TÜBİTAK

Yüksek Verimli Organik Güneş Pillerinin Elde Edilebilmesi İçin Yapısal Araştırmalar: P3ht:Pcbm/Pentacene/PTCDIAktif Tabakalı Tandem Yapılar

Program Kodu: 1001

Proje No: 212T012

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN

Araştırmacılar:
Prof. Dr. Mehmet BİBER
Prof. Dr. Abdülmecit TÜRÜT
Prof. Dr. Bülent ÇAKMAK
Doç. Dr. Tevhit KARACALI

NİSAN 2016
ERZURUM

İçindekiler

1. Önsöz 3
2. Özet 3
3. Abstract 4
4. Giriş 6
5. Literatür Özeti 6
6. Yöntem ve Bulgular 9
6.1 Alt Hücre ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al yapısının fabrikasyonu 9
6.2 Üst hücre ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al yapısının fabrikasyonu 13
6.3 Tandem ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Pentacene/PTCDI/Al yapılı güneş pilinin fabrikasyonu 15
6.4 Tandem yapının fabrikasyon aşamaları 16
6.4.1 ITO Temizliği 16
6.4.2 ITO/Pedot:PSS/P3HT:PCBM (1:0.8) 16
6.4.3 Pentacene/PTCDI (1:1)/Al 16
7. Sonuç ve Tartışma 16
8. KAYNAKLAR 19

Şekiller

Şekil 1. P3HT:PCBM güneş pili yapısı. 10
Şekil 2. P3HT:PCBM organik güneş pilinin enerji diyagramı [2]. 10
Şekil 3. P3HT:PCBM filmlere ait UV-VIS soğurma eğrisi. 11
Şekil 4. ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al güneş pilleri. 11
Şekil 5.ITO/PEDOT:P3HT:PCBM/LiF-Al güneş pilinin I-V karakteristiği. 12
Şekil 6. Pentacene/PTCDI güneş pili yapısı 13
Şekil 7. Pentacene/PTCDI ince filmlerin soğurma eğrileri. 13
Şekil 8. ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al güneş pilleri. 14
Şekil 9. ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al güneş piline ait I-V karakteristiği. 14
Şekil 10. Farklı öntavlama sıcaklıklarında ve sürelerinde imal edilmiş güneş pilleri. 15
Şekil 11. RT, 100°C, 150°C sıcaklıkları için yüzey pürüzlülükleri. 15
Şekil 12. Tandem ITO/PEDOT/P3HT:PCBM/Pentacene/PTCDI/Al güneş pili yapısı. 16
Şekil 13. Tandem yapılı güneş pili kalınlık ölçümü. 17
Şekil 14. Tandem yapılı güneş pilinin görünür bölgede soğurma karakteristiği. 17
Şekil 15. Tandem yapılı güneş pilinin J-V karakteristiği. 18

1. Önsöz

Güneş enerjisi, yeryüzüne yaklaşık olarak 1000 W/m^2'lik bir güç sağlar. Bu gücün bir kısmı bir güneş pili yardımıyla elektriğe dönüştürülebilir. Bu alanda yapılan araştırmalarda temel amaç, daha ekonomik ve daha yüksek verim değerlerine sahip güneş pili yapılarının fabrikasyonudur. Organik güneş pillerinde verimliliğin inorganik tabanlı yapılara göre düşük olmasına rağmen verimlilik/maliyet hesabı yapıldığında çok daha düşük maliyetler söz konusudur. Bu yapıların üzerinde çalışılmasını cazip kılan en önemli unsur verimlilik/maliyet hesabıdır.

Organik bileşikler kullanılarak üretilen organik güneş pilleri, inorganik tabanlı olanlara göre çok daha düşük üretim maliyeti ve ileri teknoloji gerektirmeyen yöntemlerle üretilebilmektedir. Organik malzemelerin yüksek soğurma kabiliyetleri, işleme kolaylığı, büyük yüzeylere uygulanabilmesi ve mekanik özellikleri bu malzemeleri daha cazip kılmaktadır.

Bu projenin amacı, temiz oda ortamında yüksek güç dönüşüm verimine sahip organik tabanlı ve iki katlı **P3HT:PCBM/Pentacene:PTCDI** yapıların fabrikasyonu ve karakteristik parametrelerinin incelenmesidir. Bu yapılar üzerinde yoğunlaşacağımız problemler;

- P3HT:PCBM / Pentacene:PTCDI yapının güneş ışığını soğurma kabiliyetinin artırılması ve
- Bu yapı içinde serbest yük taşıyıcılarının yok olmasına neden olan mekanizmaların (rekombinasyon vs.) oluşumunun en aza indirilmesi ve yük taşıyıcı mobilitelerinin artırılması için tavlama ve organik malzeme oranı etkilerinin araştırılması olarak tespit edilmiştir.

"Yüksek Verimli Organik Güneş Pillerinin Elde Edilebilmesi İçin Yapısal Araştırmalar: P3ht:Pcbm/Pentacene/PTCDIAktif Tabakalı Tandem Yapılar" adlı bu proje, TÜBİTAK tarafından 01.04.2013 tarih ve 212T012 no ile 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

2. Özet

Küresel olarak, her geçen gün artan enerji ihtiyacına karşılık bu enerjiyi sağlayan petrol, kömür, nükleer yakıtlar ve doğal gaz gibi temel kaynakların sınırlı olmaları ve olumsuz çevresel etkileri nedeniyle, yenilenebilir ve çevre dostu yeni kaynakların oluşturulması zorunlu hale gelmiştir. Fosil yakıtlarının yakılması sonucunda yüksek oranda çevreye salınan karbon dioksit, sera etkisi yaparak dünyamızın ortalama sıcaklığını artırmaktadır. Küresel ısınma nedeniyle ileriki yıllarda karşılaşılabilecek muhtemel çevre felaketleri oldukça yıkıcı sonuçlar doğurabilecektir.

Son yıllarda alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaya başlayan güneş pilleri, önümüzdeki birkaç on yıl içinde bu alandaki önemini daha da artıracaktır.

Günümüzde ticari olarak yüksek verimde (~ %40) çalışabilen Si gibi inorganik tabanlı güneş pillerinin yüksek üretim maliyetleri ve fabrikasyon atıklarının olumsuz çevresel etkileri nedeniyle; üretim maliyeti daha düşük, yapısal olarak daha esnek ve daha kolay üretilebilen organik tabanlı güneş pilleri üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Dünyadaki birçok üniversite ve araştırma merkezi, bu konuda önemli yatırımlar yaparak yüksek bütçeli projeler gerçekleştirmektedirler. Ülkemizde ise organik güneş pilleri üzerine henüz yeterli düzeyde çalışmalar yapılmamaktadır. Bu nedenle, organik güneş pilleri üzerinde ülkemizde yapılacak çalışmaların hızla artması ve desteklenmesi son derece önemlidir.

Bu projede, organik güneş pillerinin iki katlı tandem yapıları geliştirilerek, daha geniş bir spektrumda ışık soğurması ve güç dönüşüm veriminin artırılması hedeflenmiştir.

Projenin ilk aşamasında, çok katlı yapıları oluşturacak katlar bağımsız olarak elde edilmiştir. İkinci aşama olarak, organik malzemeler iletken şeffaf bir elektrot (ITO) üzerine büyütülmüştür. Ayrıca, sıvı fazından spin kaplama yöntemi ve termal buharlaştırma yöntemi ile organik filmler elde edilmiştir. İnce film büyütme aşamalarında film kalınlığı, tavlama sıcaklığı, döndürme hızı ve süresi gibi parametreler çok önemli olduğu için optimum şartların belirlenmesi yapıların yeniden üretilebilirliği açısından son derece önemlidir.

Elde edilen sonuçlara göre projede hedeflenen iki katlı güneş pili yapısı başarıyla oluşturulmuştur. Elde edilen güneş pili verimi, katların her birinin ayrı ayrı veriminden daha yüksek çıkması, projede önerilen tandem yapının uygulanabilirliğini göstermektedir. Yapının eklem arayüzey bölgelerinde ortaya çıkan seri direnç etkileri ve serbest yüklerin alması gereken yolun uzaması nedeniyle rekombinasyon etkileri öne çıkmaktadır. Ayrıca tandem yapıyı oluşturan alt tabakaların yarı şeffaf oluşları nedeniyle verimleri yüksek olamamaktadır. Bu nedenle, yapının verimini daha fazla artırmak için farklı mimarilerin tasarlanması ve yapıya eklenecek yeni tabakların (HTL, ETL, fotolüminesant elektrot) denenmesi gerekir. Proje kapsamında olmayan bu çalışmalara da devam edilmektedir.

3. Abstract

In order to meet energy need which increases every passing day, it has been a necessity to create environmentally friendly and renewable sources because basic sources such as natural gas, nuclear fuels, coal and petrol are limited and have

negative effects on environment. Possible environmental disasters can be faced in the near future due to global warming can cause rather devastating results.

Recently, solar cells that start to occupy an important place among alternative energy resources will probably increase their importance in this field in forthcoming decade. Inorganic-based highly efficient (~%40) and commercially available solar cells such as Si have high production costs and potentially harmful contaminants to the environment. Therefore, cost-effective, more easily produced and structurally more flexible organic-based solar cells are started to be intensively studied today. Many universities and research centers in the world carry out projects with big budget by making important investments. On the other hand, research on organic solar cells in Turkey is not adequate. Therefore, it is highly important for the research on the organic solar cells to be supported and to increase rapidly in our country.

In this project, it has been aimed to increase efficiency of power conversion and absorption of light in a wider spectrum by developing tandem structures in organic solar cells. Possible successful results to be obtained from the project will provide important contributions in terms of completing our deficiency in this field in our country and reducing our economic dependence on foreign countries.

In the first stage of the project, multi-layered structures have been tried to be fabricated independently. For this, it is vital to choose proper organic materials forming each layer.

In the second stage, organic materials have been grown on a transparent electrode (ITO). In addition, organic films have been obtained by spin method from liquid phase or by thermal evaporation. In the step of thin film growth, since some parameters such as film thickness, baking temperature, and spin speed and duration are very important, specifying the optimum conditions is crucial in terms of re-production of the structures. After defining the above-mentioned parameters, fabrication of the tandem structures have been carried out.

According to the results obtained in the project, a tandem solar cell has been successfully fabricated. The efficiency of the tandem solar cell is higher than each of the sublayers separately. It has been shown that it is possible the proposed structure of the feasibility of the project. Due to the effects of series resistance in the interfacial layers of the structure and due to longer path to move of the free charge of throughout the layers, recombination effects gets significant. In addition, the sublayers of the

structure fabricated in the project are semitransparent and then the structure has lower efficiencies since less light can be reflected inside the device by the semitransparent cathode. Therefore, to further increase the efficiency of the structure, it should be tried different the design architectures and different HTL and/or ETL layers for the fabrication of solar cells. And, it should be used cathodes with photo luminescent properties.

4. Giriş

Güneş enerjisi, yeryüzüne yaklaşık olarak 1000 W/m^2'lik bir ışık gücü sağlalar ve bu ışık gücünün bir kesri güneş pili aygıtı yapılarak, elektrik gücüne dönüştürülebilir. Bu alanda yapılan araştırmalarda amaç, ekonomik ve yüksek verim değerlerine sahip güneş pili fabrikasyonunu gerçekleştirmektir. Bu amaca uygun olarak, günümüzde organik güneş pilleri üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Organik güneş pili veriminin inorganik tabanlı yapılara göre düşük olmasına rağmen verim/maliyet hesabı yapıldığında çok daha düşük maliyetler söz konusudur. Polimerler ve çeşitli organik boyalara kullanılarak üretilen organik güneş pilleri, inorganik tabanlı olanlara göre çok daha düşük üretim maliyeti ve ileri teknoloji gerektirmeyen yöntemlerle üretilebilmektedirler. Bu malzemelerin yüksek soğurma kabiliyetleri, işleme kolaylığı, büyük yüzeylere uygulanabilmesi ve mekanik özellikleri bu malzemeleri daha cazip kılmaktadır.

Organik materyallerin yarıiletken özelliklerinin keşfedilmesinden sonra, bu malzemeler kullanılarak güneş pillerinin çevresel zararlı etkileri olmaksızın güneş ışığından büyük ölçekte elektrik enerjisi üretilebilmesi olasılığı bu alanda heyecanla karşılanmıştır. Çünkü bu malzemeler silisyuma göre hem çok daha ucuz, esnek, hafif, şeffaf ve hem de ince filmler olarak elde edilmeleri çok daha kolaydır [1,2]. Bu nedenle projenin konusu, yüksek verimli organik tabanlı tandem yapıda güneş pillerinin imal edilmesi ve bu yapıların karakteristik parametrelerinin (kısa devre akımı, açık devre voltajı, maksimum güç, doldurma faktörü, verim) deneysel ölçümler sonucunda elde edilmesi olarak belirlenmiştir. Organik malzemeler dış ortamdan büyük oranda etkilenmektedir. Güneş pilinin imal edilmesi sırasında oluşacak olumsuz etkilerden dolayı pil karakterizasyonunu korumak için piller oksijensiz ve nemsiz olan azot gazı ortamında (glovebox) ve temiz koşullarda (clean room) yapılacaktır.

5. Literatür Özeti

1950'li yıllarda, naftalin ve antrasin gibi organik kristallerde fotoiletkenliğin varlığı, ilk kez tespit edilmiştir [3-5]. 1960'ların başında pek çok boyanın yarıiletken olma

özelliğine sahip olduğu keşfedilmiştir [6]. Daha sonra bu boyalardan bazıların yarıiletken özelliğe sahip olduğu ortaya çıkmış ve bu boyalar sonraki çalışmalarda güneş pillerinde kullanılmaya başlanmıştır. Konjuge polimerlerin dop etme yoluyla iletkenliklerinin değiştirilebileceği gösterilmiştir [7]. Yine, farklı yapılarda çok sayıda yarıiletken polimer elde edilmiş ve bu yapılar kullanılarak ışık yayan organik diyotlar (organic light emitting diodes, OLEDs), alan etkili transistörler (field effect transistors, FETs) ve güneş pilleri yapılmıştır [8–15]. Bu yüzyılın başına kadar, organik güneş pilleri (organic photovoltaic cells, OPVs) konusunda ciddi bir gelişme sağlanamamış ve güç verimleri %1 civarında kalmıştır. Ancak, konjuge polimerlerin keşfedilmesi ve farklı yapılarda pil tasarımı (bulk heterojunction) bu verimi % 5'e kadar artırmıştır. Optiksel ve elektriksel simülasyonlara bağlı olarak, alt hücre için PCPDTBT:$PC_{61}BM$ ve üst hücre için P3HT:$PC_{71}BM$ kullanılarak, heteroeklem bir güneş pilinin en ideal dizaynı araştırılmış ve elde edilebilir enerji dönüşüm verimliliğinin % 9 gibi yüksek bir değer olabileceği bulunmuştur. Ancak her bir hücre için yük taşıyıcıları dengelenmezse hücrelerdeki daha düşük akım yoğunluğu ve daha düşük doyum faktörünün sonucu olarak enerji dönüşüm verimliliğinin % 4-% 6'lara düşebileceği bulunmuştur [16]. Bu nedenle, olası en yüksek verimliliği gerçekleştirmek amacıyla fotoaktif karışımlardaki dengelenmiş yük taşıyıcı mobilitesi araştırılmıştır [17,18]. Fakat bu ilerlemelere rağmen organik tabanlı güneş pilleri anorganiklere göre hala ticari olarak istenilen seviyede değildir.

Tipik boya bazlı (tabanlı) güneş pilleri nanokristalize titanyum film olan fotoanod ve bir organik çözücüden oluşan elektrolit ile doldurulmuş platin karşıt elektrottan oluşur. Güneş ışığı güneş pilini aydınlattığı zaman boya molekülleri fotonlar tarafından uyarılır. Uyarılan molekülden elektronlar çok hızlı bir şekilde yarıiletken elektrotun iletkenlik bandına enjekte olurlar. Buradan elektronlar nanokristal yapı boyunca ilerleyip saydam elektroda ulaşıp dış devreye geçerler. Elektron kaybeden boya daha sonra elektrolit tarafından verilen elektronla orijinal durumuna döner. Bu durumdan dolayı boya bazlı güneş pillerinde net yük sıfırdır ve kimyasal bir değişim olmaz. Elektron veren organik çözücülü çözelti ya da iyonik çözelti daima I_3^- / I^- redoks sistemi içerir. Redoks reaksiyonlarının sürekli olması devrede sürekli bir akım olmasını sağlar. Bu işleyiş sonucunda fotoakım oluşur. Boya bazlı pillerde çoğunlukla rutenyum bazlı boyalar kullanılmaktadır. Ayrıca sıklıkla 4-tert-butilpridin (TBP) ve N-methilbenzimidazole (NMBI) denilen maddeler elektrolit çözeltisinin içerisinde kullanılır. Bu malzemeler

elektronların rekombine olma olasılığını azaltıp belirgin bir şekilde enerji dönüşümünün verimliliğini ve doyum faktörünü arttırmış olduğu gözlenmiştir [19]. Organik molekül içeren malzemeler istendiğinde birkaç nanometre kalınlığında kaplanabilmektedir. Organik malzemeler sıyırma bıçağı (doctor blade) [20], döndürerek kaplama (spin coating) [21], silindir döndürerek boyama (roll to roll printing) [22] ve elektrokimyasal [23] yöntemle kaplanabilmektedir. Ayrıca oda sıcaklıklarında işlenebilme özelliği, bu malzemelerin esnek plastik altlıklar üzerine yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla büyük alanlarda kullanıldığı zaman da çok daha hafif olurlar. Organik güneş pilleri eksitonik güneş pilleri olarak da adlandırılmaktadır. Çünkü güneş pili tarafından soğurulan ışık, aktif bölge içinde elektron-boşluk çifti olan eksitonları oluşturmaktadır [24]. Bu eksitonlar donor-akseptor arayüzünde difüze olurlar ve serbest yük taşıyıcıları elektron ve boşluk olarak ayrılırlar. Elektronlar akseptör tipi malzemeye doğru hareket ederken boşluklar donor tipi malzemeye doğru hareket ederler. Serbest yük taşıyıcıları kendilerine karşı gelen elektrotlar tarafından toplanır. Organik yarıiletken aktif tabakada ışık nedeniyle oluşan eksitonların kuvvetli Coulomb etkileşmeleri nedeniyle, yapı içinde iş fonksiyonu farkları nedeniyle oluşan dahili elektrik alanın bu eksitonları ayrıştırması oldukça zordur. Organik aktif tabakalı güneş pillerindeki verim düşüklüğünün önemli bir nedeni budur. Yine, eksitonların yapı içindeki difüzyon uzunluğu 5-15nm değerlerine sahiptir. Bu nedenle rekombinasyonlar meydana gelir ve serbest yük oluşum miktarı azalır. Bu olay da fotoakımı azaltarak verimi olumsuz yönde etkiler [25, 26]. Kısa eksiton difüzyon uzunluğuna ek olarak organik yarıiletkenlerin dar absorbsiyon aralığı ve düşük yük taşıyıcı mobilitesi gibi özellikleri de güneş pilinin verimini sınırlar [27,28].

İki katlı tandem yapı elde etmek için genellikle, donor (electron verici) olarak bir yarıiletken polimer tabaka ve akseptör (electron alıcı) olarak ise yine bir yarıiletken polimer ya da fullerene türevi bir tabaka kullanılır. Eğer bu iki malzeme arasındaki potansiyel enerji farkı eksiton bağlanma enerjisinden daha büyük ise, bu fark eksiton ayrımını ve yük transferini sağlar. 1985 yılında, Tang iki tabakalı güneş pili yaparak, dış kuantum verimini %15 ‘e çıkarmayı başarmıştır [29]. İki katmanlı polimer güneş pillerinde donor tabaka olarak MEH-CNPPV [30], MEH-PPV [31], P3HT [32], MDMO-PPV [33] gibi malzemeler ve n-tipi polimer ya da anorganik yarıiletken tabaka olarak da TiO2 [34], CdSe [35], karbonnanotüp [36], fullerene [37] gibi malzemeler kullanılmıştır. Bu yapıda p-tipi polimer foton absorbe ederek eksitonların oluşmasını

sağlar ve bu eksitonlar arayüzeyde ayrışırlar. Elektronlar n-tipi polimere ya da organik yarıiletkene transfer edilirler. Bu durum serbest yük oluşumunu artırarak singlet eksitonların rekombinasyon olasılığını azaltır. Bu yapı tek tabakalı yapıdan daha iyi olmasına rağmen bazı eksikleri vardır. Çünkü ışık absorbsiyonu sadece yük oluşturulan bölgeyle kısıtlandırıldığından yük oluşumu da sınırlandırılmış olur.

Güneş pillerinde daha çok foton soğurmasının mümkün olması durumunda verimin de artacağı düşüncesi ile iki tabakalı yapılar geliştirilerek heteroeklem yapılar elde edilmiştir. Donor-akseptör arayüzüne doğru azalan eksiton difüzyon uzunluğu, artan arayüz alanları, eksiton ayrışmasını kolaylaştırma ve fotoakım artışını sağlama gibi nedenlerden dolayı heteroeklem yapılar, tek tabakalı ve iki tabakalı yapılara göre daha avantajlıdır [38-40]. Bu yapılar, eklemi oluşturan malzemelerin farklı dalga boylarında soğurma yapacak şekilde seçilmeleri durumunda daha yüksek verimli yapılar olarak ortaya çıkmıştır [41]. Seri heteroeklem yapılarda alt hücre yüksek band genişlikli malzemelerden oluşurken üst hücrede düşük band genişlikli polimerlerden oluşur. Bu, alt hücrenin band genişliğinden daha düşük enerjili fotonların, düşük band genişlikli üst hücreye geçişini ve orada absorbe edilmesini sağlar. Bu yolla güneş enerjisi en ideal şekilde ve spektrumun büyük bir kısmını kapsayacak şekilde toplanmış olur [42]. Her bir alt hücrenin en iyi özelliklerini birleştirerek seri veya paralel bağlı tandem yapılar oluşturmak ve böylece muhtemel en geniş spektrum aralığı elde etmek amaçlanmış ve yapılan çalışmalarda tek tabakalı bir yapı için elde edilen dış kuantum verimi %30 civarında iken, aynı yapı üzerine seri olarak eklenen yeni bir yapı ile verim değeri %42'ye yükseltilebilmiştir [1,43].

6. Yöntem ve Bulgular

"Yüksek Verimli Organik Güneş Pillerinin Elde Edilebilmesi İçin Yapısal Araştırmalar: P3HT:PCBM/Pentacene/PTCDIAktif Tabakalı Tandem Yapılar" adlı ve 212T012 nolu 1001 kodlu Tübitak projesinin kapsamı özet olarak şu şekilde verilebilir:

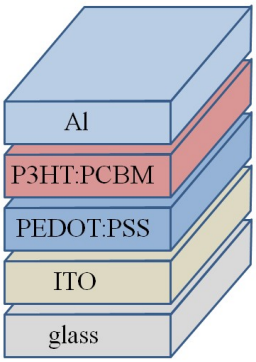
6.1 Alt Hücre ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al yapısının fabrikasyonu

Tandem yapının birinci katmanında (alt hücre), P3HT ve PCBM yapıları kullanılarak, aktif organik tabaka P3HT:PCBM şeklinde elde edilmiştir. Bu yapıda P3HT elektron iletim moleküler yarıiletken tabaka ve PCBM ise akseptör iletim moleküler yarıiletken tabaka olarak işlev görmüştür. Her iki moleküler tabaka da, görünür ışığın önemli bir kısmını soğuracak şekilde bir bant yapısına sahiptirler [44]. Bu yapının fabrikasyonu aşağıdaki yöntemle tamamı glovebox içinde ve saf azot gazı ortamında gerçekleştirilmiştir.

- Indium Tin Oxide (ITO) nun temizliği,
- ITO üzerine organik elektrot PEDOT:PSS büyütülmesi,
- Aktif organik yarıiletken karışımın hazırlanması ve bir tabaka olarak PEDOT:PSS üzerine büyütülmesi,
- Al metal kontağın vakum ortamında buharlaştırılması.

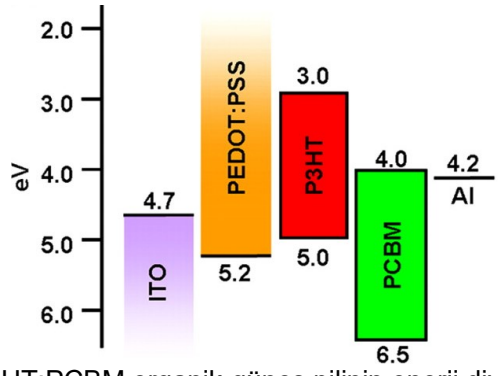
Bu aşamaların tamamlanmasıyla, birinci kat ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al güneş pili Şekil.1'de görüldüğü yapıda elde edildi. İkinci dönem raporunda sunulan bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar kısaca şu şekilde özetlenebilir:

Bu dört aşamanın birinci aşaması hariç diğer aşamalar glovebox içinde yapılmıştır. Bu aşamalardan sonra elde edilen **ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al** güneş pili yapısı Şekil.1'te görülmektedir.



Şekil 1. P3HT:PCBM güneş pili yapısı.

Bu yapının enerji-bant diyagramı Şekil.2'de verilmiştir.

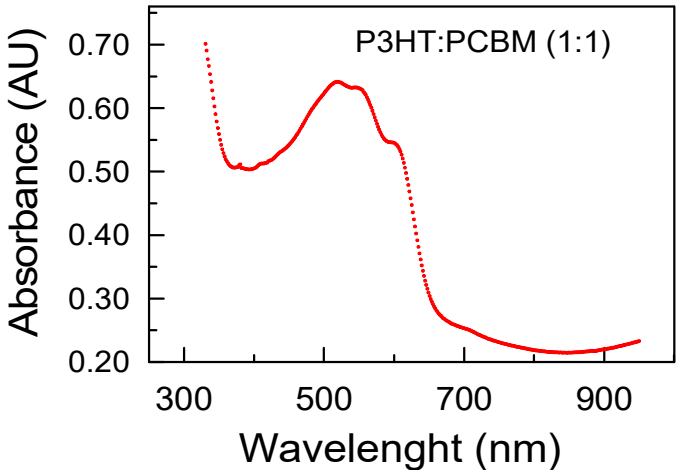


Şekil 2. P3HT:PCBM organik güneş pilinin enerji diyagramı [45].

Bu çalışmada uygun iş fonksiyonlarına sahip elektrotlar olarak ITO ve Al kullanılmıştır. Donor (elektron verici) tabaka olarak P3HT ve akseptör (elektron alıcı) tabaka olarak PCBM kullanılmıştır. PEDOT:PSS, ITO anoduna gelen elektronları engelleyerek (EBL, electron blocking layer) rekombine olmalarını önlemek için kullanılmıştır. PCBM ise karışım içerisinde

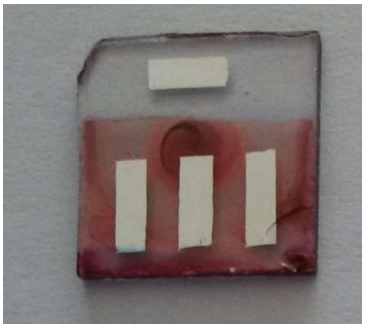
kristalimsi yapılar oluşturarak güneş pili verimini artırmaktadır. P3HT yaklaşık 2 eV luk bant aralığı ile iyi bir hole taşıyıcı tabaka olarak davranmaktadır. Bu iki malzeme arasındaki potansiyel enerji farkı eksiton bağlanma enerjisinden daha büyük olduğundan, bu fark eksiton ayrımını ve yük transferini sağlar.

P3HT:PCBM filmlerin soğurma ölçümleri yapılarak görünür dalga boyunda soğurma etkisine sahip oldukları Şekil.3'te gösterilmiştir. Canli et al. [46] tarafından yapılan çalışmadaki sonuçla uyumludur.



Şekil 3. P3HT:PCBM filmlere ait UV-VIS soğurma eğrisi.

Şekil 4.'te imal edilen güneş pilleri görülmektedir.

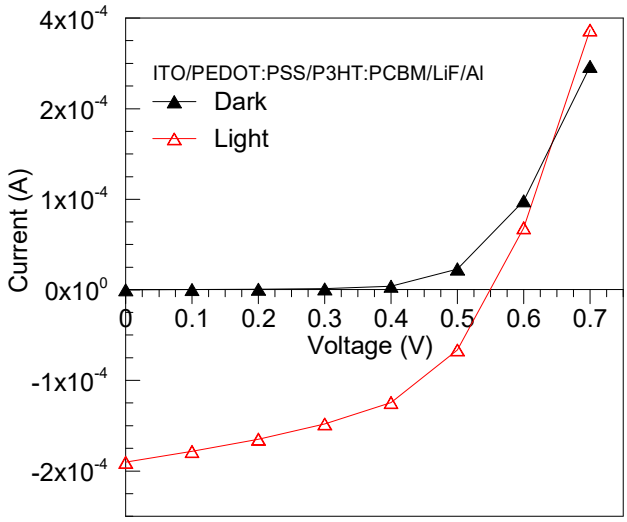


Şekil 4. ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al güneş pilleri.

PEDOT:PSS film kalınlığı 40nm, P3HT:PCBM film kalınlığı 100nm ve Al metal kontak kalınlığı 100 nm civarındadır.

Karanlık ve aydınlık I-V ölçümlerinden anlaşıldığı üzere, fabrikasyon neticesinde elde edilen numuneler tipik diyot karakteristiği göstermektedirler. Bu dönemde yapılan çalışmalarda,

ITO/PEDOT:P3HT:PCBM/LiF-Al yapılara ait verim ölçüleri yapıldı. Şekil 5.'te, ITO/PEDOT:P3HT:PCBM/LiF-Al güneş piline ait aydınlık ve karanlık I-V ölçümleri verilmektedir. Aydınlık ölçümleri AM1.5 şartlarında 33 mW/cm^2 ışık gücünde yapılmıştır.



Şekil 5.ITO/PEDOT:P3HT:PCBM/LiF-Al güneş pilinin I-V karakteristiği.

Bu yapıya ait karakteristik parametreler şu şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 1.

V_{oc}(mV)	J_{sc}(mA/cm^2)	FF	η
550	1.90	0.52	1.65

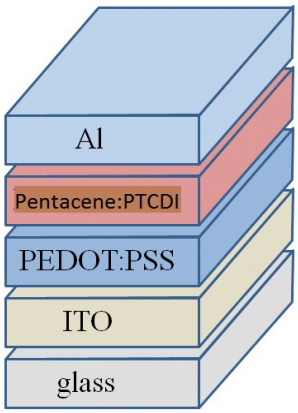
ITO/PEDOT:P3HT:PCBM/LiF-Al güneş pilinin verimi P3HT:PCBM oranına bağlı olarak ta incelenmiş ve elde edilen sonuçlar BPU9 kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuştur [47]. Tablo 2.'de verilen bu sonuçlara göre, PCBM oranının artışına bağlı olarak güneş pili veriminin arttığı gözlenmiştir.

Tablo 2.

P3HT:PCBM ratio	Jsc (mA/cm^2)	V_{oc} (V)	FF (%)	Efficiency (%)
1:0.8	**1.92**	**0.28**	**31**	**0.55**
1:0.5	**2.11**	**0.34**	**43**	**1.16**
1:0.5-LiF	**2.28**	**0.53**	**52**	**2.13**

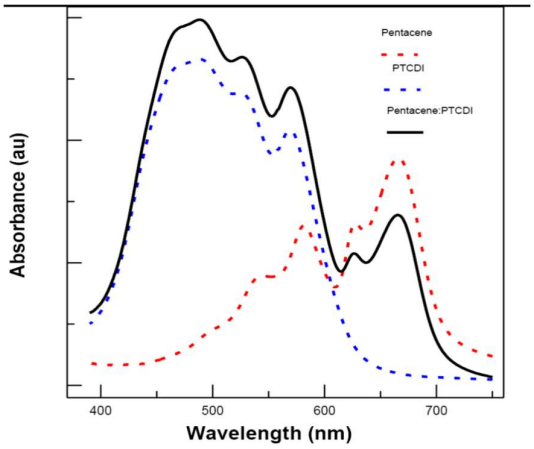
6.2 Üst hücre ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al yapısının fabrikasyonu

Organik yarıiletkenler arasında yüksek hole mobilitesine sahip olan Pentacene, organik güneş pili yapımında önemli bir potansiyele sahiptir. Yine, 670 nm dalga boyunda iyi bir solar soğurma etkisine sahip olması nedeniyle Pentacene, güneş pillerinde donor malzeme olarak kullanılmaktadır. UV-visible bölgede (400 nm) yüksek soğurma özelliğine sahip olan PTCDI organik akseptör malzemesi, Pentacene ile birlikte kullanılarak organik güneş pillerinde verim artırılabilir [48]. Elde edilen **ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al** güneş pili yapısı Şekil 6.'te görülmektedir.



Şekil 6. Pentacene/PTCDI güneş pili yapısı.

Termal buharlaştırma yöntemi ile elde edilen ince filmlerin soğurma spektrumları alınmış ve bu ince filmlerin literatüre uygun olarak [49], görünür bölgede güçlü soğurma yaptıkları tespit edilmiştir. Yapıya ait ölçtüğümüz soğuma spektrumları Şekil 7.'da verilmiştir.



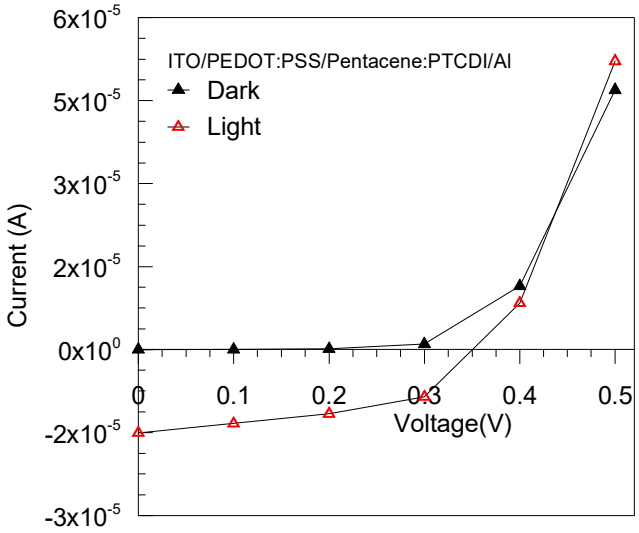
Şekil 7. Pentacene/PTCDI ince filmlerin soğurma eğrileri.

ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al yapıda donor malzeme olarak Pentacene ve akseptör malzeme olarak PTCDI kullanılmıştır. Bu çalışmada yine EBL olarak PEDOT:PSS kullanılmıştır. Şekil 8.'de imal edilen güneş pili verilmiştir.



Şekil 8. ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al güneş pilleri.

Belirtilen fabrikasyon aşamalarından sonra elde edilen güneş piline ait karanlık ve aydınlık ölçümleri yapılmış ve yapıların güneş pili olarak çalıştıkları gözlenmiştir. Şekil 9.'de, yapıya ait aydınlık ve karanlık I-V karakteristiği görülmektedir.



Şekil 9. ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al güneş piline ait I-V karakteristiği.

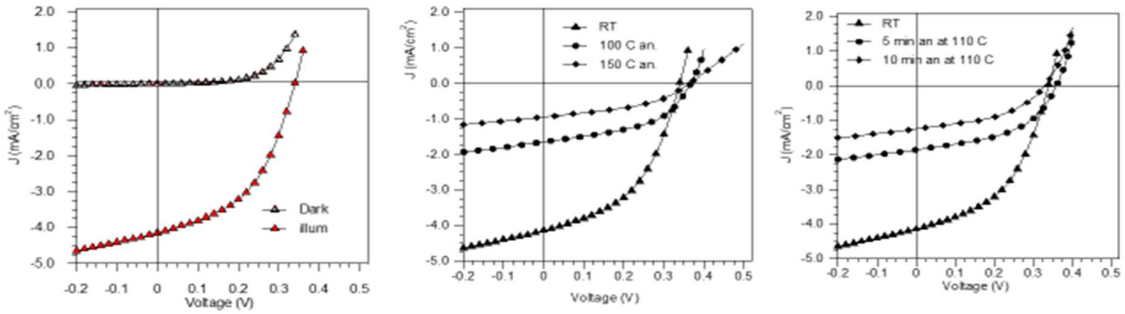
Yapılan hesaplamalar sonucunda, bu yapıya ait elde edilen karakteristik parametreler Tablo 3.'te verilmiştir. Işık gücü 300 W/m^2'dir.

Tablo 3.

V_{oc}(mV)	J_{sc}(mA/cm^2)	FF	η
350	2.0	0.57	1.33

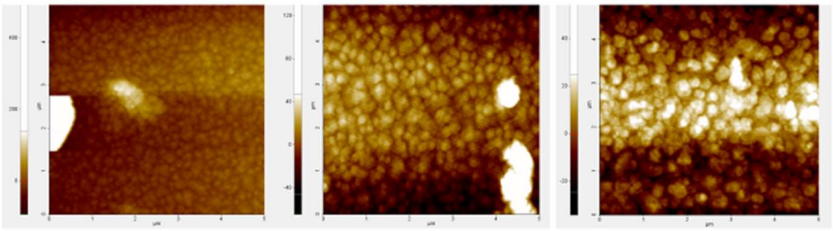
ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al yapının termal kararlılığını tespit etmek üzere deneyler yapılmış ve bu çalışmalar SOLARTR-3 27-29 Nisan 2015 kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuştur [50].

Bu çalışmada, farklı öntavlama sıcaklıkları (RT, 100 °C ve 150 °C) ve sabit sıcaklıkta (110 °C) farklı öntavlama sürelerinde (5 dk, 10 dk) güneş pillerinin akım-gerilim karakteristikleri incelenmiştir. AM1.5 ve 300 W/m^2 ışıma şartlarında imal edilen güneş pillerinin akım-gerilim karakteristikleri Şekil 10.'da görülmektedir.



Şekil 10. Farklı öntavlama sıcaklıklarında ve sürelerinde imal edilmiş güneş pilleri.

Yine, Şekil 11.'da, sırasıyla RT, 100°C, 150°C sıcaklıkları için bu örneklere ait AFM görüntüleri verilmektedir.



Şekil 11. RT, 100°C, 150°C sıcaklıkları için yüzey pürüzlülükleri.

Yapılan bu çalışmada, Pentacene/PTCDI güneş pillerine ait açık devre voltajlarının artan öntavlama sıcaklığı ile artarken verimlerinin azaldığı görülmüştür. Güneş pili yüzey pürüzlülüğü ise artan sıcaklıkla azalırken, tane büyüklüğü artan sıcaklıkla artmaktadır. Pentacene/PTCDI yapılarda verimin tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi de incelenmiş olup, bu çalışmalar BPU9'da poster bildiri olarak sunulmuştur [51].

6.3 Tandem ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Pentacene/PTCDI/Al yapılı güneş pilinin fabrikasyonu

Birinci ve ikinci aşamada birbirinden bağımsız olarak elde edilen ve testlerden geçirilerek karakteristik parametreleri belirlenen iki yapının tek bir yapı olarak elde edilmesi aşamasıdır. Bu durumda elde edilecek tandem yapı (Şekil 11.) seri bağlı iki güneş pilinin birlikte çalışması şeklinde değerlendirilebilir. Projenin amacına uygun olarak, bu aşamada yapılacak aydınlık ve karanlık akım-gerilim ölçümleri için her bir katın veriminden daha yüksek bir verim beklenmektedir.

6.4 Tandem yapının fabrikasyon aşamaları

6.4.1 ITO Temizliği

1- 15 dakika Propanol ile ultrasonik yıkama

1- N_2 gazı ile kurutma

3- 15 dakika % 2 Decon 90 Çözeltisi ile ultrasonik yıkama

4- N_2 gazı ile kurutma

5- Deiyonize su (DI) ile durulama

6- 15 dakika Aseton ile ultrasonik yıkama

7- Deiyonize su (DI) ile durulama

8- 15 dakika Deiyonize su (DI) ile ultrasonik yıkama

9- N_2 gazı ile kurutma

6.4.2 ITO/Pedot:PSS/P3HT:PCBM (1:0.8)

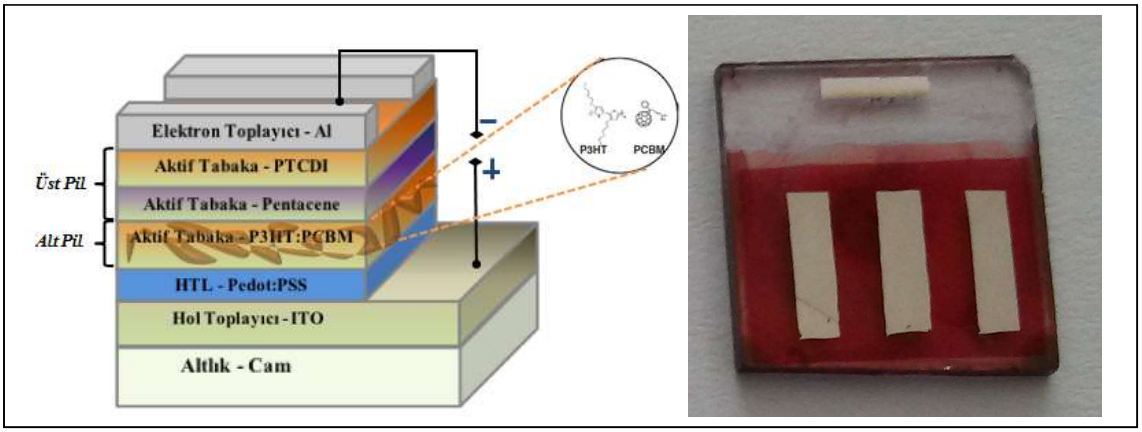
- **Pedot:PSS** 4000 rpm 10+50 sn Spin Coatting, 180 °C'de 2 dk tavlama, 40 nm
- **P3HT:PCBM:** 18:14.4 mg (1:0.8)- 1.8:1.8 ml (1:1) Spin Coating, 800 rpm 15+45 s ve 115 °C 5 dk tavlama

6.4.3 Pentacene/PTCDI (1:1)/Al

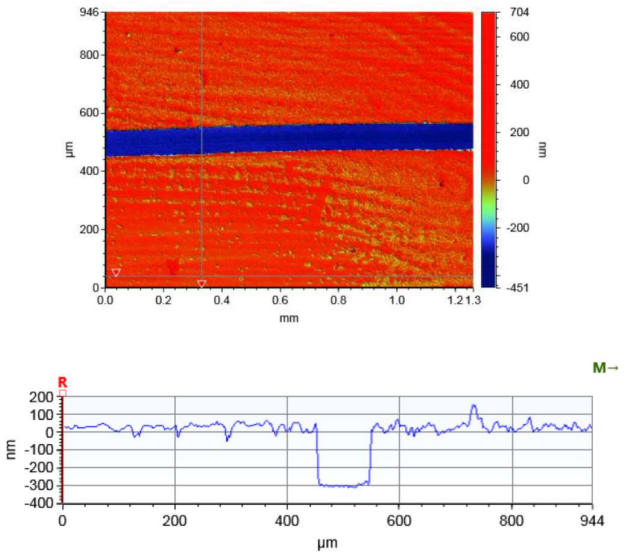
- **Pentacene:** 1x10^{-7} Torr basınçta tüm yüzey termal buharlaşma, 40 nm
- **PTCDI:** 1x10^{-7} Torr basınçta tüm yüzey termal buharlaşma, 40 nm
- **Al:** 1x10^{-7} Torr basınçta tüm yüzey termal buharlaşma, 40 nm kalınlık, 2x4 mm^2 alana sahip metal kontak

7. Sonuç ve Tartışma

Yukarıda verilen fabrikasyon aşamalarından sonra Şekil 12.'de verilen ITO/Pedot:PSS/P3HT:PCBM/PTCDI/Pentacene/Al (300 nm) tandem güneş pili yapısı elde edilmiştir. Aynı şekil üzerinde, elde edilen gerçek güneş pili de görülmektedir. Profilometre ile yapılan kalınlık ölçümünde, tüm yapının kalınlığı 300nm olarak ölçülmüştür. Bu değer yaklaşık olarak, ayrı ayrı tabakaların toplam kalınlığına eşittir. Ölçüm sonucu Şekil 13.'de verilmektedir.

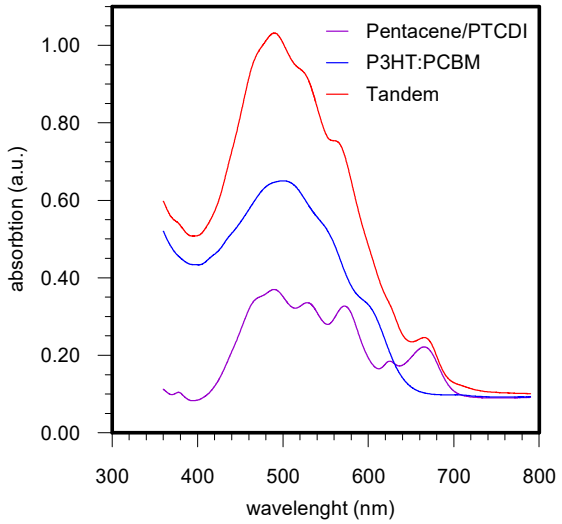


Şekil 12. Tandem ITO/PEDOT/P3HT:PCBM/Pentacene/PTCDI/Al güneş pili yapısı.



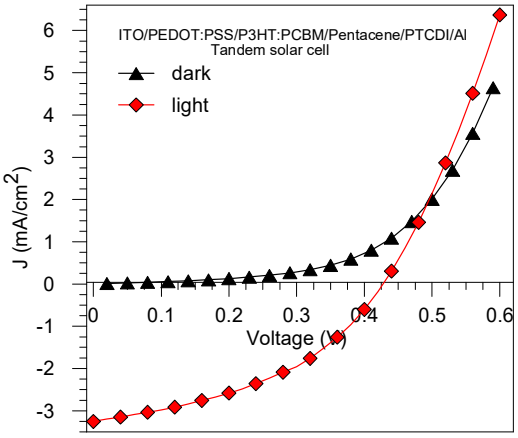
Şekil 13. Tandem yapılı güneş pili kalınlık ölçümü.

Tandem güneş pilinin her bir katına ait soğurma ölçümleri ayrı ayrı yapıldı. Daha sonra tüm yapının soğurma ölçümleri yapıldı. Elde edilen sonuçlara göre, tandem yapılı güneş pili görünür bölgenin geniş bir aralığında soğurma yapmaktadır ve bu durum Şekil 14.'te görülmektedir.



Şekil 14. Tandem yapılı güneş pilinin görünür bölgede soğurma karakteristiği.

Güneş pilinin verimini ve diğer karakteristik parametrelerini hesaplamak için karanlık ve aydınlık (300 W/m^2) ortamlarda akım-gerilim ölçümleri yapıldı. Yapının *J-V* karakteristiği Şekil 15.'te verilmiştir.



Şekil 15. Tandem yapılı güneş pilinin J-V karakteristiği.

Yapılan analiz ve hesaplamalarda elde edilen karakteristik parametreler Tablo 6.'da görülmektedir.

Tablo 5.

V_{oc}(mV)	J_{sc}(mA/cm^2)	FF	η
420	3.25	0.43	1.95

Elde edilen sonuçlara göre projede hedeflenen iki katlı güneş pili yapısı başarıyla oluşturulmuştur. Elde edilen güneş pili verimi, katların her birinin ayrı ayrı veriminden daha yüksek çıkması, projede önerilen tandem yapının uygulanabilirliğini göstermektedir. Elde edilen verim değeri, yapının literatürde birebir benzeri olmaması nedeniyle, bazı yakın tandem yapılarla kıyaslanabilir. Yapılan bir çalışmada [52], CuPc:PTCBI/Ag/CuPc:PTCBI tandem yapısında elde edilen açık devre voltajı değeri V_{oc}= 900 mV ve verim değeri η=2.5 olarak elde edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada [53] P3HT:PCBM/PSBTBT:PCBM tandem yapısı için verim η=3.6x10^{-3}, doldurma faktörü FF=0.26, açık devre voltajı V_{oc}= 690 mV ve kısa devre akımı J_{sc}=0.21 mA/cm^2 ise olarak elde edilmiştir.

ITO/Pedot:PSS/P3HT:PCBM yapıya ait tavlama etkileri ve aktif tabaka katkı oranlarına bağlı verim incelenmesi yapılmıştır [4,7]. Yapının eklem arayüzey bölgelerinde ortaya çıkan seri direnç etkileri ve serbest yüklerin alması gereken yolun uzaması nedeniyle rekombinasyon etkileri öne çıkmaktadır. Bu nedenle, yapının verimini daha fazla artırmak için farklı mimarilerin tasarlanması ve yapıya eklenecek yeni tabakların (HTL, ETL) denenmesi gerekir. Proje kapsamında olmayan bu çalışmalara da devam edilmektedir.

Yine, yapı içine altın, gümüş ve nikel gibi nanopartiküllerin karıştırılması ile soğurma verimin artması söz konusudur. Bu yöndeki çalışmalar da, devam eden doktora çalışmaları içinde yer alacaktır.

Proje kapsamında kurduğumuz laboratuvarda, projenin konusu dışında olan ve ülkemizde

henüz çok yeni olan Perovskite güneş pilleri üzerine bir doktora çalışması daha devam etmektedir. Bu çalışmadan da önemli sonuçlar alınmaya başlanmıştır.

Bu projenin önemli sonuçlarından birisi de, üniversitemiz ve ülkemiz için önemli bir güneş pili araştırma alt yapısının kurulmuş olmasıdır. Bu sayede, üniversitemiz bu alandaki çalışmalar için önemli bir merkez haline gelmiştir. Ancak temel bilimlerdeki lisans düzeyindeki malum problemleri devam ettiği sürece, bu çalışmaların lisansüstü düzeyde sürdürülmesi oldukça zordur. Bu laboratuvarın öneminin her düzeyde sorumlu idareciler tarafından da anlaşılması ve desteklenmesi gerekir. Çünkü laboratuvarın içinde bulunduğu temiz oda ortamının karakteri gereği sürekli olarak bakıma ihtiyaç duyması ve maliyetli olması devamlı bir mali kaynağa gereksinimi doğurmaktadır.

8. KAYNAKLAR

[1] Ameri T. et al. 2009. "Organic tandem solar cells: A review", Energy Environ. Sci., 2, 347–363.

[2] Shaheen S. E. et al. 2001. "Fabrication of bulk heterojunction plastic solar cells by screen printing", Appl. Phys. Lett. 79, 2996-8.

[3] Mette H. 1953. Physik Z., 134, 566.

[4] Kepler R. G. 1960. "Charge Carrier Production and Mobility in Anthracene Crystals", Phys. Rev., 119, 1226-9.

[5] Pope M. et al. 1963. "Electroluminescence in Organic Crystals", J. Chem. Phys., 38, 2042-3.

[6] Bube R. H. 1960. "Photoconductivity of Solids", Wiley, New York.

[7] Chiang C. K. et al. 1977. "Electrical Conductivity in Doped Polyacetylene", Phys. Rev. Lett. 39, 1098-1101.

[8] Burroughes J. H. et al. 1990. Bradley D. D. C., "Light-emitting diodes based on conjugated polymers", Nature 347, 539.

[9] Koezuka H., et al. 1987. "Field-effect transistor with polythiophene thin film", Synth. Met. 18, 699-704.

[10] Brown A. R. et al. 1995. "Logic Gates Made from Polymer Transistors and Their Use in Ring Oscillators", Science 270, 972-4.

[11] Yu G., et al. 1994. "Semiconducting polymer diodes: Large size, low cost photodetectors with excellent visible-ultraviolet sensitivity", Appl. Phys. Lett. 64, 3422-4.

[12] Shaheen S. E. et al. 2001. "2.5% efficient organic plastic solar cells", Appl. Phys. Lett. 78, 841-3.

[13] Schilinsky P. et al. 2002. "Recombination and loss analysis in polythiophene based bulk heterojunction photodetectors", Appl. Phys. Lett., 81, 3885-7.

[14] Ahn J.H. et al. 2007. "Blue organic light emitting devices with improved colour purity and efficiency through blending of poly(9,9-dioctyl-2,7-fluorene) with an electron transporting material", J. Mater. Chem.,17, 2996-3001.

[15] Zhu F.J., et al. 2007. "Effect of the thickness of Zn(BTZ)2 emitting layer on the electroluminescent spectra of white organic light-emitting diodes, J LUMINESCENCE, 122, 717-9.

[16] Namkoong G. et al. 2010. "Design of organic tandem solar cells using PCPDTBT:PC_{61} BM and P3HT:PC_{71}BM", J. Appl. Phys., 107, 124515-124520.

[17] Boland P. et al. 2010. "Device optimization in PCPDTBT:PCBM plastic solar cells", Sol. Energy Mater.Sol. Cells 94, 915-920.

[18] Boland P., Namkoong G. 2010. "Optimization of active layer thickness in planar organic solar cells via optical simulation methods", Jpn. J. Appl. Phys. 49, 030205-1-3.

[19] Green, M. A. et al. 2007. “Solar cell efficiency tables (version 29), Prog. in Photo., 15, 35-40.

[20] Neugebauer H. et al. 2000. “Stability and photodegradation mechanisms of conjugated polymer/fullerene plastic solar cells”, Solar Energy Materials and Solar Cells, 61, 35–42.

[21] Padinger F. et al. 2003. “Effects of Postproduction Treatment on Plastic Solar Cells, Adv. Func. Mater. 13, 85-8.

[22] Shaheen S. E. et al. 2001. “Fabrication of bulk heterojunction plastic solar cells by screen printing”, Appl. Phys. Lett. 79, 2996-8.

[23] Schwarzburg K., et al. 2004. “Primary and final charge separation in the nano-structured dye-sensitized electrochemical solar cell”, Coordin. Chem. Rev. 248, 1259-1270.

[24] Hoppe H., Sariciftci N. S. 2004. “Organic solar cells: An overview”, J. Mater. Res., 19, 1924-1945.

[25] Halls, J. M., et al. 1996. “Exciton diffusion and dissociation in a poly(p-phenylenevinylene)/C_{60} heterojunction photovoltaic cell”, Appl. Phys. Lett. 68, 3120-2.

[26] Pettersson, L. A. A., et al. 1999. “Modeling photocurrent action spectra of photovoltaic devices based on organic thin films”, J. Appl. Phys. 86, 487-496.

[27] Jorgensen M. et al. 2008. “Stability/degradation of polymer solar cells”, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 92, 686-714.

[28] Helgesen, M. et al. 2010. “Advanced materials and processes for polymer solar cell devices”, J.Mater. Chem. 20, 36-60.

[29] Tang C. W. 1986. “Two-layer organic photovoltaic cell”, Appl. Phys. Lett. 48, 183-5.

[30] Granstr M. et al. 1998. “Laminated fabrication of polymeric photovoltaic diodes”, Nature 257-260.

[31] Breeze A. J. et al. 2001. “Charge transport in TiO2/MEH-PPV polymer photovoltaics APS , 125205, 1-9.

[32] Kwong C. Y. et al. 2004. “Influence of solvent on film morphology and device performance of poly(3-hexylthiophene):TiO2 nanocomposite solar cells”, Chemical Physics Letters, 372-5.

[33] van Hal P. A., et al. 2003. “Photoinduced Electron Transfer and Photovoltaic Response of a MDMO-PPV:TiO2 Bulk-Heterojunction”, Adv.Mat. 15, 118-121.

[34] Oregan B., Gratzel M., 1991. “A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films”, Nature 353, 737-740.

[35] Huynh W. U. et al. 1999. “CdSe nanocrystal rods/poly(3- hexylthiophene) composite photovoltaic devices”, Adv. Mat. 11, 923-7.

[36] Lee S. B. et al. 2001. “Electrical and optical properties of conducting polymer-C60-carbon nanotube system”, Synt. Metals 121, 1591-2.

[37] Yu G. et al. 1995. “Polymer Photovoltaic Cells: Enhanced Efficiencies via a Network of Internal Donor-Acceptor Heterojunctions”, Science 270 1789-1791.

[38] Bundgaard E., Krebs F.C., 2007. “Low band gap polymers for organic photovoltaics”, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 91, 954-985.

[39] Cai W. Z., et al. 2010. “Polymer solar cells: Recent development and possible routes for improvement in the performance”, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 94, 114-127.

[40] Chen L. M., et al. 2009. “Recent Progress in Polymer Solar Cells: Manipulation of Polymer:Fullerene Morphology and the Formation of Efficient Inverted Polymer Solar Cells”, Adv. Mater. 21, 1434-1449.

[41] Gunes S. et al. 2007. “Conjugated Polymer-Based Organic Solar Cells”, Chem. Rev. 107, 1324–1338.

[42] Boland P. et al. 2010. “Design of organic tandem solar cells using low- and high-bandgap polymer:fullerene composites”, Sol. Energy Mater.Sol. Cells 94, 2170-5.

[43] Helgesen M. et al. 2010. “Advanced materials and processes for polymer solar cell devices, J. Mater. Chem., 20, 36-60.

[44] Bube, R. H. 1998. Properties of Semiconductor Materials, Vol.1, Imperial Collage Press.

[45] Padinger, F. et al. 2003. “Effects of postproduction treatment on plastic solar cells”, Adv. Funct. Mater. 13. 85-109.

[46] Canli, Y. N. et al. 2010. “Chiral (S)-5-octyloxy-2-[{4-(2-methylbuthoxy)- phenylimino}-methyl]-phenol liquid crystalline compound as additive into polymer solar cells”. Solar Energy Materials and Solar Cells. 94. 6. 1089-1099.

[47] Çaldıran, Z. vd. 2015. “The effect of mixing ratios of P3HT:PCBM on the performance of organic solar cells”. BPU9. 24-27 August 2015. Istanbul-TURKEY.

[48] Pandey, A.K. et al. 2006. “Pentacene: PTCDI-C13H27 molecular blends efficiently harvest light for solar cell applications”. Appl. Phys. Lett. 89. 113506-2.

[49] Karak, S. et al. 2009. A. “Organic photovoltaic devices based on pentacene/N,N0-dioctyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide heterojunctions”. Organic Electronics. 10. 1006-1010.

[50] Biber, M. et al. 2015. “The effect of fabrication temperature on efficiency of Pentacene/PTCDIsolar cell.” SOLARTR-3. 27-29 April 2015. Ankara-TURKEY.

[51] Orhan, Z. 2015. “The effect of annealing time on Pentacene/PTCDI organic solar cells characteristics”. BPU9. 24-27 August 2015. Istanbul-TURKEY

[52] A. Yakimov and S. R. Forrest. 2002. “High photovoltage multiple-heterojunction organic solar cells incorporating interfacial metallic nanoclusters” Applied Physics Letters 80, 1667.

[53] Haruto M. et al. 2013. “Fabrication and characterization of polymer tandem solar cells” J. of Physics: Conference Series 433 012023.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. ŞAKİR AYDOĞAN
Proje No:	212T012
Proje Başlığı:	Yüksek Verimli Organik Güneş Pillerinin Elde Edilebilmesi İçin Yapısal Araştırmalar: P3ht:Pcbm/Pentacene:Ptcdi Aktif Tabakalı Tandem Yapılar
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	BÜLENT ÇAKMAK, MEHMET BİBER, TEVHİT KARACALI, ABDULMECİT TURUT
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ATATÜRK Ü. FEN F. FİZİK B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/04/2013 - 01/04/2016
Onaylanan Bütçe:	426917.0
Harcanan Bütçe:	373079.18
Öz:	Yüksek Verimli Organik Güneş Pili olarak P3HT:PCBM/Pentacene/PTCDIAktif Tabakalı Tandem Yapıların fabrikasyonu ve karakterizasyonu projenin özünü oluşturmaktadır. Yapının üretilmesinde, alt Hücre ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al yapısının fabrikasyonu ve üst hücre ITO/PEDOT:PSS/Pentacene:PTCDI/Al yapısının fabrikasyonu ile bu iki bağımsız yapının birlikte Tandem ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Pentacene/PTCDI/Al yapılı güneş pilinin fabrikasyonu işlemleri organik güneş pilinin üretim aşamalarını oluşturmuştur. Üretilen yapıların karakterizasyonunuda soğurma ve J-V ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen güneş pili verimi, katların her birinin ayrı ayrı veriminden daha yüksek çıkması, projede önerilen tandem yapının uygulanabilirliğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler:	Organik Güneş Pilleri, Tandem Yapılar, Pentacene, PEDOT, PTCDI, P3HT:PCBM
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- THE EFFECT OF ANNEALING TIME ON Pentacene:PTCDI ORGANIC SOLARCELLS CHARACTERISTICS (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum), 2- Optimization of Coating Parameters of Pedot:PSS Transparent Conductor Polymer for Optoelectronic Applications (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum), 3- THE EFFECT OF MIXING RATIOS OF P3HT:PCBM ON THE PERFORMANS OFORGANIG SOLAR CELLS (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 4- The Effect of Fabrication Temperature on Efficiency of Pentacene: PTCDI Solar Cell (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 5- Effect of Annealing on Photovoltaic Performance of Fabricated Planar Organic-Inorganic Perovskite Solar Cell (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum),

TÜBİTAK