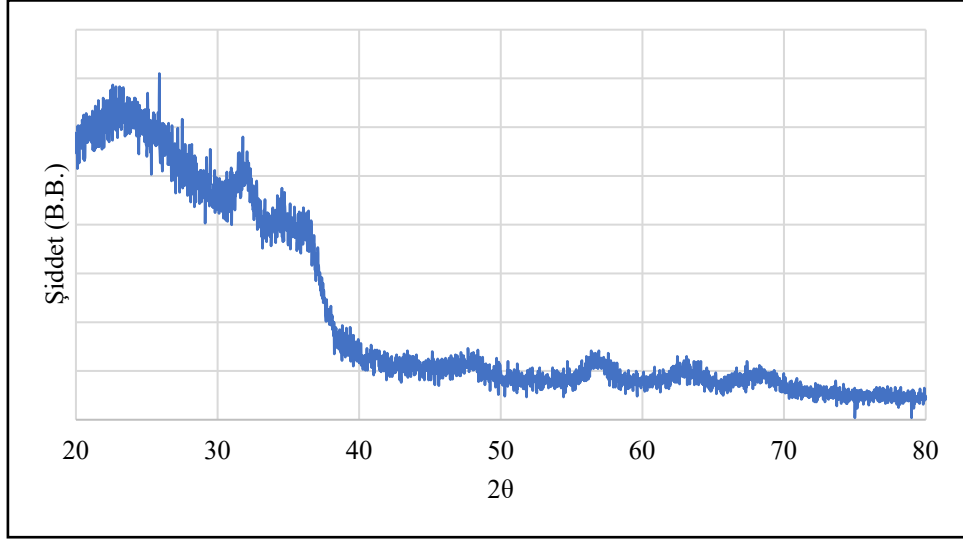
Şekil 2. ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO₃/Ag yapısındaki aygıtın enerji seviyeleri [20,21]

2.2.6. Karakterizasyon

Sentezlenen ZnO'ler XRD (Bruker D8 Advance ve Rigaku Ultima-IV) ile karakterize edilmiştir. XRD çekimlerinde nanokristal yöntemi ile sentezlenen ZnO'in toz halinde ölçümü yapılmıştır. Sol-jel yönteminde ise ince film halindeki ZnO'in XRD analizi gerçekleştirilmiştir. İnce film ölçümünde 0,2° grazing açısı kullanılmıştır. Çözelti prosesi ile sentezlenen ZnO ise damla metodu ile kalın bir film oluşturularak karakterize edilmiştir. Ayrıca sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO'in UV-Vis spektrofotometre (Hach DR5000) analizi ile geçirgenliği belirlenmiştir. Hazırlanan aygıtların elektriksel parametreleri güneş simülatörü (OAİ Trisol) ve akım-gerilim kaynak ölçer cihazı (Keithley 2400) yardımı ile belirlenmiştir.

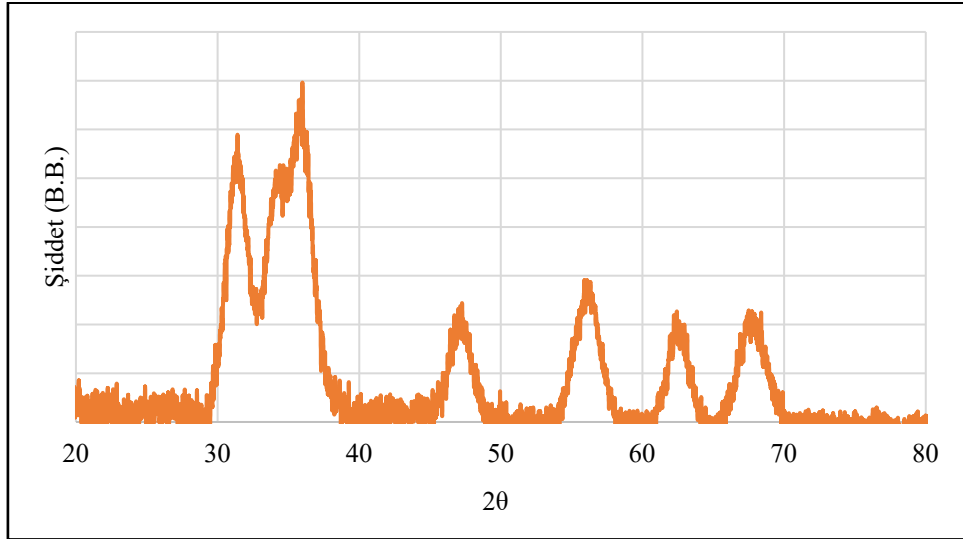
3. BULGULAR

Sentezlenen ZnO'lerin arzu edilen kristal yapıya ulaşip ulaşmadığı X-ışını difraktometresi (XRD) yardımı ile belirlenmiştir. X ışını kaynağı olarak Cu kullanılmış olup dalga boyu ($\text{Cu-K}\alpha$) 0,154 nm'dir. XRD desenlerinde bulunan y eksenini genel olarak piklerin şiddetini ifade etmektedir ve birimi yoktur. B.B. ifadesi boyutsuz birim anlamına gelmektedir. x eksenini ise 2θ ile ifade edilir. 2θ , analiz esnasında X ışını kaynağından gelen ışının doğrultusu ile dedektör arasındaki açıdır. Tüm şekillerdeki desenler 00-36-1451 PDF kart numarasına sahip ZnO ile iyi bir şekilde uyumaktadır. Sonuçlar şekil 3-5 arasında verilmiştir.



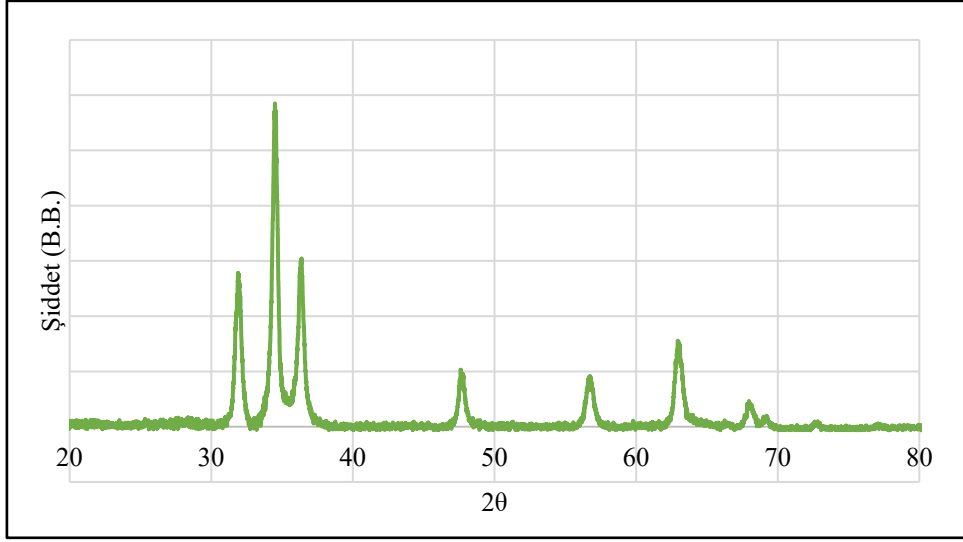
Şekil 3. Sol-jel metodu ile sentezlenen ZnO ince filminin XRD deseni

Sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO ince filminin XRD ölçümü ince film tekniği ile alınmıştır. 20 ile 30 dereceleri arasında gözükken geniş ve şiddetli pik ZnO altında bulunan camdan kaynaklanmıştır. O pikin haricindeki diğer pikler karakteristik ZnO pikleridir.



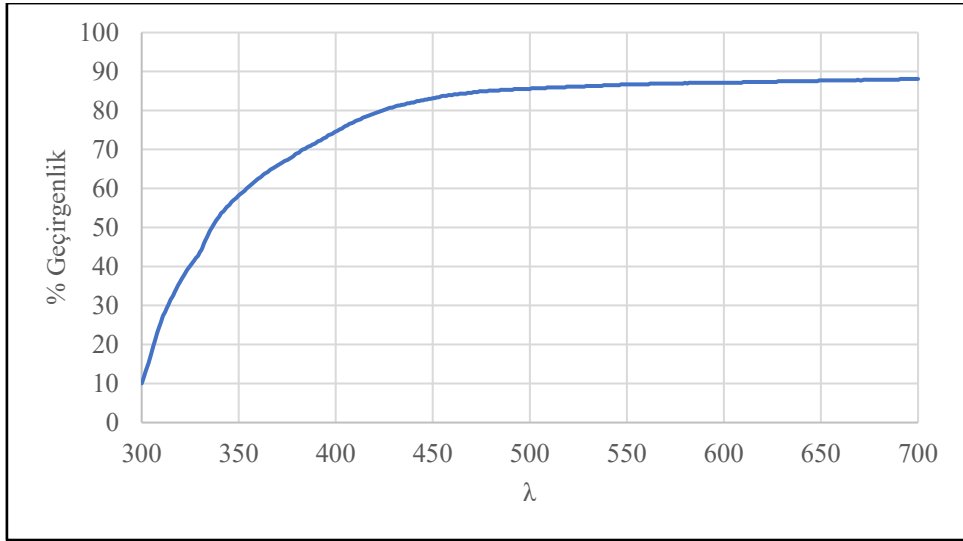
Şekil 4. Nanokristal metodu ile sentezlenen ZnO tozunun XRD deseni

Şekil 4'te görüldüğü üzere elde edilen kırınım deseninde ZnO'in yedi tane ana piki oluşmuştur.



Şekil 5. Çözelti prosesi metodu ile sentezlenen ZnO kalın filminin XRD deseni

Şekil 5'te verilen kırınım deseninde, damla yöntemi ile oluşturulan ZnO kalın filminin piklerinin diğer numunelerde de olduğu gibi 00-36-1451 PDF kart numarasına sahip ZnO ile iyi bir şekilde örtüştüğü açık bir şekilde görülmektedir.

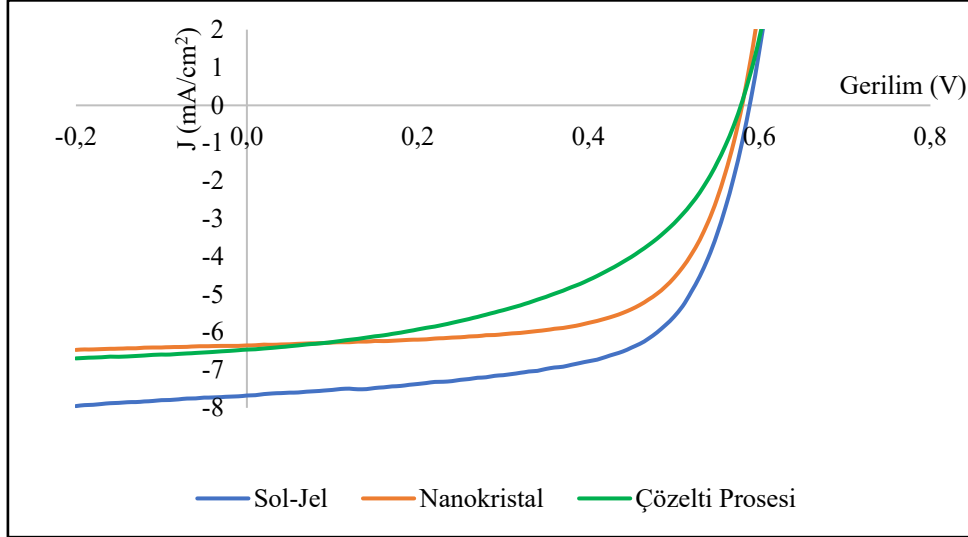


Şekil 6. Sol-jel metodu ile sentezlenen ZnO'in geçirgenlik-dalgaboyu grafiği

Elde edilen kırınım desenlerine göre tüm yöntemlerle başarılı bir şekilde ZnO oluşturulabildiği tespit edilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında önceki bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatıldığı gibi aygıtlar yapılmıştır. Yapılan aygıtların elektriksel parametreleri tablo 1'de ve akım yoğunluğu-gerilim grafikleri şekil 7'da verilmiştir. Ölçümler 100 mW/cm^2 , A.M 1,5 G ve oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. En yüksek akım yoğunluğuna $7,68 \text{ mA/cm}^2$ değeri ile sol-jel yönteminde ulaşılmış olup nanokristal metodundan da farkı bu noktada ortaya çıkmaktadır. Sol-jel yönteminde elde edilen çözelti tamamen renksiz ve geçirgen iken nanokristal yöntemle elde edilen beyaz renkteki ZnO, dispers edildiğinde dahi tamamen renksiz olmamaktadır. Bu durum da aktif tabakaya ulaşan ışınım miktarını azaltmakta ve dolayısıyla aygıtlar daha düşük akım yoğunluğuna sahip olmaktadır. Sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO'in UV-Vis ölçümü de yüksek oranda geçirgenliği desteklemektedir (Şekil 6). Çözelti prosesi ile elde edilen ZnO yapısının ise diğerlerine göre daha bazik olduğu bu durumun da ETT ile aktif tabaka ara yüzeyinde olumsuz bir etki yarattığı ve dolum faktöründeki (FF) düşüklüğün sebebinin de bu olduğu düşünülmektedir. Çünkü FF, aygıtın kalitesi yani tabakaların homojenliği ve birbiri ile uyumunun bir göstergesidir. Sonuç olarak en yüksek aygıt verimine 2,90 değeri ile sol-jel yönteminde ulaşılmıştır.

Tablo 1. Aygıtların elektriksel parametreleri

Sentez metodu	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (mV)	FF (%)	η (%)
Sol-jel	7,68	590	64,1	2,90
Nanokristal	6,35	580	65,9	2,65
Çözelti prosesi	6,46	580	49,4	1,85

**Şekil 7.** Aygıtların akım yoğunluğu-gerilim grafikleri

4. SONUÇ

Organik güneş hücrelerini oluşturan tüm katmanlar, verimli bir aygıt için hayati öneme sahiptir. ZnO de sahip olduğu optiksel ve elektriksel özelliklerden dolayı iyi bir elektron taşıyıcı ve aynı zamanda boşluk engelleyici tabakadır. Dolayısıyla ZnO sentezi yapmak oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında, yapılan sentezler ile aygıt yapımına geçilmeden önce istenilen kristal yapı elde edilip edilmediğini belirlemek için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Kırınım desenlerine göre tüm metotlar ile başarılı bir ZnO oluşturulabildiği belirlenmiştir. Daha sonrasında yapılan aygıtların elektriksel parametreleri incelenmiş ve en yüksek güç dönüşüm verimine sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO'ın kullanıldığı aygıtta ulaşıldığı belirlenmiştir. Ayrıca tablo 2'de bu yöntemlerin birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Sonuç olarak bizim tespitlerimize göre organik güneş hücrelerinde kullanılacak olan ZnO için en uygun sentez yöntemi sol-jel yöntemidir.

Tablo 2. Yöntemlerin birbirleri ile karşılaştırılması

Sentez metodu	Avantajlar	Dezavantajlar
Sol-jel	-Yüksek verim sağlaması -Yüksek stabiliteye sahip olması -Nispeten düşük tavlama sıcaklığına uygun olması	
Nanokristal	-Tavlama prosesine ihtiyaç duymaması	-Stabil olmaması -Santrifüj ve ultrasonkiatör gibi ekstra ekipmanlara ihtiyaç duyması
Çözelti prosesi	-Oldukça kolay sentezlenebilmesi -Reaksiyon sırasında sıcaklığa ihtiyaç duymaması	-Düşük verim sağlaması -NH ₄ OH gibi toksik kimyasallar kullanılması

Yazar Katkıları

Semih Yurtdaş: Araştırma, taslak yazma, düzenleme ve kontrol etme; Mustafa Karaman: Danışmanlık, kontrol etme; Cem Tozlu: Danışmanlık, kavramlaştırma, düzenleme, kontrol etme.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKÇA

- [1] A. L.R Jackson, "Renewable energy vs. biodiversity: Policy conflicts and the future of nature conversation" *Global Environmental Change*, vol. 21, no. 4, pp. 1195-1208, October, 2011.
- [2] M. S. Özdemir, A. Dalcalı and C. Ocak, "Akarsu Tipi Hidroelektrik Santraller ve Bu Santrallerde Kullanılan Türbin-Generatörler", *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, vol.2, no.2, pp. 69-75, October, 2020.
- [3] M. Yılmazlar, "Yarı İletkenler, Yarı İletken Teknolojileri ve Kullanım Alanları", *Bilimin Teknolojideki Uygulamaları*, 1th ed. Ankara, Turkey: Pegem Akademi, 2020, ch. 2, pp. 19.
- [4] Y. He, Z. Li, J. Li, X. Zhang, C. Liu, H. Li, L. Shen, W. Guo, S. Ruan, "The role of Au nanorods highly efficient inverted low band gap polymer solar cells," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 105, no. 223305, pp. 1-5, December, 2014.
- [5] M. Shirvani, and L. Naji, "Interface engineering of electrochemically deposited ZnO nanorods as electron transport layer in polymer solar cells using organic dyes", *Materials Chemistry and Physics*, vol. 259, no. 124064, pp. 1-13, February, 2021.
- [6] P. Mahendia, G. Chauhan, H. Wadhwa, G. Kandhol, S. Mahendia, R. Srivastava, O. P. Sinha, T. D. Clemons, S. Kumar, "Study of induced structural, optical and electrochemical properties of Poly(3-hexylthiophene) (P3HT), [6,6]-phenyl-C61-butyrac-acid-methyl-ester (PCBM) and their blend as an effect of graphene doping", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 148, no. 109644, pp. 1-9, January, 2021.
- [7] F. C. Hsu, Y. A. Lin, C. P. Li, "Stable polymer solar cells using conjugated polymer as solvent barrier for organic electron transport layer", *Organic Electronics*, vol. 89, no. 106008, pp. 1-6, February, 2021.
- [8] M. E. Ragoussi, and T. Torres, "New generation solar cells: concepts, trends and perspectives", *Chemical Communications*, vol. 51, no.19, pp. 3957-397, January, 2015.
- [9] G. Li, R. Zhu, Y. Yang, "Polymer solar cells", *Nature Photonics*, vol. 6, pp. 153-161, February, 2012.
- [10] J. L. Delgado, P. A. Bouit, S. Filippone, M. A. Herranz, N. Martin, "Organic photovoltaics: a chemical approach", *Chemical Communications*, vol. 46, no. 27, pp. 4853-4865, May, 2010.
- [11] P. Heremans, D. Cheyns, B. P. Rand, "Strategies for Increasing the Efficiency of Heterojunction Organic Solar Cells: Material Selection and Device Architecture", *Accounts of Chemical Research*, vol. 42, no. 11, pp. 1740-1747, September, 2009.
- [12] J. Huang, Z. Yin, and Q. Zheng, "Applications of ZnO in Organic and Hybrid Solar Cells", *Energy and Environ. Sci.*, vol. 4, pp. 3861-3877, July, 2011.
- [13] T. Yang, W. Cai, D. Qin, E. Wang, L. Lan, X. Gong, J. Peng, Y. Cao, "Solution-Processed Zinc Oxide Thin Film as a Buffer Layer for Polymer Solar Cells with an Inverted Device Structure", *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 114, no. 14, pp. 6849-6853, March, 2010.
- [14] O. M. Ntwaeaborwa, R. Zhou, L. Qian, S. S. Pitale, J. Xue, H. C. Swart, P. H. Holloway, "Post-fabrication annealing effects on the performance of P3HT:PCBM solar cells with/without ZnO nanoparticles", *Physica B*, vol. 407, no. 10, pp. 1631-1633, May, 2012.
- [15] H. Y. Park, I. Ryu, J. Kim, S. Jeong, S. Yim, Y. S. Jang, "PbS Quantum Dot Solar Cells Integrated with Sol-Gel-Derived ZnO as an n-Type Charge-Selective Layer", *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 118, no. 31, pp. 17374-17382, July, 2014.
- [16] N. Taştun, B. Karaca, "SPDA:Ag Nanotel Ağ Elektrotlu Organik Güneş Hücresi", *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 24-34, October, 2019.
- [17] Z. Liang, Q. Zhang, O. Wiranwetchayan, J. Xi, Z. Yang, K. Park, C. Li, G. Cao, "Effects of the Morphology of a ZnO Buffer Layer on the Photovoltaic Performance of Inverted Polymer Solar Cells", *Adv. Funct. Mater.*, vol. 22, no. 10, pp. 2194-2201, March, 2012.
- [18] C. Pacholski, A. Kornowski, H. Weller, "Self-Assembly of ZnO: From Nanodots to Nanorods", *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 41, no. 7, pp. 1188-1191, January, 2002.
- [19] Z. Lin, J. Chang, C. Jiang, J. Zhang, J. Wub, C. Zhu, "Enhanced inverted organic solar cell performance by post-treatments of solution-processed ZnO buffer layers", *RSC Adv.*, vol. 4, no. 13, pp. 6646-6651, January, 2014.
- [20] A. Mutlu, M. Can, C. Tozlu, "Performance improvement of organic solar cell via incorporation of donor type self-assembled interfacial monolayer", *Thin Solid Films*, vol. 685, pp. 88-96, September, 2019.
- [21] Y. Bai, C. Zhao, Q. Guo, J. Zhang, S. Hu, J. Liu, T. Hayat, A. Alsaedi, Z. Tan, "Enhancing the electron blocking ability of n-type MoO₃ by doping with p-type NiOx for efficient nonfullerene polymer solar cells", *Organic Electronics*, vol. 68, pp. 168-175, May, 2019.