



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CdSe/CdTe KUANTUM NOKTA DUYARLI GÜNEŞ PİLLERİNİN
FOTOVOLTAİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

ABDÜLKADİR AYDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSA ÇADIRCI**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CdSe/CdTe KUANTUM NOKTA DUYARLI GÜNEŞ PİLLERİNİN
FOTOVOLTAİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Abdülkadir AYDOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr.Öğr.üyesi Musa ÇADIRCI
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr.Öğr.üyesi Musa ÇADIRCI
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Murat YILDIZ
Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sibel YILMAZ
Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Emre ÇELİK
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 02/08/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

2 Ağustos 2019



Abdülkadir Aydoğan

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında büyük emeği olan, gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Musa ÇADIRCI'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tezimin yapım aşamasında elinden gelen her türlü yardımı benden esirgemeyen Düzce Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Araş.Gör.Dr Koray ŞARKAYA' ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Adnan Menderes Üniversitesi Öğr.Gör. Fatih TOZOĞLU'na ilgi ve yardımlarında dolayı teşekkür ederim.

Düzce Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Prof. Dr. Oğuz KÖYSAL ve Arş.Gör. Gülsüm KOCAKÜLAH'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca Mühendislik Fakültesinde Doç.Dr Fatih TAŞPINAR'a UV-Vis cihazını kullandığı için teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasın elde edilen kuantum noktalar için gerekli malzemeler, Düzce Üniversitesi BAP-2017.06.03.592 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

Ağustos 2019

Abdülkadir Aydoğan

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ÖNEMİ.....	1
1.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	2
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2
1.2. NEDEN GÜNEŞ PİLLERİ.....	3
2. GÜNEŞ PİLLERİ.....	4
2.1. I. NESİL GÜNEŞ HÜCRELERİ (KRİSTAL SİLİSYUM HÜCRELERİ)..	5
2.2. II. NESİL GÜNEŞ HÜCRELERİ (İNCE FİLM GÜNEŞ HÜCRELERİ (a-Si, CDTE, CIS VEYA CIGS)	5
2.3. III. NESİL GÜNEŞ HÜCRELERİ	7
2.3.1. Çok Katmanlı (Tandem) Güneş Pilleri	7
2.3.2. Organik Güneş Pilleri	7
2.3.3. Kuantum Nokta Güneş Pilleri.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. MATERYAL	13
3.2. CdSe KUANTUM NOKTA ÇEKİRDEK ÜRETİMİ	13
3.3. CdSe/CdTe KUANTUM NOKTA ÇEKİRDEK/KABUK ÜRETİMİ.....	17
3.3.1. Cd- Oleate Çözeltisinin Hazırlanışı	17
3.3.2 TOP-Te Çözeltisinin Hazırlanışı.....	17
3.3.3 CdSe-Oleik Asit Çözeltisinin Hazırlanışı	17
3.4. ÜRETİLEN KUANTUM NOKTALARIN BOYUTLARININ HESAP LANMASI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ..	18
3.4.1. Kuantum Noktaların Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi	18
3.4.2. Kuantum Noktaların Boyut İncelenmesi	19
4. KUANTUM NOKTA HÜCRE HAZIRLANIŞI.....	22
4.1. TiO ₂ HAZIRLANIŞI.....	23
4.2. AKTİF KATMAN (TiO ₂) İÇİN FTO KAPLAMALI CAM YÜZEYİN HAZIRLANIŞI	23
4.3. AKTİF KATMAN (TiO ₂) KAPLAMASI.....	23

4.4. KARŞI ELEKTROT HAZIRLANIŞI.....	24
4.5. ELEKTROLİT HAZIRLANIŞI	25
4.6. TiO ₂ /CdSe/CdTe HAZIRLANIŞI.....	25
4.7. CİHAZ KURULUMU.....	26
4.8. FOTOVOLTAİK KARAKTERİZASYON	27
4.9. VERİMLİLİK HESABI	27
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	31
6. KAYNAKÇA	33
ÖZGEÇMİŞ.....	35



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Küresel CO ₂ emisyon oranı	1
Şekil 2. Tandem güneş hücrelerinin seri ve paralel bağlantısı.	7
Şekil 3. Organik güneş pillerinin çalışma mantığı (FK: Foto Katot, FA: Foto Anot)	8
Şekil 4. Tip-II kuantum noktaların şematik gösterimi ve elektron/hole (e-/h+) konumları	10
Şekil 5. CdSe/CdTe kuantum noktaları için enerji bant yapıları (e-: elektron, h+: pozitif yük/hole)	11
Şekil 6. Farklı boyutlardaki kuantum noktalara ait fotoğraf (üstteki fotoğraf UV ışık, alttaki fotoğraf normal ışık altında çekilmiştir).....	11
Şekil 7. Üretilen kuantum nokta çekirdek (CdSe) numunelerin UV ışık altında görünümü (soldan sağa doğru kuantum noktaların boyutu artmaktadır).	14
Şekil 8. a) CdSe absorbans UV-Vis değeri ($\lambda = 528\text{nm}$). b) 1 nolu CdSe kuantum nokta çekirdeği için E_g değeri.....	15
Şekil 9. a) CdSe absorbans UV-Vis değeri ($\lambda = 550\text{nm}$) b) 2 nolu CdSe kuantum nokta çekirdeği için E_g değeri.....	16
Şekil 10. a) Üretilen kuantum noktaların (CdSe/CdTe) numuneleri b) üretilen kuantum noktaların UV ışık altında görünümü (soldan sağa doğru kuantum noktaların boyutu artmaktadır).	18
Şekil 11. Üretilen CdSe/CdTe kuantum nokta numunelerine ait UV-Vis grafikleri	18
Şekil 12. 1 numaralı numunenin bant aralığının (E_g) şematik gösterimi ($\lambda = 561\text{nm}$) ...	19
Şekil 13. Kuantum noktaların boyutlarını belirlemek için baz alınan deneysel verilerden elde edilmiş grafik.....	20
Şekil 14. R çekirdek yarı çapını, r kabuk kalınlığını göstermektedir.	20
Şekil 15. Kuantum nokta duyarlı güneş hücresinin yapısı, (b) bir güneş hücresinin foto-akım oluşturma	22
Şekil 16. a) İletken yüzeyin belirlenmesi, b) Etkin alanın oluşturulması	23
Şekil 17. Sputter kaplama cihazı ve karşı katot için altın-paladyum kaplama.	24
Şekil 18. Altın-paladyum kaplanmış FTO cam	24
Şekil 19. FTO/TiO ₂ /CdSe/CdTe oluşumu (her bir küçük cam tüpte farklı boyutlu kuantum noktalar mevcuttur).	26
Şekil 20. Güneş hücresinin ölçüme hazır hali.....	26
Şekil 21. I-V ölçüm sistemi.	27
Şekil 22. Farklı boyuttaki kuantum noktaların akım yoğunluk grafiği.....	28
Şekil 23. Karanlık ortam akım yoğunluk grafiği	29
Şekil 24. Çıkış gücü hesaplanması	30

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1. Yıllara göre güneş pillerindeki verim değişiklikleri	12
Çizelge 2. Üretilen CdSe çekirdek boyutları	16
Çizelge 3. Üretilen CdSe/CdTe kuantum noktaların E_g (yasak enerji bant) değerleri.....	19
Çizelge 4. Üretilen kuantum nokta boyutları.....	21
Çizelge 5. Hücre verimlilikleri ve parametreleri	30

KISALTMALAR

CB	İletim Bandı
CdO	Kadmiyum Oksit
CdSe/CdTe	Kadmiyum Selenit/Kadmiyum Tellürid
Gt	Giga ton
N ₂	Azot Gazı
OLED	Organic Light Emitting Diode (Organik Işık Yayan Diyot)
QD	Quantum Dot (Kuantum Nokta)
Se	Selenyum
Si	Silisyum
TDPA	Tetradisilfosfonoik Asit
UV-Vis	Ultraviole-Visible (Ultraviyole-Görünür)
VB	Valans Band (Değerlik Bandı)

ÖZET

CdSe/CdTe KUANTUM NOKTA DUYARLI GÜNEŞ PİLLERİNİN FOTOVOLTAİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Abdülkadir AYDOĞAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Musa ÇADIRCI

Ağustos 2019, 34 sayfa

Günümüzün yaygın fotovoltaiik teknolojisi, silisyum bazlı güneş hücrelerden oluşmaktadır. Fakat söz konusu teknoloji, hem pahalı hem de verimi oldukça düşüktür. Bundan dolayı güneş enerjisinin kullanma oranı, diğer toplam enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında %5'ten daha düşüktür. Güneş enerjisini maksimum oranda kullanmak için farklı teknolojiler geliştirilmektedir. Bunların içerisinde en önemlilerinden biri kuantum nokta duyarlı III. nesil güneş hücreleridir. Bu teknolojiye kuantum noktalar, foton enerjisini elektrik enerjisine çeviren temel emici olarak kullanılmaktadır. Kuantum noktalarının fiziksel özellikleri, boyut değişimi ile değiştiği için birçok alanda kullanılma potansiyeline sahip yarı iletken nano malzemelerdir. Kuantum nokta bazlı güneş hücrelerinin teorik verimi % 50 ye kadar çıkabilmektedir ve üretimi oldukça basit ve ucuzdur. Bu çalışmada CdSe/CdTe çekirdek/kabuk şeklindeki kuantum noktalar kullanılarak kuantum nokta duyarlı güneş hücresi tasarlandı. Dört farklı kabuk kalınlığına sahip kuantum noktalardan elde edilen güneş hücrelerinin akım-gerilim grafikleri ölçüldü ve kabuk kalınlığına bağlı hücre verimlilikleri hesaplandı.

Anahtar sözcükler: Kuantum nokta güneş hücresi, Fotovoltaiik performans, CdSe/CdTe.

ABSTRACT

INVESTIGATING PHOTOVOLTAIC PERFORMANCE OF CdSe/CdTe QUANTUM DOT SOLAR CELLS

Abdülkadir AYDOĞAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electrical Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Musa ÇADIRCI

August 2019, 34 pages

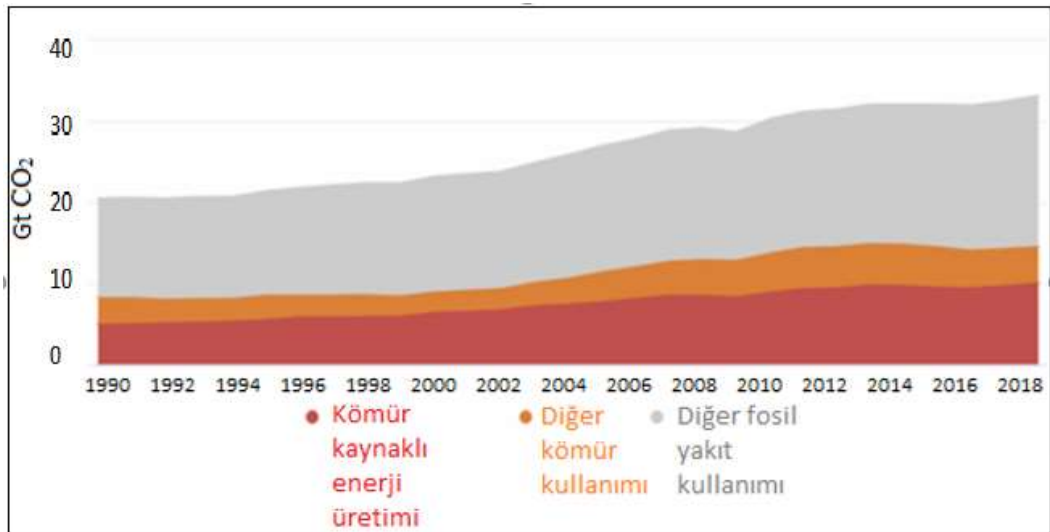
Today's common photovoltaic technology mainly consists of silicon-based single junction solar cells. However, as well as being expensive, this technology has also low efficiency. Therefore, the use of solar energy is less than %5 compared to other total energy sources. Different technologies are being developed for maximum use of solar energy. The most important of these is quantum dot based III. generation solar cells. In this technology, quantum dots are used as the basic absorber that converts photon energy into electrical energy. They are semiconductor nano-materials which have the potential to use in many areas due to their physical properties of quantum dots vary with size. The theoretical yield of quantum dot-based solar cells can rise up to 50% and its production is very simple and cheap. In this study, the structure of CdSe/CdTe quantum dot sensitized solar cells are designed and electrical properties are investigated. Their current-voltage relationships and efficiency were recorded.

Keywords: Quantum dot solar cell, Photovoltaic performance, CdSe/CdTe.

1. GİRİŞ

1.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ÖNEMİ

Günümüz koşullarına bağlı olarak her geçen gün artan enerji ihtiyacımızın büyük bir kısmını, fosil yakıt tüketerek geri kalan kısmını da nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaktayız. Fosil kaynaklı yakıt veya enerji kaynaklarının fiyatları ise gün geçtikçe artmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların bu denli kullanılmasıyla, Kükürtdioksit (SO_2), Karbonmonoksit (CO), Karbondioksit (CO_2) ve Azotoksitler (NO_x) gibi gazlar ortaya çıkmaktadır. Bu gazlar sera etkisi yaparlar ve yaşam alanımız olan dünyamızın, yer küremizin ısınmasına neden olmaktadır. Ortaya çıkan bu gazlar içinden çevremiz için en çok tehlike arz eden CO_2 gazıdır. Bu gaz küresel ısınmaya neden olan başlıca unsurdur. CO_2 gazının Sera gazı içindeki oranı ise yaklaşık %80'dir [1]. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) istatistik [2] verilerine göre fosil kaynaklı enerji üretiminden ve tüketiminden kaynaklanan CO_2 emisyon (Şekil 1'de gösterilmiştir) oranı küresel paydada büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Eğer CO_2 emisyonunu azaltabilirsek doğayı ve yaşamı da korumuş olacağız. Bunun için küresel olarak fosil enerji kaynaklarını mümkün olduğunca az tüketmeli ve enerji kaynaklarımızı yenilenebilir (Güneş, Rüzgar, Hidroelektrik, Dalga, Gel-git, Hidrojen, Biyogaz, Jeotermal, Biyokütle vb.) enerji kaynaklarına çevirmeliyiz.



Şekil 1. Küresel CO_2 emisyon oranı [2].

Enerji kaynaklarımızı temel olarak iki sınıfta incelememiz daha anlaşılır olacaktır. Bunlar: yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılabilir. Bu kavramlar kaynağın tüketilme oranının yeniden üretilme/oluşma durumuna göre ortaya çıkmıştır.

1.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen Enerji Kaynakları; nükleer enerji ve fosil yakıtlar (kömür, petrol ve doğalgaz vb.) gibi enerji kaynakları bu grubu oluştururlar. Aslında bu enerji kaynakları, dünyamız tarafından üretilmektedir ancak kaynakların yeniden oluşum süreci çok uzun zaman alır. Ayrıca her geçen gün gelişen teknolojiye kaynaklanan enerji tüketim hızındaki artıştan dolayı bu gruptaki enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tür kaynakların temel olumsuz yönlerini şöyle sıralayabiliriz [3]:

Yenilenemeyen enerji kaynaklarını enerji üretim tesislerinde kullanabilmek için onlarca ekipmana, yetişmiş insan gücüne ve iyi bir plan/projeye ihtiyaç vardır. Bu tür enerji kaynakları çevre sorunlarına neden olurlar. Aynı zamanda işlendiklerinde; radyoaktif atık, veya kül gibi çevre için tehlikeli atıklar meydana getirirler. Sürekli olan, sürdürülebilir bir kaynak değildir. Bu yüzden arz talep ilişkisi bozulma eğilimindedir. Bu durumda küresel krizlerin temelini oluşturan başlıca sebeplerdendir. Yenilenemez enerji kaynaklarına dayalı yaşayan bir ülke, özellikle bu kaynakları ithal ediyorsa kendi iç piyasasında arz tehlikesi vardır.

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, üretilme/oluşum hızı tüketim hızına eşit veya daha hızlı olan enerji kaynaklarına denir. Herhangi bir enerji üretim yöntemine ihtiyaç duymadan, sürekli, temiz ve çevreci, düzenli olarak enerji üretmeye olanak tanıyan, yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre daha az CO₂ salınımı yapan veya hiç CO₂ salınımı yapmayan (güneş, rüzgar, hidroelektrik, dalga, gel-git, hidrojen, biyogaz, jeotermal, biyokütle vb.) enerji kaynaklarıdır.

1.2. NEDEN GÜNEŞ PİLLERİ

Güneş pilleri, elektrik üretimi için harici bir yakıt kullanmadığından ve dolayısıyla karbon salınımı olmayan temiz enerji özelliklerinden dolayı ilgi odağı olmayı başarmıştır. Ayrıca güneş pilleri, enerji iletiminin mümkün olmadığı veya ilk yatırım maliyetinin çok fazla olduğu dağlık ya da şebekeye uzak yerlerde enerji ihtiyacını karşılamak adına oldukça kullanışlı ve ucuz bir çözüm olanağı sağlamaktadır.

Ülkemizde elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından en fazla hidro-elektrik santralleri kullanılmaktadır. Bu santraller, karbon salınımı az yapsa da, ilk kurulum aşamasında çevreye verilen zarardan, su havzasının tahrip ettiği yerlerden ve bulunduğu ortamda kısmi de olsa iklim yumuşamasından dolayı canlılara ve flora olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bundan dolayı güneş enerjisine nazaran daha fazla olumsuz yönleri mevcuttur.

Diğer taraftan Güneş, devasa bir enerji kaynağıdır. Güneşe 150 milyon km uzaklıktaki Dünya, bu enerjinin sadece milyarda birini almaktadır. Fakat bu küçük kesir bile (yaklaşık 120.000 trilyon Watt), dünya üzerindeki insanlar tarafından bir yıl boyunca tüketilen enerjiden daha fazla enerjiye sahiptir [4]. Bu sayısal veriler ışığında, dünyamız için gerekli olan tüm enerjiyi güneş pillerinden karşılayabileceğimizi görebiliriz.

Gelişmiş ülkeler, büyük oranda fosil kaynaklı enerji üretimi yaparken bir yandan da yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlarını artırarak geleceklerini garanti altına almak istemektedirler. Türkiye gibi enerji ihtiyacının büyük bir kısmını yurt dışından karşılayan ülkeler için yenilenebilir enerji kaynakları politik açıdan da büyük önem arz etmektedir. Ülkelerin siyasi ve politik güçleri doğrudan veya dolaylı olarak elinde var olan enerji kaynaklarıyla doğru orantılıdır. Nükleer enerji gibi üstün teknoloji ve bilgi birikimi gerektiren (aynı zamanda bir o kadar da çevreye ve canlıya karşı tehlikeli olan) sistemleri olmayan gelişmekte olan ülkelerin, güneş enerjisine yatırım yapması kaçınılmaz olacaktır.

2. GÜNEŞ PİLLERİ

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak günümüzde sağladığı birçok pozitif özelliğinden dolayı popüler olan, güneşten doğrudan elektrik enerjisi üretebilen cihazlara güneş pili, güneş hücresi veya fotovoltaiik sistemler denir. Fotovoltaiik (photovoltaic) adının ortaya çıkışı Yunanca olan ‘phos’ (ışık) ve elektriğin duayeni olan Alessandro Volta'nın ‘voltaic’ kelimelerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur [5].

Fotovoltaiik olayı ilk kez 1839 senesinde Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel keşfetti. 1876 senesinde ise William G. Adams ve Richard E. Day tarafından silisyum keşfedildi. 1905'te Albert Einstein fotovoltaiik olayı ifade etti ve bu sayede 1921 senesinde Nobel Fizik Ödülü almıştır. 1950 yılında silisyum güneş pillerinin verimi, %4 olarak Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından ortaya konulmuştur. Teknik olarak ilk uygulama, 1954 senesinde "Vanguard 1" uydusunda kullanılmıştır. Böylelikle uydu teknolojisinde de yer almıştır [5].

Güneş pillerinin yaklaşık %90'ının temelinde silisyum mevcuttur. İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü Kimya Profesörü Michael Grätzel'e göre konvansiyonel silisyum bazlı güneş hücreleri, ultra yüksek saflıkta silisyum gerektirir (% 99,999 saflık düzeyinde) ve hücreler, enerji-yoğunluk kristal büyümesi ile buhar biriktirme yöntemleri kullanılarak yapılır. Maliyetlerine ilave olarak “Silisyum güneş pilleri, boyaya duyarlı güneş pillerine ve perovskite hücrelerine göre 1000 kat daha fazla ışık emici malzeme kullanılıyor” olduğunu belirtmektedir [4].

Silisyum, güneş ışığını güçlü bir şekilde absorbe edemediğinden dolayı, bu tür güneş pilleri diğer güneş pillerine nazaran daha kalın etken madde tabakası ihtiva ederler. Bu kalın kırılğan yapıyı desteklemek için sert ve ağır cam malzeme kullanılır, bu durum da maliyet artışına ve uygulama alanının azalmasına sebep olur.

Güneş pillerinin %95'inden fazlası silisyum temellidir ve silisyum gezegenimizde oldukça fazla miktarda bulunmaktadır. Silisyumu kullanabilmek ancak saf halde mümkündür. Silisyuma genel olarak doğada silisyum dioksit (SiO_2 , kuvars) olarak rastlanır ve saflaştırma işlemi ise oldukça zahmetli ve pahalıdır. Bu sebepler silisyum

temelli güneş pillerinin maliyetlerini artırmaktadır. Günümüzde üretilen ve üzerinde çalışılmakta olan güneş pilleri 3 grupta incelenir.

I. Nesil Güneş Hücreleri: Kristal silisyum güneş hücreleri (c-Si ve mc-Si)

II. Nesil Güneş Hücreleri: İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)

III. Nesil Güneş Hücreleri: Nano teknoloji tabanlı güneş hücreleri (Tandem, kuantum nokta güneş hücresi vb.)

2.1. I. NESİL GÜNEŞ HÜCRELERİ (KRİSTAL SİLİSYUM GÜNEŞ HÜCRELERİ)

I. nesil hücreler günümüzde ticari ve yaygın olarak kullanılan monokristal yapı (c-Si veya SIN) ve polikristal yapı (mc-Si) olarak bilinen güneş hücreleridir. Bu hücreler üzerinde uzun yıllar çalışmalar yapılmıştır. Güneş ışınlarını soğurma oranı düşük olmasına karşın kristal yapıdaki silisyum, ilk önce büyütülüp daha sonra 150-200 mikron kalınlığında levhalar şeklinde dilimlenerek üretilirler. Mono kristal silisyum güneş pillerinin verimliliklerinin %24 [6] olması, ticari anlamda tercih sebebidir. Pazar payının yaklaşık %93'ünü [6] oluştururlar, üretici firmalar genelde 25 yıl çalışma garantisi sunmaktadır.

Günümüzde polikristal yapıya sahip güneş hücrelerinden elde edilebilecek en yüksek verim yaklaşık % 21 [26] olup, kristal yapıları tam homojen olmadığından monokristal hücrelere göre daha ucuzdurlar. İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi, 2 ile 4,5 yıl [6] arasındadır. Monokristal güneş hücrelere göre daha ucuza üretildiği için fiyatları 3,5 \$/W [6] civarındadır. Diğer taraftan monokristal yapıya sahip güneş hücreleri verimleri en yüksek % 25,6 [26] olduğundan dolayı uzun vadeli yatırımlar için idealdir. Kurulum maliyetinin geri dönüş süresi 4-6 yıl arasındadır. Birim fiyatı saf kristal ihtiyacından dolayı yaklaşık 4,5 \$/W [6] dır.

2.2. II. NESİL GÜNEŞ HÜCRELERİ (İNCE FİLM GÜNEŞ HÜCRELERİ (a-Sİ, CDTE, CIS VEYA CIGS)

Kadmiyum tellürid (CdTe), Kadmiyum sülfid (CdS), Bakır indiyum galyum selenür (CIGS) gibi belirli bir kristal yapıya sahip olmayan (amorf) güneş hücreleri, bu grubu

oluşturmaktadır. İnce film güneş hücreleri, I. nesil güneş hücreleri kadar verimli olmamalarına rağmen maliyeti düşük olmasından dolayı tercih edilir. 100 cm² alana sahip birbirinden bağımsız silisyum güneş hücreleri seri-paralel birbirine eklenerek güneş panellerini meydana getirirken, ince film güneş pilleri ise daha geniş çaplarda üretilmektedir. Bu durumda büyük ölçekli yatırımlar için maliyeti azaltan bir etkidir. Bunun yanında ince film güneş pilleri, silisyum temelli güneş pillerine göre bir fotonun enerjisini daha yüksek oranda soğurabilmektedir. Bu sebeple ince film teknolojisinde 1 µm kalınlıktaki yarı iletken malzemenin ürettiği enerjiyi, silisyum temelli güneş pillerinde üretmek istersek 100 ile 1000 µm kalınlıktaki yarı iletken malzemeye ihtiyacımız olacaktır. Böylelikle daha ucuz yarı iletken malzeme kullanılmasına fırsat sağlamıştır [8]. Bu sebeplerden dolayı ince film teknolojisine sahip ikinci nesil güneş pilleri gündeme gelmiştir. Bu güneş pili çeşidinin bazı özelliklerini şöyle sıralayabiliriz: Watt başına daha düşük olan maliyeti ve bu maliyetin daha da düşürülmeye elverişli olması, çatı üzerindeki panellerde yer aldığında montaj için daha az destek malzemesine gerek duyması, giyilebilir veya esnek nesneler üzerine uygulamalara elverişli olması başlıca özelliklerindendir. Ancak tek kristalli silisyum güneş pilleriyle karşılaştırıldığında verimleri daha düşük olup amorf silisyum kadar kararlı değildir ve zehirlilikleri fazladır.

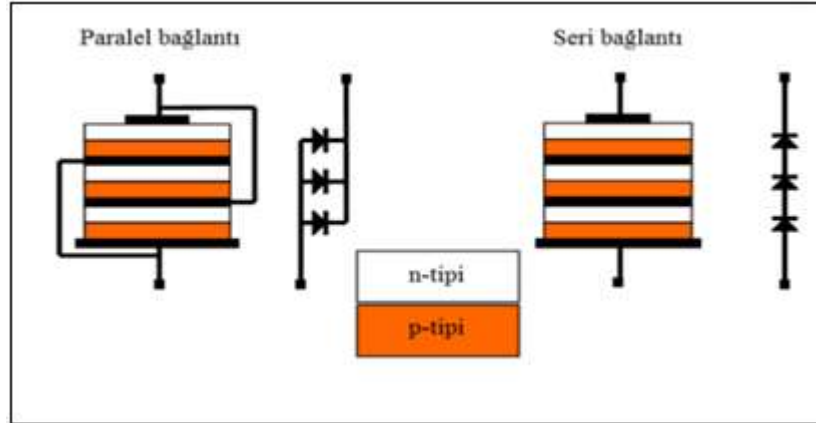
CdTe bu kısımda yer alan ve polikristal yapıya sahip bir diğer yarı iletken malzemedir. CdTe ile güneş pillerinin üretimini kolaylaştıracak ve maliyet yönünden daha ekonomik olacağı düşünülmektedir. Ayrıca laboratuvar tipi küçük hücrelerde verimi %22,5 [26] civarındadır. Bir diğer ince film güneş hücre çeşidi ise Bakır İndiyum Diselenit (CuInSe₂)'dir. Bu güneş pili, bakır, indiyum ve selenyumdan oluşturulan birleşikten meydana gelen yarı iletken bir malzemedir. Periyodik cetvelin 1, 3 ve 6. grup elementlerinin üçünün veya daha fazlasının bir araya gelmesiyle oluşan yarı iletkenlerdir [9]. Polikristal olan bu hücre çeşidinin verimi laboratuvar koşullarında %18,7 [26] şeklindedir. Elektrik enerjisi üretimi amacıyla yapılmış örnek bir modülün ise %10,2 şeklinde bir verimi olduğu kaydedilmiştir [10]. Son olarak amorf silisyum (a-Si) ince film olarak bilinen güneş hücrelerinin maksimum verimlilikleri %10 civarında, ticari modüllerin de %5-7 civarındadır. Günümüzde amorf silisyum güneş pili, yaygın olarak küçük elektronik cihazlarda (hesap makinesi vb.) kullanılır. Bir başka önemli uygulama alanı ise yapılardaki cam yüzeyler, bina dış cephe koruyucusu ve elektrik enerji üretimi olarak sıralanabilir [10].

2.3. III. NESİL GÜNEŞ HÜCRELERİ

Araştırma aşamasında olan bu güneş pilleri, henüz net ve kararlı bir ticari sonuca ulaşamamıştır. Ancak sunacakları verimden dolayı üretim aşamasına geçildiğinde fotovoltaik sistemlerde bir çıkış açacağı ön görülmektedir. III. nesil güneş hücrelerin yapısı ve çalışma ilkeleri II. nesilde bulunan yarı iletken aygıtlardan çok farklıdır. Bu tür güneş pillerine örnek olan bazı modeller şunlardır: Çok katmanlı (tandem) güneş pilleri, organik güneş pilleri, kuantum nokta güneş pilleri, Grätzel Cell, polimer güneş pilleri.

2.3.1. Çok katmanlı (Tandem) Güneş Pilleri

Bu grupta yer alan güneş pillerini diğer güneş pillerinden ayıran en büyük özelliği, birden çok aktif katmana sahip olmasıdır. Bu aktif katmanlar birbirinden farklı ve her biri ışığın farklı dalga boyuna duyarlıdır. Bu özellikleri bu gruptaki güneş pillerine farklı dalga boylu fotonları emme imkanı kazandırır. Çok katmanlı güneş pillerinin bu özelliği verim açısından tek katmanlı güneş pillerinin önüne çıkarır. Tandem güneş pilini meydana getiren katmanlar inorganik, organik, yada bu ikisinin karışımı (hibrit) biçimde olabilir. Seri ve paralel bağlantı şekilleri mümkündür (şekil 2’de gösterilmiştir) [11]. Tandem güneş pillerinden % 40 ve üzeri verim elde edilebilir [11].



Şekil 2. Tandem güneş hücrelerinin seri ve paralel bağlantısı [11].

2.3.2. Organik Güneş Pilleri

Organik güneş pillerinin ulaşılmış verimlilik oranı % 9,7’dir [26]. Organik güneş hücreleri karbon temelli polimerlerden veya daha küçük yapılardan oluşur. Organik tabaka foton enerjisini soğurarak, elektrik enerjisine çevirir. Organik güneş pillerinin İnorganik güneş pillerine göre bazı üstünlükleri şunlardır: Kolay üretilmesi, düşük

maliyetli olması ve geniş yüzeylere kaplanabilmesi organik güneş pillerinin özelliklerindendir [12].

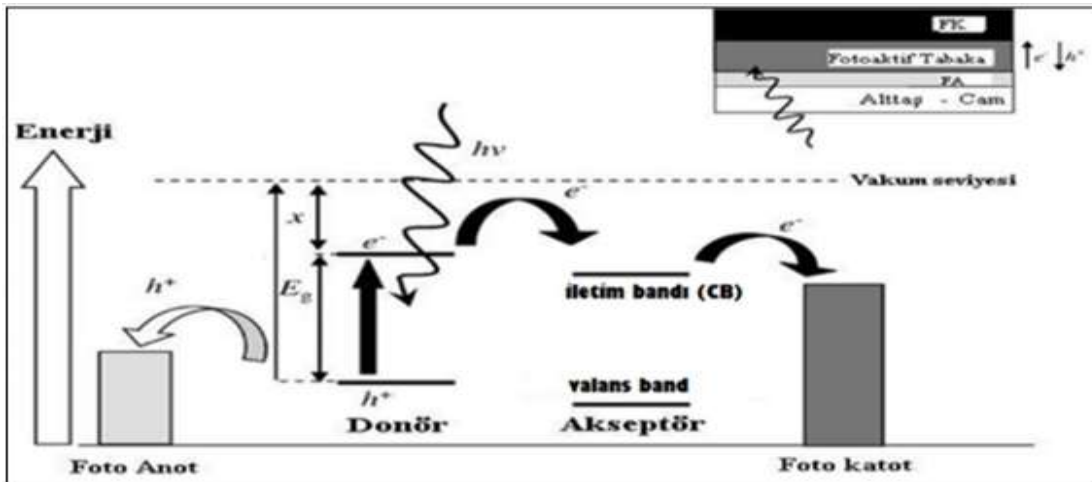
İletken Polimerler: Monomer denen küçük ve basit yapı taşlarının bir araya gelmesiyle polimerler oluşur. Polimerik malzemeler yalıtkan malzeme olarak bilinmekte iken yapılan araştırmalar sonucu polimer olan poli asetilenin iletkenlik gösterdiği, metal gibi davrandığı, kayıt edilmiştir [11].

Gelişen teknolojiyle iletken polimerler günümüzde, güneş pillerinde, elektronik anahtarlama elemanlarında, sensörlerde ve OLED gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca polimer tabanlı güneş pilleri düşük maliyeti ile ön plana çıkar, bunun yanında sağlık açısından daha az zararlı olan üretim yöntemleri vardır. Geniş ve esnek panel yapılarına uygundur [11].

Organik güneş pillerinin çalışma mantığı şu şekildedir;

- 1- Fotonların organik güneş pilini üzerine düşmesi ve soğurulmasıyla eksitonların (elektron-boşluk çifti) oluşumu,
- 2- Eksitonların polimer içerisine yayılması,
- 3- Elektron ve boşlukların ayrışımı,
- 4- Boşlukların anota elektronların ise katota taşınması,

birbirinden ayrılmış olan elektron ve boşluk çiftlerinde depolanan potansiyel enerji, yüklerin fermi enerji seviyelerinin farkına eşittir [11]. Şekil 3 ile organik güneş pillerinin çalışma prensibi şematize edilmiştir [12].



Şekil 3. Organik güneş pillerinin çalışma mantığı (FK: Foto Katot, FA: Foto Anot) [12].

2.3.3. Kuantum Nokta Güneş Pilleri

Kuantum nokta (Quantum dot) yapılı nanokristaller, II–VI veya III–V. grup elementlerinden oluşan ve fiziksel boyutları eksiton Bohr yarıçapından daha küçük olarak tarif edilen birkaç nanometre mertebesindeki yarıiletken nanokristallerdir [13].

Kuantum nokta güneş pili teknolojisinde kuantum noktalar foton enerjisini elektrik enerjisine çeviren temel absorber olarak kullanılmaktadır. Kuantum noktaların fiziksel özellikleri, boyut değişimi ile değiştiği için birçok alanda kullanma potansiyeline sahip yarı iletken nano-malzemelerdir. Kuantum nokta bazlı güneş hücrelerinin teorik verimi %50 seviyelerine kadar çıkabilmektedir [32] ve üretimi silisyum bazlı güneş pillerine nazaran oldukça basit ve ucuzdur.

1991 yılında ilk olarak O'Regen ve Grätzel, kuantum nokta güneş hücrelerine örnek olan, boya duyarlı nano yapılı TiO_2 ince film güneş hücresini yapmışlardır [14]. Kuantum nokta bazlı güneş hücreleri temelde, Grätzel tipi güneş hücreleridir ve boya yerine kuantum nokta (CdS , CdSe , PbS ve InAs gibi) kullanılarak uygulamaları yapılır. Nano teknolojiadaki gelişmelerle, yarı iletken olarak kullanılan TiO_2 ince film tabakasının absorpsiyonunu artırmak için yaygın olarak başvurulmuş yöntem haline gelmiştir. Günümüzde verimleri yaklaşık olarak %12 civarındadır [26].

Nanokristal olarak da bilinen kuantum noktaların bant aralıkları malzeme boyutlarının kontrolüyle ayarlanabilir ve böylece nanokristallerin absorpsiyon spektrumu güneş ışığının spektral dağılımına benzetmek için ayarlanabilir. Yarı iletken kuantum noktaların kuantum sınırlama etkisinden dolayı geniş sönümlenme katsayısına sahiptirler. Bu üstünlükleri sayesinde nanokristallerle hassaslaştırılmış güneş pilleri üzerinde durulmuştur ve çalışmalar sürmektedir. Kuantum nanoparçacıklar, yarı iletken malzeme özelliği taşıyan, yarıçapları 1-5 nm arasında değişen, nanoparçacıklardır. Bu boyuttaki yarı iletken malzemenin boyutlarındaki farklılıklar, malzemenin optik ve elektronik özelliklerinin değişmesini sağlar. Kuantum parçacıklar, farklı elementlerden üretilir. Bunlara örnek olarak, CdS , CdTe , CdSe vb. bileşikler verilebilir.

Kuantum noktaları özel kılan bazı özellikleri şunlardır: diğer yarı iletken malzemelerde sabit bir bant aralığı varken, kuantum noktalar değiştirilebilen bant aralığına sahiptirler; boyutları değiştirilebilir/ayarlanabilir ve boyutu değişen kuantum noktalar farklı elektriksel karakterizasyon gösterir. Örneğin boyutları büyüdükçe bant-aralığı değeri küçülür ve dolayısıyla daha büyük dalga boylu ışınları soğurabilirler. Yani kuantum

nokta duyarlı güneş hücreleri, daha düşük enerjili fotonları soğurma imkanı vermektedir. Bu özellik kuantum noktaları eşsiz bir soğurucu yapmaktadır. Diğer özellikleri ise sentezi kolay, maliyeti ucuz, esnek ve giyilebilir malzemelerde uygulamaları yapılabilir. Ayrıca yine bu özelliklerinden dolayı nanobiyoloji [15], nanoelektronikler [16], lazer sistemleri [17], optik devre ve işaretleme [18] gibi birçok uygulama alanına sahiptir.

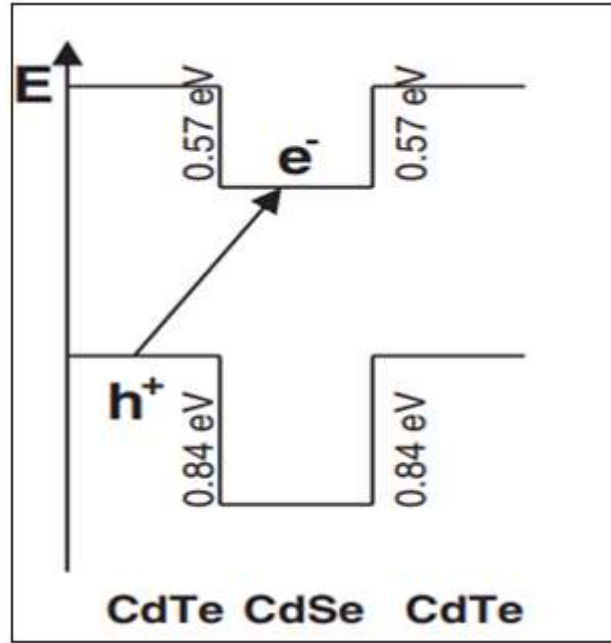
Bu tez çalışmasında, Tip-II yapısına sahip kuantum nokta duyarlı prototip güneş hücresi üretildi. Şekil 4’de gösterildiği gibi, bu yapıya sahip güneş hücrelerinde kullanılan çekirdek/kabuk şeklindeki kuantum noktalarda, elektronlar ve holler (boşluklar) farklı kısımlarda bulunmaktadır. Örneğin elektron çekirdekte ise hole kabukta olur veya bu durumun tersi de geçerlidir. Diğer taraftan Tip-I kuantum noktalarda elektron ve boşluk malzemenin aynı kısmında bulunurlar. Tip-II yapıya sahip güneş hücrelerin verimlilikleri Tip-I’ e göre daha yüksektirler. Bunun sebebi ise farklı kısımlarda bulunan elektron ve boşluk çiftlerinin tekrardan birleşme sürelerinin fazla olmasıdır. Dolayısıyla hücrede oluşacak foto-akıma katkı payıda yükselir [19], [20].



Şekil 4. Tip-II kuantum noktaların şematik gösterimi ve elektron/hole (e-/h+) konumları [19].

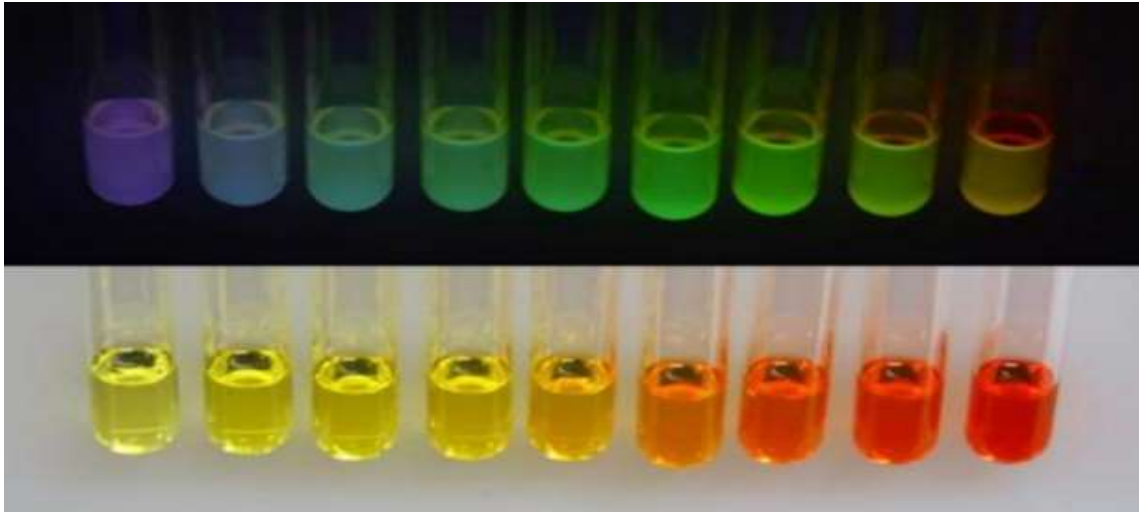
Burada kullanılan CdSe/CdTe çekirdek kabuk şeklindeki kuantum noktalar için iyonlaşma potansiyelleri, valans bant ve iletim bant yapıları Şekil 5’te [20] gösterilmiştir. Aynı çekirdeğe sahip fakat farklı kabuk kalınlıklarında olan CdSe/CdTe

kuantum noktalardan oluşan güneş hücreleri tasarlanarak I-V karakterizasyonları yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. CdSe/CdTe kuantum noktaları için enerji bant yapıları [20] (e⁻: elektron, h⁺: pozitif yük/hole).

UV ışık ve ortam ışığı altındaki CdSe, farklı boyuttaki kuantum noktalarına ait bazı numune örnekleri Şekil 6’da [11] görülebilir.

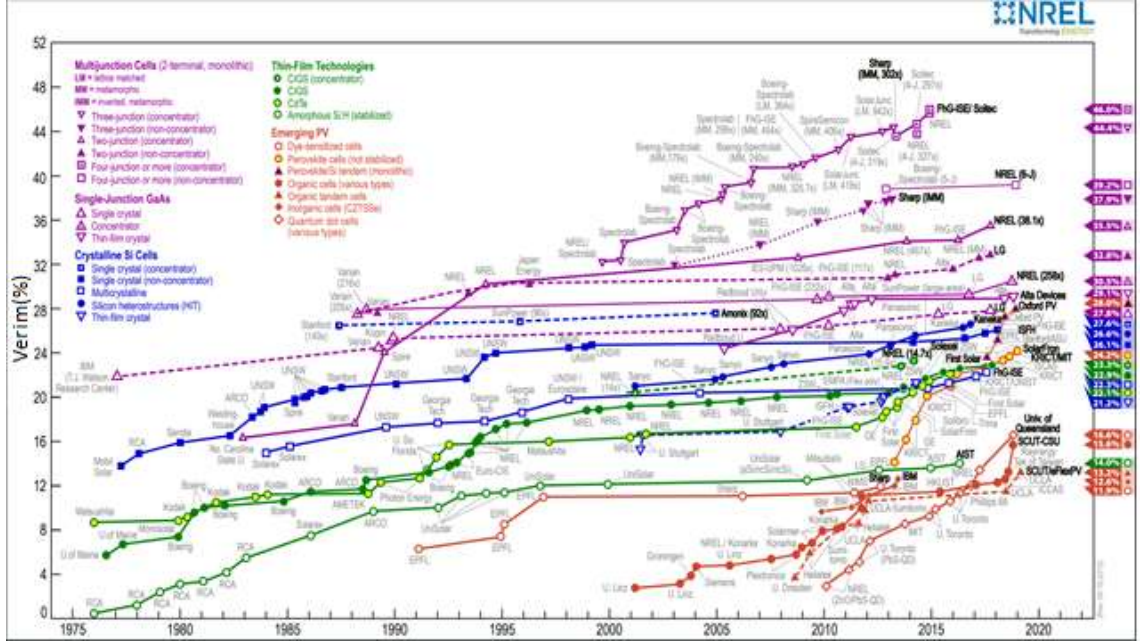


Şekil 6. Farklı boyutlardaki kuantum noktalarına ait fotoğraf (üsteki fotoğraf UV ışık, alttaki fotoğraf normal ışık altında çekilmiştir) [11].

Çizelge 1’de [7] yıllara göre güneş hücrelerindeki gelişmeler verilmiştir. Bu tabloyu yorumlarsak eğer; kuantum nokta güneş pillerinin gelişimindeki ivmenin diğer güneş

pillerine nazaran daha hızlı olduğunu çıkarabiliriz. Örneğin günümüzde yaygın olan bazı silisyum duyarlı güneş hücrelerinin (amorphous Si:H stabilized) temeli 1975’li yıllarda atılmasına rağmen, 2010 yılından sonra üzerinde çalışılmaya başlanan kuantum nokta güneş hücrelerinin verimini yakalayamamıştır. İçi boş kırmızı baklava dilimli şekil ile gösterilen grafik kuantum nokta güneş pillerinin gelişimini göstermektedir.

Çizelge 1. Yıllara göre güneş pillerindeki verim değişiklikleri [7].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmamda, Florin Doped Tin oxide (FTO) (100 mm × 100 mm × 2.2 mm direnç ~7 Ω /sq), Titanyum Oksit (P25) nano tozu (TiO_2 , sigma-Aldrich), Selenyum tozu (Se, 99,99% Sigma-Aldrich), Kadmiyum Oksit tozu (CdO, 99%, Sigma-Aldrich), Oleik Asit (90% sigma-Aldrich), Tellür toz (Te, 99.8% Sigma-Aldrich), Tolüen (99.8% Sigma-Aldrich), Methanol (99.8%, isolab), Oktadesen (ODE, 99.9%, Sigma-Aldrich), Ethanol (99.8%, isolab), İsoopropanol ($\geq 99.7\%$ Sigma-Aldrich), Trioctylphosphine (TOP, 97%, Sigma-Aldrich), Asetik Asit ($\geq 99.85\%$, Sigma-Aldrich), Potasyum Klorür (Merck), Tetradisilfosfonoik Asit (TDPA, 97%, Sigma Aldrich), Nitrik Asit (44% H_2O) ve Oktadeseylamin ($\geq 99.0\%$, Sigma-Aldrich) satın alındığı gibi kullanılmıştır.

3.2. CdSe KUANTUM NOKTA ÇEKİRDEK ÜRETİMİ

Tekil boyut dağılımına sahip CdSe çekirdekleri sentezlemek için Mohamed ve arkadaşlarının [21] sıcak enjeksiyon metodu modifiye edildi. Tüm sentezleme aşamalarında schlenk tekniği yöntemiyle azot altında gerçekleştirildi.

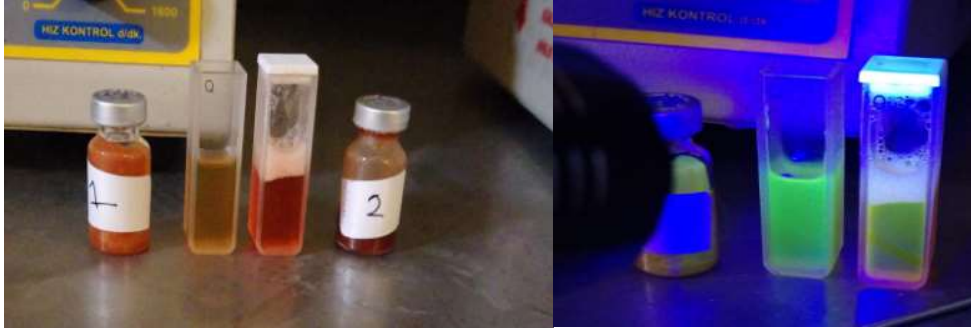
Sentezleme aşamasının ilk olarak Cd- Oleate çözeltisi oluşturuldu:

0,125g kadmiyum oksit, 1ml oleik asit, 3ml oktadesen vakum altında 100 $^{\circ}\text{C}$ de 45 dakika boyunca magnet karıştırıcı yardımıyla hızlı bir şekilde karıştırıldı. Bu süre sonunda kırmızı-kahverengi bir solüsyon meydana geldi. Daha sonra, azot gazı altında 300 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtıldı. Bu noktada solüsyon temiz, açık sarı bir görünüm kazandı ve Cd-Oleat çözeltisi hazırlanmış oldu. Bu noktadan sonra çözelti 240 $^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulup bekletildi.

İkinci adım olarak TOP-Se çözeltisi ayrı bir balon jodede hazırlandı:

Vakum altında 0,1g saf selenyum tozu, 1,5g oktadeseylamin, 1g TDPA, 1,5ml TOP karıştırılıp 100 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılıp ve 45 dakika bekletildi. Aynı zamanda magnet karıştırıcı sürekli ve hızlı bir şekilde çözeltiyi karıştırmaktadır. Bu 45 dakikanın sonunda çözelti, azot gazı altına alınarak 200 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtıldı ve temiz görümlü

TOP-Se çözeltisi elde edildi. 200 °C de sıcaklık sabit tutuldu. Oluşturulan TOP-Se çözeltisi bir cam şırınga yardımıyla havayla temas etmeyecek şekilde çözelti kabından alınıp hızlı bir şekilde Cd-oleat çözeltisinin içine enjekte edildi. Burada Cd-Oleat çözeltisi 210 °C'ye sabitlendi ve ardından 2 dakikada bir örnek alındı. Bu çalışmada iki örnek alındı. Böylece CdSe kuantum nokta çekirdeğimiz hazırlanmış oldu. Şekil 7'de UV-Vis. değerlerini almak üzere hazırlamış olduğumuz boyutları farklı iki adet CdSe kuantum nokta çekirdekleri gösterilmiştir.



Şekil 7. Üretilen kuantum nokta çekirdek (CdSe) numunelerinin UV ışık altında görünümü (soldan sağa doğru kuantum noktaların boyutu artmaktadır).

Hazırlanan 2 adet farklı boyuttaki CdSe kuantum nokta çekirdeğine ait DR6000 marka cihaz ile UV-Vis. değerleri elde edildi. Şekil 8 ve Şekil 9'da bu değerler gösterilmiştir. Bu makine sayesinde CdSe çekirdeğinin, 400 nm ile 800 nm arası dalga boylu ışımlar ile taranmış olup absorbans değeri ve dalga boyu (λ) kaydedilmiştir. Bu değer sentezlenen çekirdeğimizin band-gap (bant aralığı) (E_g) değerini hesaplamak için kullanıldı.

Fotonların enerjisinden bahsederken eV birimi kullanılır. Bir elektronun bir voltluk (1 V) potansiyel altında kazandığı enerji değerine 1 elektronvolt (eV) denir [22].

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Burada $E = q \cdot V$ ($q = 1$ elektronun yükü, $V = 1$ Volt) $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ eşitliği vardır. h planck sabiti ($h = 6,64 \times 10^{-34} \text{ J.s}$), c ise ışık hızıdır ve değeri $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 'dir. f frekans, λ ise kuantum noktanın bant aralığına tekabül eden dalga boyunu göstermektedir.

Eşitlik (1) den yararlanarak ;

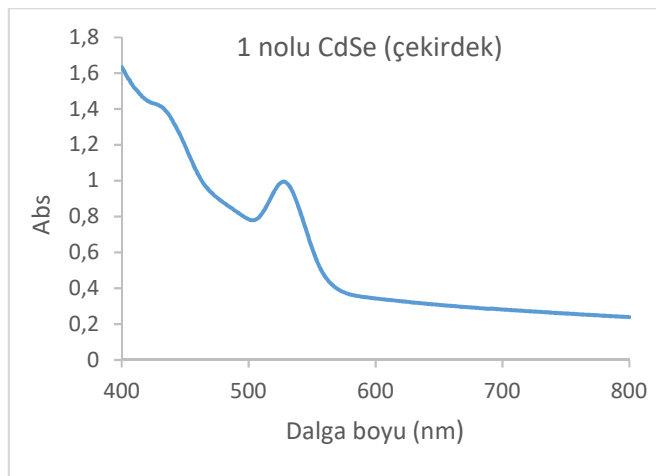
$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \text{ buradan } \lambda \text{ çekilirse,}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,64 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{? \text{ eV} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}} \quad (2)$$

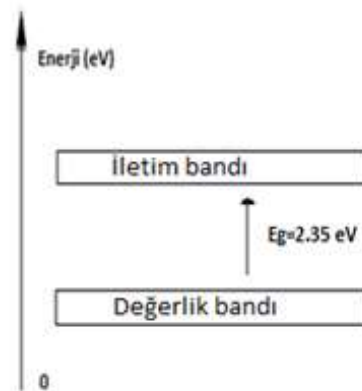
elde edilir. Burdan sonra çekirdek kabuk şeklindeki Tip II kuantum noktalarımızın dalga boyu değerlerini bildiğimiz için (2) nolu denklemden ‘?’ni çekerek yasak enerji bant (Eg) değerlerini bulabiliriz.

$$? \text{ eV} = \frac{6,64 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{? \text{ eV} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}} \quad (3)$$

Eşitlik (3) de λ yerine kuantum noktalarımızın dalga boyları metre cinsinden yerine yazılarak Eg değerleri eV cinsinden hesaplanır. Denklem (3) de değerleri yerine koyarak 1 nolu CdSe kuantum nokta çekirdek dalga boyu $\lambda=528 \text{ nm}$ olarak ölçüldü. Ölçülen bant aralığının enerji cinsinden değeri (Eg) 2.35 eV olarak hesaplandı. Şekil 8. a) da 1 nolu CdSe kuantum nokta çekirdeği için UV-Vis. değeri grafik ile gösterilmiştir. Şekil 8. b) de 1 nolu CdSe kuantum nokta çekirdeği için Eg değeri grafik ile gösterilmiştir. Absorbans-dalgaboyu grafiği bant aralığının 528 nm olduğu bölgede keskin ve dar bir pik yapmıştır. Bunun iki temel sebebi vardır. Birincisi elde edilen CdSe kuantum noktalarının boyut dağılımı birbirine çok benzerdir. İkincisi ise elde edilen malzemede güçlü eksiton (elektron-bosluk çifti) etkisi olduğu ve malzeme yapısının Tip-I olduğunu gösterir. Tip-I yapıya sahip kuantum noktalarda elektron ve boşluk malzemenin çekirdek kısmında bulunmaktadır.



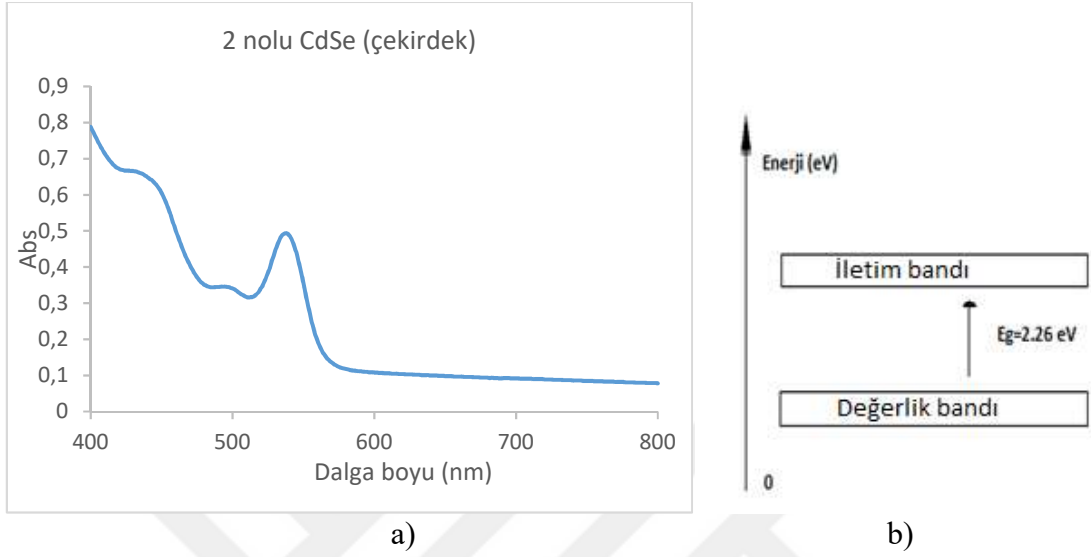
a)



b)

Şekil 8. a) CdSe absorbans UV-Vis değeri ($\lambda=528 \text{ nm}$). b) 1 nolu CdSe kuantum nokta çekirdeği için Eg değeri.

Aynı şekilde 2 nolu CdSe kuantum nokta çekirdek numunesi için de dalga boyu $\lambda=550$ nm alınarak E_g değeri 2.26 eV olarak hesaplanmıştır. Şekil 9. a) 1 nolu CdSe kuantum nokta çekirdeği için UV-Vis. değeri grafik ile gösterilmiştir. Şekil 9. b'de 1 nolu CdSe kuantum nokta çekirdeği için E_g değeri grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 9. a) CdSe absorbans UV-Vis değeri ($\lambda=550$ nm) b) 2 nolu CdSe kuantum nokta çekirdeği için E_g değeri.

1 numaralı numunenin 2.35 eV, 2 numaralı numunenin 2.26 eV'luk yasak enerji bant değerlerine sahip olduğu, yaptığımız hesaplamalar doğrultusunda görülmüş oldu.

Üretilen CdSe çekirdek kuantum noktaların boyutları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [33].

$$D = (1.6122 \times 10^{-9}) \lambda^4 - (2.6575 \times 10^{-6}) \lambda^3 + (1.6242 \times 10^{-3}) \lambda^2 - 0.4277 \lambda + 41.57$$

Burada λ kuantum noktanın bant aralığını gösteren nanometre cinsinden dalga boyu ve D ise kuantum noktanın çapını vermektedir. Numunelere ait boyutlar Çizelge 2'deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Üretilen CdSe çekirdek boyutları.

Kuantum nokta	Çekirdek boyutu (yarı çap, nm)	Yasak enerji bant aralığı (E_g , eV)
CdSe 1. Numune	1,33	2,35
CdSe 2. Numune	1,52	2,26

Deneylerimize kuantum nokta çekirdek olarak daha iyi performans için 2 numaralı numune kullanılarak devam edilmiştir.

3.3. CdSe/CdTe KUANTUM NOKTA ÇEKİRDEK/KABUK ÜRETİMİ

Yukarıda belirtilen küre şeklindeki çekirdek CdSe kuantum noktaların etrafına homojen bir şekilde CdTe kabuğunu oluşturmak için McElroy ve arkadaşlarının [20] önerdiği damlatma metodu büyük oranda modifiye edildi. Tüm işlemler Schlenk düzeneği ile azot gazı altında gerçekleştirildi. Bu işlemler için 100 ml'lik üç boyunlu balonlarda Cd-oleat, TOP-Te ve CdSe-Oleik asit solüsyonları hazırlandı.

3.3.1. Cd- Oleat Çözeltisinin Hazırlanışı

0,05g kadmiyum oksit , 1ml oleik asit, 9ml oktadesen vakum altında 100 °C de 45 dakika hızlı bir şekilde magnet karıştırıcıyla karıştırılmıştır. Bu 45 dakikanın sonunda çözeltinin koyu kırmızı renk aldığı gözlemlenmiştir. Sonra 300 °C'ye kadar ısıtıldı ve berrak bir görünüm aldı. Hazırlanan çözelti oda sıcaklığında beklemek üzere bir kenarda azot gazı altında tutuldu.

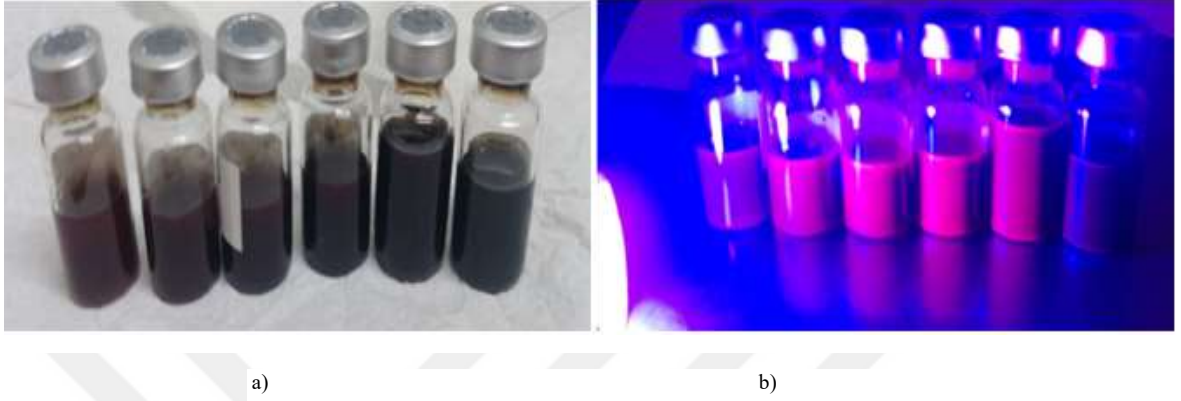
3.3.2 TOP-Te Çözeltisinin Hazırlanışı

0,06g telürür tozu, 5ml TOP, 5ml oktadesen vakum altında 100 °C de 45 dakika hızlı bir şekilde magnet karıştırıcıyla karıştırılmıştır. Sonra çözelti azot altında 250 °C'ye kadar ısıtıldı. Çözeltinin bu noktada açık yeşil bir renk aldığı gözlemlenmiştir ve oda sıcaklığına düşürülüp azot gazı altında bekletildi.

3.3.3 Cdse-Oleik Asit Çözeltisinin Hazırlanışı

CdSe, 13ml oktadesen, 13ml oleik asit vakum altında 100 °C de hızlı bir şekilde magnet karıştırıcıyla karıştırıldı. Sonra bu noktadan itibaren çözelti azot gazı altına alınarak 190 °C de sabit tutuldu. Daha sonra CdO çözeltisinden 1,4ml enjektör yardımıyla alınıp damla damla CdSe çözeltisinin içerisine enjekte edildikten sonra 5 dakika beklendi. Sonra TOP-Te çözeltisinden 1,4ml başka bir enjektör yardımıyla alınıp damla damla CdSe çözeltisinin içerisine boşaltıldı. Sıcaklığı bu noktadan itibaren 250 °C'ye çıkartılıp bu sıcaklıkta 30 dakika boyunca sabit tutuldu, bu sürede CdSe kuantum nokta çekirdeği etrafında CdTe kabuk kısmı oluşmaktadır. Daha sonra 190 °C'ye soğutuldu. Böylece ince kabuklu CdSe/CdTe Tip-II yapısına sahip kuantum nokta oluşturuldu. Daha kalın

kabuklu nanomalzeme üretmek için yukarıdaki işlemler tekrarlandı. Bu çalışmada toplamda 4 farklı kabuk kalınlığına sahip CdSe/CdTe çekirdek/kabuk nano malzemesi elde edildi. Şekil 7’de gösterilen kuantum nokta çekirdek üzerine damla metoduyla kabuk eklenmiş numunelere ait fotoğraf Şekil 10 a’ da ve ultraviole ışığı altında Şekil 10 b’de gösterilmiştir.



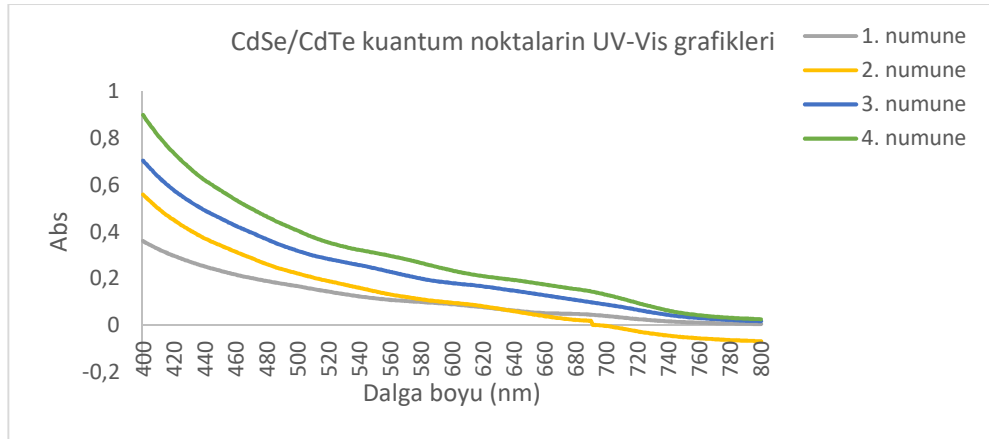
Şekil 10. a) Üretilen kuantum noktaların (CdSe/CdTe) numuneleri b) üretilen kuantum noktaların UV ışık altında görünümü (soldan sağa doğru kuantum noktaların boyutu artmaktadır).

3.4 ÜRETİLEN KUANTUM NOKTALARIN BOYUTLARININ HESAPLANMASI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kuantum noktaların elektriksel özellikleri ile boyutları arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılabilmesi için ilk önce kuantum noktaların elektriksel özellikleri ele alınmıştır.

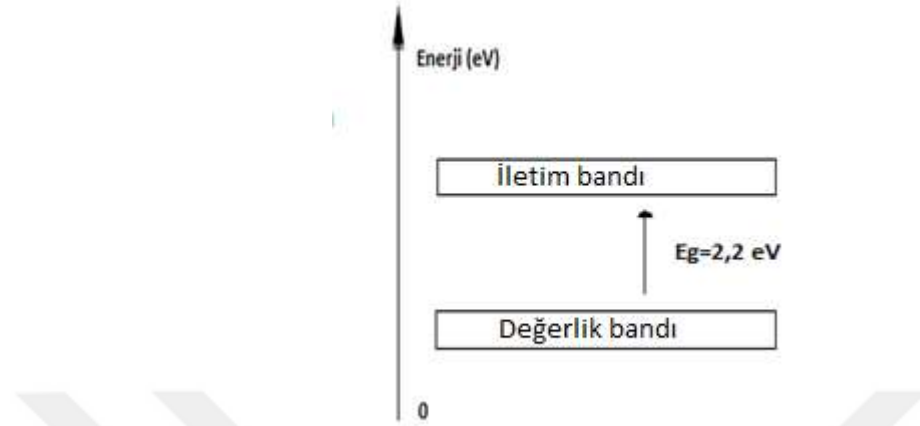
3.4.1. Kuantum Noktaların Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

Şekil 11’den yararlanarak üretilen CdSe/CdTe kuantum noktaların elektriksel özelliklerini inceleyelim:



Şekil 11. Üretilen CdSe/CdTe kuantum nokta numunelerine ait UV-Vis. grafikleri.

Denklem (3) de malzemelerin dalga boyu değerlerini yerlerine koyularak E_g değerleri hesaplanmıştır. 1 nolu malzemenin dalga boyu $\lambda=561\text{nm}$ alınarak E_g değeri 2.2 eV olarak hesaplandı. Şekil 12’de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 12. 1 numaralı numunenin bant aralığının (E_g) şematik gösterimi ($\lambda = 561\text{nm}$).

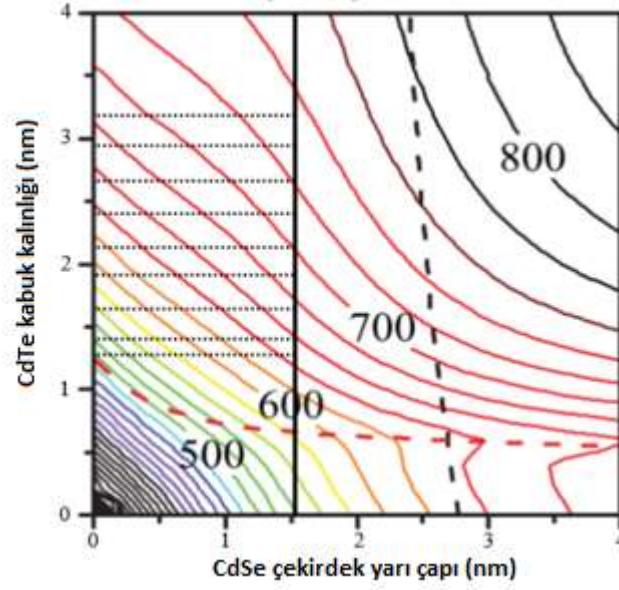
Diğer numunelerimiz E_g değerlerini, yukarıdaki hesaplama işlemleri tekrarlanarak, Çizelge 3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Üretilen CdSe/CdTe kuantum noktaların E_g (yasak enerji bant) değerleri.

Numune numarası	Dalga boyu ' λ ' (nm)	Yasak enerji bandı ' E_g ' (eV)
1 numaralı hücre	561	2,2
2 numaralı hücre	575	2,16
3 numaralı hücre	690	1,8
4 numaralı hücre	716	1,74

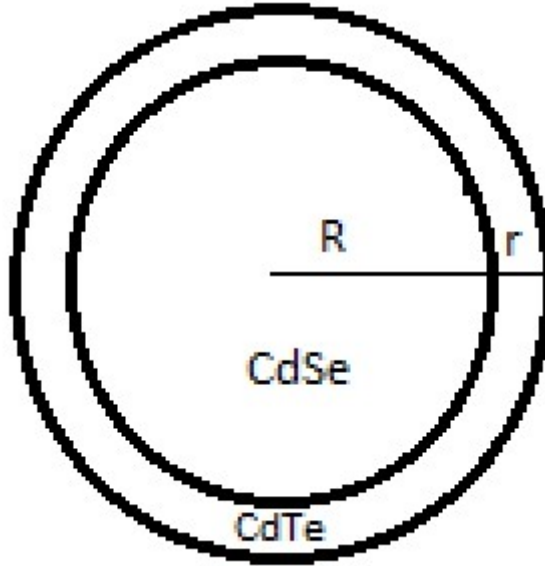
3.4.2. Kuantum Noktaların Boyut İncelenmesi

Şekil 13’deki tablo dan yararlanarak üretilen kuantum noktaların çekirdek yarı çapı ve çekirdeğin üzerini kaplayan kabuğun kalınlıkları hesaplandı. Şekil 14’deki tablonun x eksenini çekirdeğin yarı çapını, x eksenini ise kabuğun kalınlığını gösterir [23]. Burada yapılan işlem tablo üzerinde çekirdek ve kabukların dalga boylarını tablo üzerinde karşılaştırılır. x eksenini gösterdiği değer çekirdek yarıçapı, x eksenin gösterdiği değer ise kabuk kalınlığıdır. Örneğin bu çalışmada kullanılan 2 nolu çekirdeğin dalga boyu 550nm ve 2 nolu çekirdek ile oluşturulan 4. Numune çekirdek/kabuk kuantum noktanın dalga boyu $\lambda = 716 \text{ nm}$ dır. Bu bilgiler doğrultusunda tablodaki çizgileri kesiştirme yöntemiyle eksenlere gelen değerler kaydedilir. Bu örnek için çekirdek yarı çapı = 1,52 ve kabuk kalınlığı= 2.2 nm olduğu görülür.



Şekil 13. Kuantum noktaların boyutlarını belirlemek için baz alınan deneysel verilerden elde edilmiş grafik [23].

Şekil 14’de, yukarıda anlatılmak istenenin daha iyi kavranabilmesi için kuantum noktaların temsili olarak çekirdek ve kabuk yapısı gösterilmiştir. Çekirdek yarı çapı R ve kabuk kalınlığı r ile gösterilmiştir.



Şekil 14. R çekirdek yarı çapını, r kabuk kalınlığını göstermektedir.

Çizelge 4’de bu çalışmada kullanılan tüm kuantum noktaların hesaplanan çekirdek çapları ve kabuk kalınlıklarını göstermektedir.

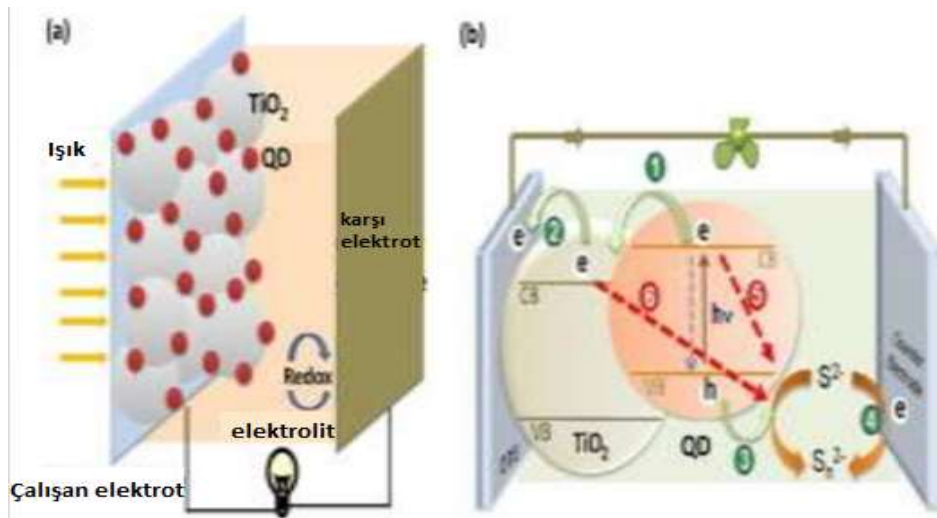
Çizelge 4. Üretilen kuantum nokta boyutları.

Kuantum nokta	Çekirdek boyutu (yarı çap, nm)	Kabuk kalınlığı (nm)	Toplam kuantum nokta boyutu (yarı çap,nm)
CdSe/CdTe 1. Numune	1,52	1.2	2.72
CdSe/CdTe 2. Numune	1.52	1.4	2.92
CdSe/CdTe 3. Numune	1.52	1.6	3.12
CdSe/CdTe 4. Numune	1.52	2.2	3.72

4. KUANTUM NOKTA HÜCRE HAZIRLANIŞI

Hücre yapısı kısaca şöyle özetlenebilir; çalışan elektrot üzerine yarı iletken malzeme ve yarı iletken malzemeyi duyarlaştıracak kuantum noktalar, bir elektrolit ve karşı elektrottan oluşur. Şekil 15. a) kuantum nokta duyarlı güneş hücresinin hücre yapısını göstermektedir. Çalışma sırasında, fotonlar kuantum noktalar tarafından yakalanır ve bunlar kuantum noktalar arasındaki ara yüzeyde elektron-delik çiftleri oluşturur. Şekil 10. b’de kuantum nokta duyarlı güneş hücresinde meydana gelen elektron hareketlerini göstermektedir [24]. Bu süreçler;

1. Güneşten gelen foton sayesinde uyarılmış Kuantum noktalardan elektron kopması ve TiO_2 ‘ye gelmesi ,
2. Yarı iletken malzemeden koparılan elektronların dış devreye ulaşması için elektrot yüzeyine taşınması,
3. Elektrolit sıvısında redoks çiftine (h^+) delik aktarımı,
4. İndirgenme ve yükseltgenme tepkimelerinin yenilenmesi,
5. Kuantum noktalardan gelen elektronların ve redoks çiftinin indirgenmiş durumunun rekombinasyonu,
6. TiO_2 'den gelen elektronların ve indirgenmiş redoks çiftinin ara rekombinasyonu olarak sıralanabilir.



Şekil 15. Kuantum nokta duyarlı güneş hücresinin yapısı, (b) bir güneş hücresinin fotoakım oluşurması [24].

4.1. TiO₂ HAZIRLANIŞI

1g TiO₂ ve 2ml nitrik asit yarım saat karıştırıldı ardından ultrasonik su banyosunda 20 dk bekletildikten sonra jel kıvamında bir karışım elde edildi.

4.2. AKTİF KATMAN (TiO₂) İÇİN FTO KAPLAMALI CAM YÜZEYİN HAZIRLANIŞI

Bu deneyde, aktif katmanın (TiO₂) kaplanacağı yüzey için FTO kullanıldı. Bu cam yüzeyler aynı zamanda hücrenin elektrodu olarak görev yapacak. Camlar, 15mm x 20mm kesildi. Kesilen camlar başka bir cam kap içerisindeki 0,1 M HCl asit çözeltisine konularak ultrasonik banyo içerisinde 20 dk bekletildi. Ardından 15 dk boyunca deiyonize su ile ultrasonik banyoda bekletildi. Daha sonra etanol ile 20 dk boyunca tekrar ultrasonik banyoda bekletildi. Bu işlemler 2 defa aynı sıra ile tekrarlandı ve sonrasında kuruması için temiz bir yüzeye bırakıldı.

4.3. AKTİF KATMAN (TiO₂) KAPLAMASI

Şekil 16. a) da gösterildiği gibi, kaplama işlemi için öncelikle cam yüzeyin iletken kısmı ölçü aleti yardımıyla tespit edildi. Ardından FTO cam yüzeyine, scotch bant yardımıyla 0,545cm çaplı çeper alanı oluşturuldu. Şekil 16. b’de gösterilen bu alan aktif katmanı barındıracaktır. Önceden hazırlanan jel kıvanımdaki TiO₂, Doctor Blade yöntemiyle FTO camının yüzeyindeki 0,23cm²’lik alana kaplandı. Bu işlemden sonra FTO/TiO₂, 450 °C de 30 dk bekletildi. Bu işlem TiO₂ katmanının gözenekli yapıya kavuşması için yapıldı.



a)

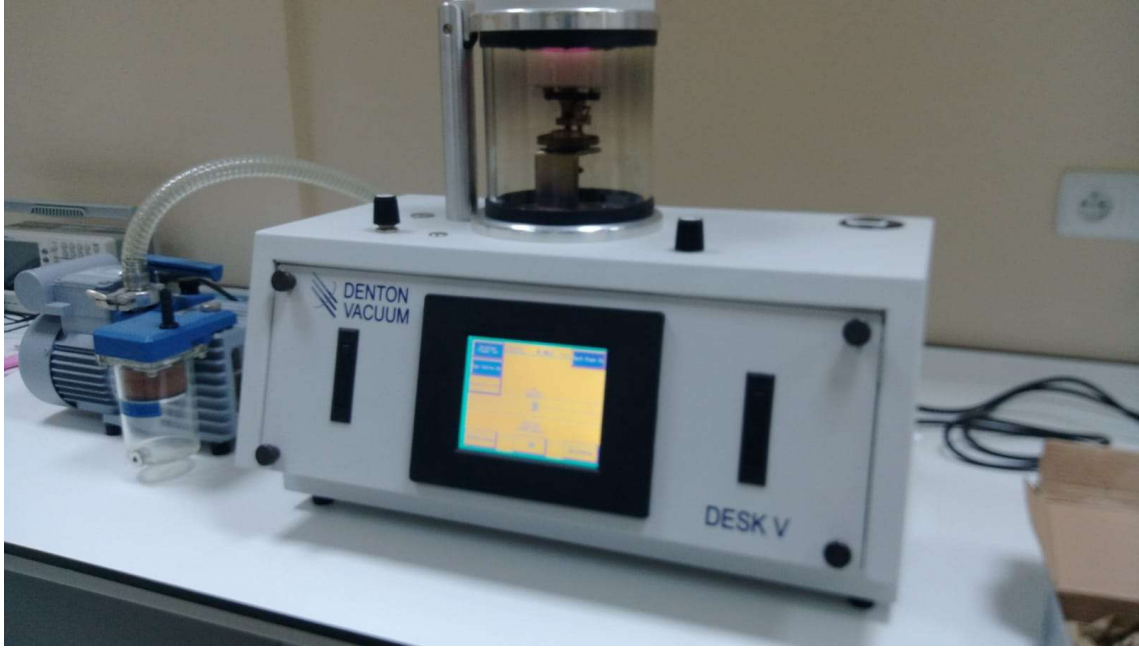


b)

Şekil 16. a) İletken yüzeyin belirlenmesi, b) Etkin alanın oluşturulması.

4.4. KARŞI ELEKTROT HAZIRLANIŞI

Karşı elektrot hazırlanırken Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan sputter kaplama cihazı ile FTO kaplamalı cam yüzeye, altın-paladyum karışımıyla kaplama yapıldı. Şekil 17'de gösterilmiştir. Bu işlem karşı elektrotun iletkenliğini artırmak için yapılmıştır.



Şekil 17. Sputter kaplama cihazı ve karşı katot için altın-paladyum kaplama.

Şekil 18'de karşı elektrot olarak kullanılmak üzere sputter kaplama cihazı ile altın-paladyum kaplanmış FTO cam gösterilmiştir.



Şekil 18. Altın-paladyum kaplanmış FTO cam.

4.5. ELEKTROLİT HAZIRLANIŞI

Aktif katman ile karşı elektrot arasını dolduran ve indirgenme reaksiyonlarının gerçekleştiği elektrolit, 0,75g Tioasetamite ve 0,15g potasyum klorürü 10ml su ile çözüp magnet karıştırıcı ile 5 dk boyunca hızlı bir şekilde karıştırılarak hazırlandı.

4.6. TiO₂/CdSe/CdTe HAZIRLANIŞI

Kuantum noktaların birbirlerine yapışmasını engellemek için sentezleme aşamasında uzun zincir ligandlar malzemelerin yüzeylerine yerleştirilmektedir. Fakat bu ligandlar kuantum noktalar arasında boşluklara sebep olmakta ve dolayısıyla oluşacak güneş hücresi verimliliğine negatif etki etmektedir. Üretilen kuantum noktalar, aktif katman üzerine uygulanmadan önce, kuantum nokta üretimi sırasında oluşan ligandlardan kurtulmak için yıkama işlemi yapıldı. Yıkama işlemi her bir numune için ayrı ayrı şöyle uygulandı; N₂ gazı altında ilk adım olarak, 1:2 oranında kuantum nokta: metanol karıştırılarak iyice çalkalandıktan sonra 5 dk boyunca santrifüj cihazında bekletildi ve kuantum noktalarından ayrılan metanol, atık kutusuna boşaltıldı. Çökelen kuantum noktalar çok az miktarda tolüen ile çözdürüldü. Bu işlem iki defa yapıldı. İkinci adım olarak, ilk adım tamamlandıktan hemen sonra 1:2 oranında kuantum nokta: aseton karışımı yapıp hızlıca çalkalanıp santrifüj cihazında 5 dk bekletildi. Bu işlem kuantum noktalarının çökmesini sağlamış oldu. Çöken kuantum noktaları tolüen ile tekrar çözdürülüp aktif katman üzerine uygulamak için hazır hale getirildi. Bu yıkama işleminden sonra kuantum nokta uygulama tüplerinin içine numune numarasına göre koyuldu.

N₂ gazı altında yıkanan kuantum nokta örneklerinin her birinden 0.6 ml alınıp küçük cam tüplere konuldu. Şekil 19'da gösterildiği gibi önceden hazırlanmış olan FTO/TiO₂ camı üzerindeki aktif alan, bu küçük cam tüplerin ağız boşluğuna gelecek şekilde kapak gibi örtülüp bantlandı ve kuantum noktalarının etkin alana (TiO₂ kaplı yüzeye) difüzyon etmesi için ters çevrilerek 24 saat bekletildi. Bu işlem sonuncunda FTO/TiO₂/CdSe/CdTe yapısı oluşturulmuş oldu.



Şekil 19. FTO/TiO₂/CdSe/CdTe oluşumu (her bir küçük cam tüpte farklı boyutlu kuantum noktalar mevcuttur).

4.7. CİHAZ KURULUMU

Buraya kadar FTO/TiO₂/CdSe/CdTe Kuantum nokta ve karşı elektrodu oluşturmuş olduk. Bu iki parçanın kurulumu oldukça basittir. FTO üzerindeki etkin alan boş kalacak şekilde, çalışan elektrot parafilm ile kaplanır, bu işlem anot ile katot arasında kısa devre olma ihtimalini ortadan kaldırır. Aynı zamanda elektrolit sıvısı içinde ortam oluşturur. Sonrasında etkin alanın üzerine bir iki damla elektrolit sıvısından damlatılır. Daha sonra karşı elektrot, etkin alanı ortalayacak şekilde kapatılıp kıskaç yardımıyla tutturulur. Şekil 20’de kurulumu tamamlanmış hücreler gösterilmiştir.



Şekil 20. Güneş hücresinin ölçüme hazır hali.

4.8. FOTOVOLTAİK KARAKTERİZASYON

Kurulumu tamamlanan ölçüme hazır kuantum nokta duyarlı güneş hücrelerinin performans değerlendirmesini yapabilmemizi sağlayan ayrıca önemli bir değerlendirme ölçütü olan I-V karakterizasyonu, Düzce Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik bölümü laboratuvarında bulunan FY 7000 SIMULATOR adlı cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler AM 1.5 (100 mW/cm^2) standartlarında yapılmıştır. I-V karakterizasyonu için solar similatör ile birlikte kullanılan kaynak ölçerin eksi uçlu probu, aktif alanın bulunduğu iletken cama tutturuldu. Artı uçlu kaynak probu, karşı elektroda tutturuldu. Hücre, similatörden çıkan ışığın tam karşısına gelecek şekilde konumlandırıldı. Sistemin bilgisayarında bulunan program yardımıyla ölçme işlemi başlatıldı. Kaynak ölçer, tıpkı ampermetre gibi sisteme seri bağlanır. Kaynak ölçerin içinde bulunan ayarlı direnç yardımı ile direnç sürekli değiştirilerek ölçtüğü akım-gerilim değerlerini bilgisayardaki mevcut similatör programına aktarmaktadır. Böylece karakterizasyon için gerekli veriler elde edilmiş olur. Şekil 21’de, en soldaki FY 7000 solar simulatör, ortadaki kaynak ölçer ve en sağdaki sistem programının bulunduğu bilgisayar gösterilmektedir.

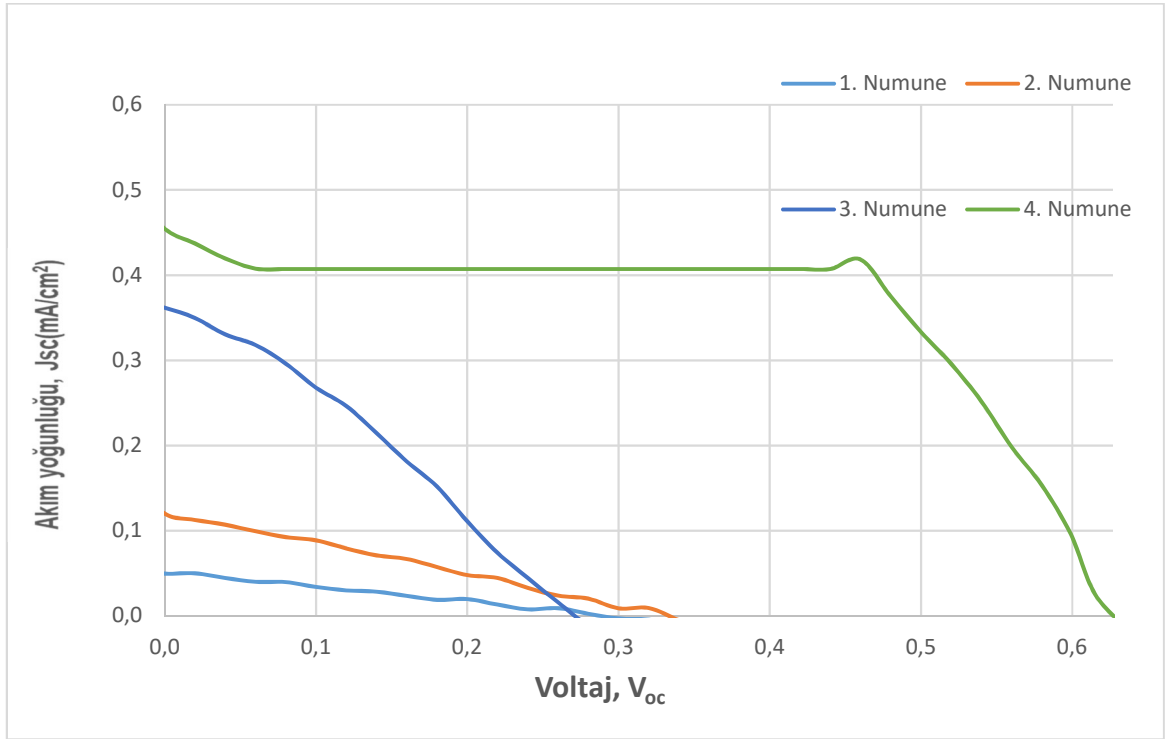


Şekil 21. I-V ölçüm sistemi.

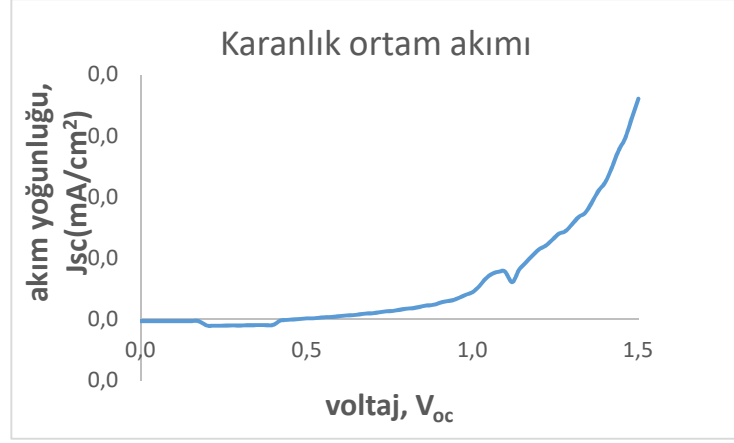
4.9. VERİMLİLİK HESABI

Daha önce 3. Bölümde kuantum noktaların E_g değerleri hesaplandı. Farklı boyuttaki kuantum noktalarının yada başka bir deyişle farklı dalga boylu kuantum noktalarının akım-yoğunluk grafikleri Şekil 22’de gösterilmiştir. Şekil 23’te ölçüm yapılan hücrelerin karanlık ortam ölçüm grafiği gösterilmiştir. Oluşturulan kuantum nokta duyarlı güneş hücrelerini verim hesapları bu bölümde yapılmış olup Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 4’e bakılarak, kuantum noktaların boyutu ile hücre verimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 22. Farklı boyuttaki kuantum noktaların akım yoğunluk grafiği.



Şekil 23. Karanlık ortam akım yoğunluk grafiği.

Bir fotovoltaik hücrede performans değerlendirmesi, toplam güç dönüşümüne bağlıdır. Yani çıkış gücünün (P_{out}), giriş gücüne (P_{in}) oranı ile hesaplanır. Eşitlik (4)'de gösterilmiştir [25]. Burada standartlara uygun olarak giriş güç yoğunluğu $P_{in} = 100 \text{ mW/cm}^2$, güneş spektrumu AM 1.5, ve sıcaklık 25°C alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (4)$$

Çıkış gücü (P_{out}), maksimum voltaj (V_{mp}) ve maksimum akım yoğunluğu (J_{mp}) çarpımı olarak ifade edilir eşitlik (5)'de gösterilmiştir [25].

$$P_{out} = V_{mp} \cdot J_{mp} \quad (5)$$

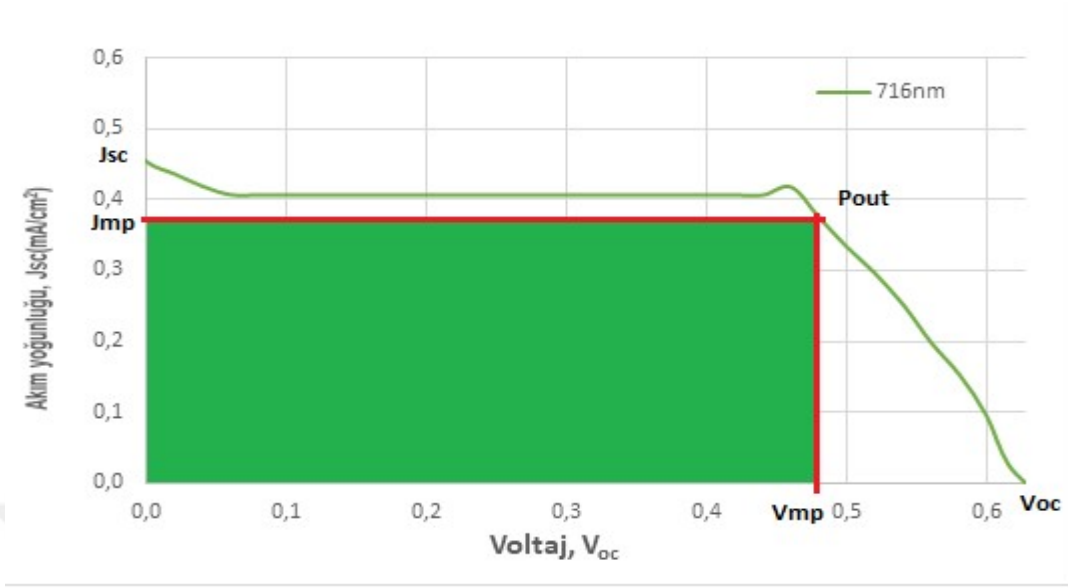
Dolum faktörü (fill factor) (FF), çıkış gücünün açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımına (J_{sc}) oranına denir, eşitlik (6)'da gösterilmiştir. FF bir orandır ve 0 ile 1 arasında olur [25].

$$FF = P_{out} / V_{oc} \cdot J_{sc} \quad (6)$$

Verim (n) hesaplanırken (4), (5), (6) eşitliklerinden yararlanılarak (4) nolu eşitlik tekrar oluşturulur ve eşitlik (7) elde edilir [25].

$$n = J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot \frac{FF}{P_{in}} \quad (7)$$

4 nolu numune için J_{mp} ve V_{mp} den yararlanarak P_{out} , şekil 24'deki yeşil bölgenin alanına eşit olur [25].



Şekil 24. Çıkış gücü hesaplanması [25].

Eşitlik (5)'den $P_{out} = V_{mp} \cdot J_{mp} = 0,480V \cdot 0,375mA/cm^2 = 0,18mW/cm^2$ olarak bulunur.

Bu değer doldurma faktörünü hesaplamak için eşitlik (6)'de yerine yazılırsa;

$FF = P_{out} / V_{oc} \cdot J_{sc} = (0,18mW/cm^2) / (0,65V \cdot 0,46mA/cm^2) = 0,602$ olarak bulunur.

Verim hesabı için düzenlenmiş olan eşitlik (7)'de bulunan değerler yerine yazılır.

Verim (n),

$$n (\%) = J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot \frac{FF}{P_{in}} = [0,46mA/cm^2 \cdot 0,65V \cdot 0,602 / 100 mW/cm^2] \cdot 100 = 0,18$$

olarak veri bulunur. Diğer numunelerin verimlilikleri yukarıdaki işlemler tekrarlanarak hesaplanmıştır ve Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Hücre verimlilikleri ve parametreleri.

Numune numarası	J_{sc} (mA/ cm ²)	V_{oc} (V)	FF (%)	P_{out} (mW/cm ²)	Kuantum nokta boyutu (nm)	n (%)
1	0,05	0,296	13,5	0,002	2.72	0,00199
2	0,12	0,34	19,6	0,008	2.92	0,00799
3	0,351	0,26	39,4	0,036	3.12	0,036
4	0,46	0,65	60,2	0,18	3.72	0,18

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kuantum nokta duyarlı güneş hücrelerinde kullanılan kuantum noktalarının farklı boyutlarının güneş hücresi üzerindeki performans etkisi incelenmiştir. Yapılan Gratzel tipi güneş hücresinde, yarı iletken olarak TiO_2 (degussa P25) kullanılmış olup kuantum nokta olarak ise, Tip-II yapısına sahip, CdSe/CdTe çekirdek/kabuk kuantum noktalar kullanılmıştır. Aynı özelliklere ve aynı alana sahip TiO_2 yarıiletken, 561 nm, 575 nm, 690 nm, 716 nm dalga boyuna sahip kuantum noktalar ile duyarlaştırılmıştır.

Burada elde edilen sonuçlar literatürde çekirdek/kabuk şeklindeki kuantum nokta duyarlı güneş hücreleri için kaydedilen sonuçlarla örtüşmektedir[16]. Bu tezdeki temel farklılık güneş hücresinin performansı kabuk kalınlığıyla nasıl değiştiğini göstermektir.

Bu tablodan yola çıkarak; kuantum noktalarının çekirdek kalınlığı arttıkça hücre verimliliği arttığı görülmektedir. Bunun nedeni iki temel fiziksel özellik ile açıklanabilir. Birincisi kabuk kalınlığı arttıkça kuantum noktaların bant aralığı düşmektedir. Dolayısıyla düşük bant aralığına sahip bir malzeme güneş spektrumundan daha fazla faydalanmaktadır. İkinci temel sebep şudur; Tip-II yapıya sahip kuantum noktalarda kabuk kalınlığı arttıkça güneş ışığı uyarılmasıyla oluşan elektron ve boşluklar birbirlerinden oldukça uzaklaşır ve tekrar birleşme süreleri giderek artmaktadır. Uzun süren tekrar birleşme sürelerinden dolayı uyartım sonucu oluşan elektron ve boşlukların fotoakıma katkı oranları yükselmektedir. Bundan dolayı kabuk kalınlığı arttıkça hücrelerin fotovoltaj performansları olumlu yönde etkilenmektedir.

Yapılan deneyler ve literatür araştırmaları doğrultusunda verimliliği artırmak adına, bu tezde oluşturulan Tip-II kuantum nokta duyarlı Grätzel tipi güneş hücresine aşağıdaki uygulamalar yapılabilir;

Üretilen CdSe/CdTe kuantum noktanın üzerine ZnSe veya ZnS pasivasyon kabuğu oluşturulabilir. Bu pasivasyon kabuğu kuantum noktalardan koparılan elektronun devreye aktarılmadan indirgenmesini önler. Bu durumda devreye aktarılan elektron artacağından verim pozitif yönde etkilenecektir.

Kullanılan karşı elektrotun altın veya platin ile kaplanabilir. Platin hem iletkenlik hem de hücre içerisindeki kimyasal reaksiyonlara katılmadığı için daha iyi iletim yapacaktır dolayısıyla verime iyi yönde etkisi olacaktır.

Elektrolit sıvısı, bir güneş hücresinde kuantum noktadan koparılan bir elektronun devresini tamamlamasını sağlayan önemli bir unsurdur. İndirgenme ve yükseltgenme tepkimelerinin gerçekleştiği bu sıvı daha aktif redox çiftinden oluşturulabilir.

Güneşten gelen ışığı hücre içine dağıtmaya yarayan bir katman oluşturulabilir. Bu katman ‘scattering layer’ olarak literatürde yer alır.

6. KAYNAKÇA

- [1] Milli Eğitim Bakanlığı. (2019, 21 Nisan). *Yenilenebilir enerji teknolojileri*. Milli Eğitim Bakanlığı. [Online]. Erişim: <https://docplayer.biz.tr/1207015-Yenilenebilir-enerjiteknolojileri.html>.
- [2] IEA. (2019, 21 Nisan). *International energy agency (IEA) statistics 2018*. Data & publications. [Online]. Erişim: <https://www.iea.org/geco/emissions/>.
- [3] Elif Küçükkaya. (2019, 21 Nisan). *Yenilenemez Enerji kaynakları Nedir?* Enerjiportali. [Online]. Erişim: <https://www.enerjiportali.com/yenilenemez-enerji-kaynaklari-nedir/>.
- [4] Mitch Jacoby. (2019, 10 Nisan). *The future of low-cost solar cells*. C&EN. [Online]. Erişim: <https://cen.acs.org/articles/94/i18/future-low-cost-solar-cells.html>.
- [5] Güneş Sistemleri. (2019, 11 Nisan). *Fotovoltaik tarihçe*. Güneş sistemleri. [Online]. Erişim: <http://www.gunessistemleri.com/fotovoltaiktarihce.php>.
- [6] Güneş Sistemleri. (2019, 23 Nisan). *Güneş hücreleri*. Güneş sistemleri. [Online]. Erişim: <http://www.gunessistemleri.com/guneshucreleri>.
- [7] NREL. (2019, 25 Nisan). *Best research-cell efficiency chart*. National renewable energy laboratory. [Online]. Erişim: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
- [8] J. Halme, "Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests," Yüksek lisans tezi, Department of Engineering Physics and Mathematics, Helsinki University Of Technology, Espoo, Finland, 2002.
- [9] F. Uyar. (2019, 6 Temmuz). *Güneş Pili Nedir? Güneş Pili Çalışma Prensipleri ve Çeşitleri*. Enerji beş. [Online]. Erişim: <https://www.enerjibes.com/gunes-pili/>.
- [10] G. Y. Kılıç. (2019, 23 Nisan). *Fotovoltaik hücreler*. İEEE İstanbul Teknik Üniversitesi Öğrenci Kolu Dergi. [Online]. Erişim: <http://dergi.ituieee.com/teknik/fotovoltaikhuceler>.
- [11] Ankara Üniversitesi. (2019, 23 Nisan). *Güneş enerjisi ile elektrik üretimi*. Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri. [Online]. Erişim: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61974/mod_resource/content/0/5.HAFTA.pdf.
- [12] Elektrikport. (2019, 7 Temmuz). *Organik güneş pilleri*. Elektrikport. [Online]. Erişim: <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/organik-gunespilleri/8810#ad-image-0>.
- [13] R. Jose, Nurbosyn U. Zhanpeisov, H. Fukumura, Y. Baba, M. Ishikawa, "Structure property correlation of CdSe clusters using experimental results and firstprinciples DFT calculations," *ACS Publication*, c. 128, sayı 2, ss. 629-636, 2006.
- [14] B. O'Regan. & M. Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO₂ films," *Nature International Journal Of Science*, c. 353, ss.737-740, 1991.
- [15] O. Portakal, "Biyolojik ölçümler ve nanopartiküller," *Türk Biyokimya Dergisi*, c. 33, sayı 1, ss. 35-38, 2008.
- [16] H. Das, P. Datta, "Semiconductor quantum dots as nanoelectronic circuit components," *Journal of experimental nanoscience*, c. 11, sayı 11, ss. 901-915, 2016.
- [17] D. Bimberg, C. Ribbat, "Quantum dots: Lasers and amplifiers," *Science direct*, c. 34, sayı 5, ss. 323-328, 2003.
- [18] J. E. Bowers, A. Gossard, D. Jung, J. Norman ve Y. Wan, "Quantum dot photonic integrated circuits on silicon," *Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)*, San Jose, CA, USA, 2018, sayfa SM2I.6.
- [19] S. Kim, B. Fisher, Hans-Jürgen Eisler, and M. Bawendi, "Type-II quantum dots: CdTe/CdSe(Core/Shell) and CdSe/ZnTe(Core/Shell) heterostructures," *ACS publications*,

- c. 125, sayı 38, ss. 11466–11467, 2003.
- [20] N. McElroy, R.C. Page, D. Espinbarro-Valazquez A, E. Lewis, S. Haigh, P. O'Brien, D.J. Binks, "Comparison of solar cells sensitised by CdTe/CdSe and CdSe/CdTe," *Elsevier*, c. 560, ss. 65-70, 2013.
- [21] M. B. Mohamed, D. Tonti, A. Al-Salman, A. Chemseddine, and M. Chergui, "Synthesis of high quality zinc blende CdSe nanocrystals," *ACS publications*, c. 109, sayı 21, ss. 10533-10537, 2005.
- [22] Fizik Bilimi. (2019, 10 Temmuz). *Fotoelektrik olay*. Fizik Bilimi. [Online]. Erişim: <https://www.fizikbilimi.gen.tr/fotoelektrik-olay/>.
- [23] R. C. Page, "Synthesis of cadmium chalcogenide based quantum dots for enhanced multiple exciton generation," Doktora tezi, Faculty of Engineering and Physical Science, School of Chemistry, Manchester, İngiltere 2014.
- [24] P. V. Kamat, "Quantum Dot Solar Cells The Next Big Thing in Photovoltaics," *ACS publication*, c. 4, sayı 6, ss. 908-918, 2013.
- [25] D. Trans, "Electron-rich heteroaromatic conjugated polypyridine ruthenium sensitizers for dye-sensitized solar cells," *Royal Society Of Chemistry*, Cilt 48, sayı 46, 2011.
- [26] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, E. D. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (version 47)," *Progress in Fotovoltaics*, c. 24 sayı 1, ss. 3-11, 2015.
- [27] E. Yenel, "Kuantum noktacık temelli hibrit güneş pillerine yönelik kuantum nokta yapılarının eldesi ve karakterizasyonu," Yüksek lisans tezi, Kimya Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2012.
- [28] Su-Huai. Wei, A. Zunger, "Calculated natural band offsets of all $II-VI$ and $III-V$ semiconductors: chemical trends and the role of cation d orbitals," *Applied physics letters*, c. 72, ss.10.1063-1.121249, 2011(1998).
- [29] F. Huang, L. Zhang, Q. Zhang, J. Hou, H. Wang, H. Wang, S. Peng, J. Liu, G. Cao, "High efficiency CdS/CdSe quantum dot sensitized solar cells with two ZnSe layers," *Research Article*, c. 8, sayı 50, ss. 34482-34489, 2016.
- [30] P. V. Kamat, "Quantum Dot Solar Cells.- The Next Big Thing in Photovoltaics," *ACS publication*, c. 4, sayı 6, ss. 908-918, 2013.
- [31] Y. Zhang, J. Wang, Y. Zhao, J. Zhai, L. Jiang, Y. Song, D. Zhu, "Photonic Crystal Concentrator for Efficient Output of Dyesensitized Solar Cells," *Supplementary material (ESI)*, c.18, sayı 23, ss. 2650-20652, 2008.
- [32] D.J. Binks, " Multiple exciton generation in nanocrystal quantum dots–controversy, current status and future prospects," *Physical Chemistry Chemical Physics*, c. 13, sayı 28, ss. 12693, 2011.
- [33] W.W. Yu, L. Qu, W. Guo and X. Peng, " Experimental Determination of the Extinction Coefficient of CdTe, CdSe, and CdS Nanocrystals," *ACS publications*, c. 15, sayı 14, ss. 2854– 2860.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdülkadir AYDOĞAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.05.1992/ Ilıca
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : kadiraydoganduzce@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2016
Lise	Fen Bilimleri	Ilıca Lisesi	2010

YAYINLAR

A. Aydoğan, “CdSe/CdTe Quantum Dot Duyarlı Güneş Pillerinin Fotovoltaik Performansının İncelenmesi,” *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar)*, Kocaeli, Türkiye, 2019, sayfa 1503- 1509.