



**İSTANBULÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DALGABOYU ÖTELEYİCİSİ KUANTUM NOKTALARI
KULLANILARAK Si GÜNEŞ PİLLERİNİN VERİMİNİN
ARTTIRILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

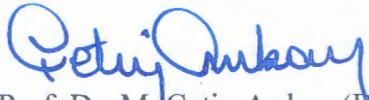
**Fizik Müh. Mesut BALABAN
Fizik Anabilim Dalı
Katı Hal Fiziği Programı**

**Danışman
Prof.Dr. M. Çetin Arıkan**

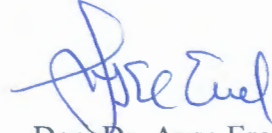
İSTANBUL

Bu çalışma 02/11/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Katıhal programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

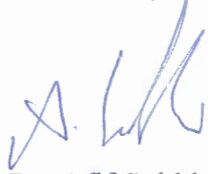
Tez Jürisi



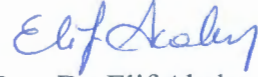
Prof. Dr. M. Çetin Arıkan (Danışman)
İstanbul Üniversitesi



Doç. Dr. Ayşe Erol
İstanbul Üniversitesi



Doç. Dr. Afif Sıddıki
İstanbul Üniversitesi



Doç. Dr. Elif Akalın
İstanbul Üniversitesi



Doç. Dr. Esra Özkın Zayım
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında verdikleri emek, gösterdikleri ilgi ve öğrettikleri herşey için değerli hocalarım Prof. Dr. Çetin ARIKAN'a, Doç. Dr. Ayşe EROL'a deneylerimin bir kısmını İTÜ Fizik Bölümü NanoSem Laboratuvarı'nda gerçekleştirebilmem için olanak tanıyan hocam Prof. Dr. Hilmi ÜNLÜ'ye, lisans eğitimim ve bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Fatma Z. TEPEHAN'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışma arkadaşlarım ve dostlarım Nurdan AŞAR, Leyla Başak BÜKLÜ, Ömer DÖNMEZ, Dr. Ferhat NUTKU, Dr. Mustafa GÜNEŞ ve Fahrettin SARCAN'a yardım ve destekleri için teşekkür ederim.

Ayrıca, her zaman yanımda olan, müteveffa annem, babam ve kardeşime teşekkür ederim.

Eylül, 2012

Mesut BALABAN

Bu çalışma, Kazım BALABAN tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLO LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ.....	IX
ÖZET	XI
SUMMARY	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1 KUANTUM NOKTALARI.....	4
2.1.1 Sihirli Boyut (<i>Magic Size</i>) Kuantum Noktaları.....	5
2.2 KUANTUM NOKTALARININ SPEKTROSKOPİK TEORİSİ	5
2.3 GÜNEŞ PİLLERİNİN DİYOT MODELİ	9
2.4 İŞİMALI KONSANTRATÖRLER	11
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	13
3.1 CdSe ve CdSe/ZnS NANOKRİSTALLERİN YAPISI.....	13
3.2 NANOKRİSTALLERİN SENTEZLENMESİ	14
3.2.1 CdSe Nanokristallerin Sentezi	14
3.2.2 CdSe/ZnS çekirdek/kabuk Yapıdaki Nanokristallerin Sentezi	17
3.3 CdSe ve CdSe/ZnS NANOKRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU	19
3.3.1 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Yapısal Karakterizasyonu	19

3.3.2 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Optik Karakterizasyonu	20
3.3.2.1 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Optik Karakterizasyonu	20
3.3.2.2 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Fotoışına Kuantum Veriminin Tayini	20
3.4 PLEKSİGLAS – CdSe/ZnS İNCE FİMLER	21
3.4.1 Pleksiglas – CdSe/ZnS İnce Filmlerinin Hazırlanması.....	21
3.5 SİLİSYUM GÜNEŞ HÜCRELERİ VE KARAKTERİZASYONU	22
3.5.1 Silisyum Güneş Hücrelerinin Fiziksel Özellikleri	22
3.5.2 Silisyum Güneş Hücrelerinin Elektriksel Özellikleri	23
3.5.3 Silisyum Güneş Hücrelerinin Karakterizasyonu	24
4. BULGULAR.....	26
4.1 CdSe ve CdSe/ZnS NANOKRİSTALLERİN OPTİK ÖZELLİKLERİ.....	26
4.1.1 CdSe Çekirdek Yapıdaki Nanokristallerin Optik Özellikleri.....	26
4.1.2 CdSe/ZnS Çekirdek/Kabuk Yapıdaki Nanokristallerin Optik Özellikleri	34
4.1.3 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Kuantum Verimi.....	35
4.2 CdSe ve CdSe/ZnS NANOKRİSTALLERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ ..	37
4.3 PLEKSİGLAS – CdSe/ZnS İNCE FİMLER	42
4.4 GÜNEŞ PİLLERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ.....	45
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	49
6. REFERANSLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	:Güneş ışıma spektrumu.....	1
Şekil 1.2	:Nanokristal içeren taşıyıcı matris ile kaplanmış güneş hücreleri.....	3
Şekil 2.1	:CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktalarının fotoluminesans ışımalarının değişimi.....	4
Şekil 2.2	:Nano kümeler, daha fazla yüzey atomu eklenerek 13, 55 ve 147 atomdan oluşan nano kümeler oluşturabilmektedir.....	5
Şekil 2.3	:Direkt bant aralıklı yarıiletkende iletkenlik bandından valans bandına ışımalı geçiş.....	7
Şekil 2.4	:Bir güneş hücresinin tipik I-V karakteristiği.....	11
Şekil 2.5	:Spektral dönüştürücü geometrileri.....	12
Şekil 3.1	:CdSe wurtzite (hekzagonal) yapı.....	13
Şekil 3.2	:CdSe/ZnS çekirdek/yapı nanokristallerin şematik gösterimi.....	13
Şekil 3.3	:CdSe nanokristallerin metot-1 ile sentez şeması.....	16
Şekil 3.4	:CdSe nanokristallerin metot-2 ile sentez şeması.....	17
Şekil 3.5	:CdSe/CdS ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk nanokristallerin bant yapısının şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.6	:CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki nanokristallerin sentez şeması.....	19
Şekil 3.7	:CdSe kuantum noktalarına ait boyut eğrisi.....	19
Şekil 3.8	:Tek kristal silisyum güneş hücresinin fiziksel boyutları.....	23
Şekil 3.9	:HBO civa lambasının karakteristik spektrumu.....	24
Şekil 3.10	:Güneş hücrelerinin I-V karakteristiğinin belirlenmesi için gerekli düzeneğin şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.11	:Güneş hücrelerinin açık devre akım spektrumunu tespit için kullanılan düzeneğin şematik gösterimi.....	25
Şekil 4.1	:Farklı sıcaklıklarda 1 dakika süre ile metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin fotoışıma şiddetleri.....	26

Şekil 4.2	:140°C sıcaklıkta metot-1 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin normalize fotoışıma spektrumu.....	27
Şekil 4.3	:140°C sıcaklıkta farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin normalize fotoışıma spektrumu.....	27
Şekil 4.4	:140°C sıcaklıkta farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin normalize absorbans spektrumu.....	28
Şekil 4.5	:150°C sıcaklıkta farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin fotoışıma spektrumu.....	29
Şekil 4.6	:150°C sıcaklıkta farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans spektrumu.....	29
Şekil 4.7	:140°C ve 150°C sıcaklıkta metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans tepe noktalarının sentez süresine göre değişimi.....	30
Şekil 4.8	:180°C sıcaklıkta metot-2 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin fotoışıma spektrumu.....	31
Şekil 4.9	:180°C sıcaklıkta metot-2 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans spektrumu.....	31
Şekil 4.10	:190°C sıcaklıkta metot-2 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin fotoışıma spektrumu.....	32
Şekil 4.11	:190°C sıcaklıkta metot-2 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans spektrumu.....	33
Şekil 4.12	:180°C ve 190°C sıcaklıkta sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans tepe noktalarının sentez süresine göre değişimi.....	34
Şekil 4.13	:Farklı çevrim sayısı ile sentezlenen CdSe/ZnS nanokristallerin fotoışıma spektrumu.....	34
Şekil 4.14	:Farklı çevrim sayısı ile sentezlenen CdSe/ZnS nanokristallerin absorbans spektrumu.....	35
Şekil 4.15	:CdSe nanokristallerin kuantum verimleri (QY).....	36
Şekil 4.16	:CdSe/ZnS nanokristallerin kuantum verimleri (QY).....	36
Şekil 4.17	:Metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin reaksiyon süresi ve boyut ilişkisi.....	38
Şekil 4.18	:Metot-2 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin reaksiyon süresi ve boyut ilişkisi.....	39

Şekil 4.19	:Metot 1 ve 2 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin XRD grafiği.....	39
Şekil 4.20	:CdSe/ZnS kuantum noktalarının HRTEM görüntüleri ve kırınım deseni.....	40
Şekil 4.21	:CdSe/ZnS kuantum noktalarının HRTEM görüntüsü.....	41
Şekil 4.22	:CdSe (A), CdSe/ZnS (B,C) nanokristal – akrilik filmler ve CdSe/ZnS nanokristal çözeltisi (D) mor ötesi ışık altındaki fotoğrafı.....	42
Şekil 4.23	:Si güneş hücresinin üzerindeki akrilik filme ait optik mikroskop görüntüsü.....	42
Şekil 4.24	:Pleksiglas-CdSe/ZnS filme ait AFM görüntüsü ve profil çizgileri.....	43
Şekil 4.25	:Pleksiglas-CdSe/ZnS filme ait 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	43
Şekil 4.26	:Pleksiglas-CdSe/ZnS filme ait AFM görüntüsü ve profil çizgileri.....	43
Şekil 4.27	:Pleksiglas-CdSe/ZnS filme ait 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	44
Şekil 4.28	:Akrilik film ile kaplanmış Si güneş pilinin yüzey görüntüsü ve kalınlık profili.....	44
Şekil 4.29	:Akrilik film ile kaplanmış Si güneş pilinin yüzey kalınlık profili.....	45
Şekil 4.30	:Farklı CdSe/ZnS nanokristal konsantrasyonları ile kaplanan güneş pillerinin I-V karakteristiği.....	46
Şekil 4.31	:Farklı CdSe/ZnS nanokristal konsantrasyonları ile kaplanan güneş pillerinin kısa devre akım (I_{sc}) spektrumu.....	47
Şekil 4.32	:Farklı CdSe/ZnS nanokristal konsantrasyonları ile kaplanan güneş pillerinin I-V karakteristiği.....	47
Şekil 4.33	:Farklı CdSe/ZnS nanokristal konsantrasyonları ile kaplanan güneş pillerinin kısa devre akım (I_{sc}) spektrumu.....	48

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	:Tek kristal silisyum güneş hücresinin fiziksel özellikleri.....	22
Tablo 3.2	:Tek kristal Silisyum güneş hücresinin elektriksel özellikleri.....	22
Tablo 4.1	:140°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans, fotoişima tepe noktaları ve fotoişima FWHM değerleri.....	28
Tablo 4.2	:150°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans, fotoişima tepe noktaları ve fotoişima FWHM değerleri.....	30
Tablo 4.3	:180 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans, fotoişima tepe noktaları ve fotoişima FWHM değerleri.....	32
Tablo 4.4	:190 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans, fotoişima tepe noktaları ve fotoişima FWHM değerleri.....	33
Tablo 4.5	:Farklı çevrim sayıları ile sentezlenen CdSe/ZnS nanokristallerin absorbans, fotoişima tepe noktaları ve fotoişima FWHM değerleri.....	35
Tablo 4.6	:140°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin boyutları ve sönme katsayıları (ϵ).....	37
Tablo 4.7	:150°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin boyutları ve sönme katsayıları (ϵ).....	37
Tablo 4.8	:190°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin boyutları ve sönme katsayıları (ϵ).....	38
Tablo 4.9	:180°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin boyutları ve sönme katsayıları (ϵ).....	38

Tablo 4.10	:Kaplama numarasına denk gelen konsantrasyon oranları.....	45
Tablo 4.11	:Güneş pillerinin karakteristik özellikleri (190°C).....	46
Tablo 4.12	:Güneş pillerinin karakteristik özellikleri (180°C).....	48
Tablo 5.1	:Güneş pillerinin, maksimum akım (I_{mp}), maksimum gerilim (V_{mp}), kısa devre akım (I_{sc}), açık devre gerilim (V_{oc}), dolgu faktörü (FF-Fill Factor), verim ile güneş pili üzerine düşen ışığın gücünün çarpımı ($\eta \cdot P_{in}$) ve verim artışı değerleri.....	50

SEMBOL LİSTESİ

m_o	: Parçacık kütlesi
V	: Yarıçapı a olan küresel bir potansiyel
Φ	: Schrödinger dalga fonksiyonu
C	: Normalizasyon katsayısı
Y_n^l	: Küresel harmonik
J_l	: l . derece küresel Bessel fonksiyonu
$E_{n,l}$: Parçacık enerjisi
$\Psi_{n,k}$: Külçe malzemelerin dalga fonksiyonu
E_k^c	: İletken bandı enerji değeri
E_k^v	: Valans bandı enerji değeri
Ψ_{sp}	: Tek parçacığın dalga fonksiyonu
u_{n0}	: Atomik dalga fonksiyonu
Ψ_{ehp}	: Elektron-boşluk durumu
I	: Toplam akım
I_0	: Ters diyot doyum akımı
V	: Terminal gerilimi
I_L	: Işık kaynağı tarafından üretilen akım
e	: Elektronik yük
k_B	: Boltzmann sabiti
T	: Mutlak sıcaklık
γ	: Boyutsuz diyot faktörü
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
I_{sc}	: Kısa devre akımı
P	: Güç
V_{mp}	: Maksimum güce karşılık gelen gerilim değeri
I_{mp}	: Maksimum güce karşılık gelen akım değeri

η	: Işık çevrim verimi
FF	: Dolgu faktörü
λ	: Dalgaboyu
Φ_f	: Fotoışma kuantum verimi
A	: Absorpsiyon
n	: Kırma indisi
h	: Film kalınlığı
ω	: Açısal hız
c	: Polimerin çözücü içinde ağırlık yüzdesi
ε	: Sönme katsayıları

ÖZET

DALGABOYU ÖTELEYİCİSİ KUANTUM NOKTALARI KULLANILARAK Si GÜNEŞ PİLLERİNİN VERİMİNİN ARTTIRILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Bu çalışmada, CdSe kabuk ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktaları, iki farklı koloidal kimyasal yöntem ile sentezlenmiştir. Kuantum noktalarının sentez süreci zamana ve reaksiyon sıcaklığına bağlı olarak gözlemlenmiştir. Sentezlenen kuantum noktalarının optik özellikleri, absorbans ve fotoışıma spektrumlarının tayini ve kuantum verimlerinin hesabı ile tespit edilmiştir. Ayrıca, kuantum noktalarının yapısal özellikleri, optik mikroskop, XRD, AFM ve HRTEM analizi ile incelenmiştir.

Tek kristal Silisyum güneş pilleri farklı konsantrasyonlarda, 554 ve 562 nm dalga boyunda fotoışıma yapan CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktaları ihtiva eden akrilik ince filmler ile döndürme kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Akrilik film ile kaplanan güneş pillerinin, maksimum akım (I_{mp}), maksimum gerilim (V_{mp}), kısa devre akım (I_{sc}), açık devre gerilim (V_{oc}), dolgu faktörü (FF-Fill Factor) ve verim değerlerinin, kaplama bulunmayan güneş hücrelerine göre arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : CdSe, CdSe/ZnS, Kuantum noktası, Akrilik, Si güneş hücresi

SUMMARY

A STUDY OF ENHANCING Si SOLAR CELL EFFICIENCY BY USING QDWS (QUANTUM DOT WAVELENGTH SHIFTER)

In this study, CdSe core and CdSe/ZnS core/shell quantum dots have been synthesized via two different colloidal chemical routes. Synthesis reaction of the quantum dots were monitored by taking aliquots at different time and temperature intervals. Optical properties of synthesized quantum dots have been investigated by obtaining absorbance and photoluminescence spectra and calculating quantum yields. Furthermore, structural properties of quantum dots have been investigated via optical microscope, XRD, AFM and HRTEM analysis.

Monocrystalline solar cells have been coated by spin coating method with different concentration of acrylic thin films containing 554 and 562 nm wavelength fluorescent CdSe/ZnS core/shell quantum dots. Increase in maximum current (I_{mp}), maximum voltage (V_{mp}), short circuit current (I_{sc}), open circuit voltage (V_{oc}), fill factor (FF) and efficiency of Si solar cells, coated with acrylic thin films, have been observed.

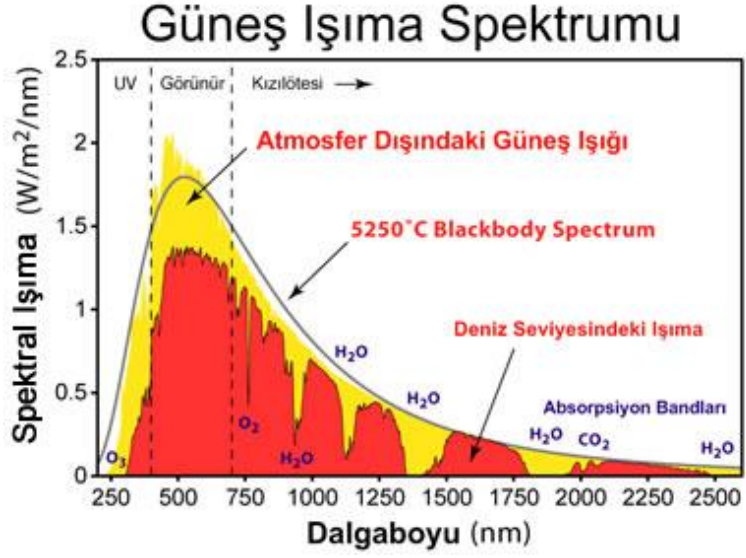
Keywords : CdSe, CdSe/ZnS, Quantum dot, Acrylic, Si solar cell

1. GİRİŞ

Artan enerji fiyatları ve çevre duyarlılığı, CO₂ emisyonu yapmayan, yenilenebilir temiz enerji teknolojilerini tüm ülkelerin gündemine taşımaktadır. Güneş enerjisi bu çarpıcı gelişmeler sonucu ilgi çekmeye devam etmektedir. Türkiye güneş enerjisinden yararlanma açısından şanslı bir ülkedir ve enerji faturası yüksek olan ülkemiz, mutlaka güneş enerjisinden yararlanma yollarını bulmalıdır. Güneş ışınlarından doğrudan elektrik enerjisi üreten fotovoltaik sistemler, güneş enerjisinden yararlanma açısından en çok tercih edilen teknolojilerden biridir. Bu bağlamda, fiyat performans ilişkisi göz önüne alındığında silisyum güneş pilleri, fotovoltaik sistemleri için en uygun adaylardandır.

Silisyum güneş pilleri ticari olarak uygun aday olmasına rağmen, bant aralığı yüzünden güneş hücreleri için en ideal malzeme değildir. Ayrıca silisyumun absorpsiyon katsayısı göreceli olarak diğer malzemelere göre daha düşüktür ve indirekt bant aralıklı bir yarıiletkenidir. Esas olarak, teorisinin iyi bilinmesi, çok kolay bir şekilde kontrol edilmesi ve üretim teknolojisinin ucuz olmasından dolayı silisyum, fotovoltaik sistemlerde tercih edilmektedir.

Bugüne kadar yapılan birçok araştırmada silisyum güneş pillerin performansının ve özellikle spektral cevabının artırılması için çalışmalar yapılmıştır. Silisyum güneş pillerinin bazı karakteristik özellikleri (spektral cevap, açık devre gerilimi, kısa devre akımı, dolgu faktörü v.b.), malzemeye bağımlı olarak kısıtlıdır. Bu kısıtlamalardan bir tanesi ise, silisyum güneş pillerinin spektral cevabının morötesi bölgede oldukça düşük olmasıdır. Güneş spektrumunun morötesi bölgesi, toplam güneş spektrumunun atmosfer dışında % 12'lik, yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının ise % 7'lik bir kısmını oluşturmaktadır (Şekil.1.1).

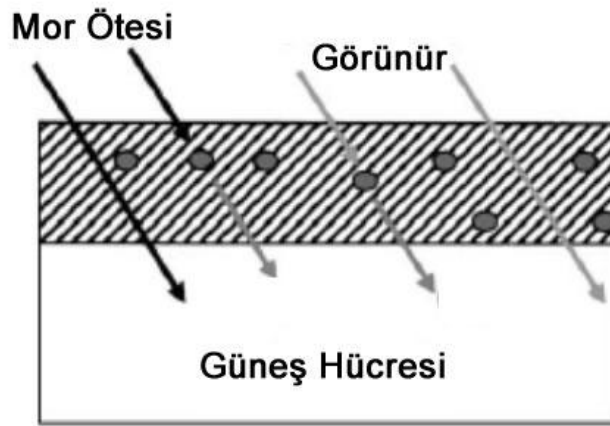


Şekil 1.1 : Güneş ışıma spektrumu.

Bu bağlamda, fotovoltaik sistemlerde güneş spektrumunun morötesi bölgesinin değerlendirilmesi, gerek yeryüzü uygulamaları, gerekse uzay uygulamaları açısından hayati önem taşımaktadır. Silisyum güneş pillerinin morötesi bölgede spektral cevabının artırılması amacıyla son yıllarda bilim dünyasının önemli çalışma alanlarından biri olan nano kristaller bu çalışmada kullanılmıştır.

Disiplinlerarası bir konu olan nano kristaller ve uygulamaları üzerine bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bir nanometre (nm) metrenin milyarda biridir ve nano kristaller genellikle 1-100 nm aralığında boyutlara sahip yapılar olarak kabul edilir. Nano kristallerin fiziksel, kimyasal, elektriksel ve optik özellikleri boyut ve şekillerine bağlı olarak külçe yapıdaki benzerlerine göre farklılık gösterir. Eğer yapıların fiziksel boyutu *Bohr-eksiton* yarıçapı mertebesinde ise elektronik ve opto-elektronik uygulamalar için büyük önem taşıyan kuantum boyut etkileri ortaya çıkar. Yarıiletken nano kristallerde kuantum boyut etkisi, optik ve elektronik özellikleri belirleyen durum yoğunluğu ve toplam enerjiyi etkilemektedir. Nano kristallerin fiziksel boyutları bir (kuantum kuyular), iki (kuantum teller) ve üç (kuantum noktalar) boyutta kontrol edilerek kuantum boyut etkisi gözlenmektedir.

Bu çalışmada, CdSe kabuk ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktaları farklı yöntemler ile sentezlenmiştir. Ticari pleksiglas (akrilik) malzemeler, taşıyıcı matris olarak kullanılarak, sentezlenen kuantum noktaları ticari tek kristal silisyum güneş hücreleri üzerine kaplanmıştır (Şekil 1.2). CdSe/ZnS kuantum noktalarının mor ötesi dalga boyunda yüksek absorpsiyona ve görünür dalga boyunda ışımaya sahip olması nedeniyle, güneş hücrelerinde, özellikle mor ötesi bölgede verim artışı hedeflenmiştir.



Şekil 1.2 : Nanokristal içeren taşıyıcı matris ile kaplanmış güneş hücreleri.

Tezin genel kısımlar bölümünde, kuantum noktaları ve sihirli boyuttaki kuantum noktaları hakkında bilgi verilmiş, ayrıca, kuantum noktalarının spektroskopik olarak modellenmesi, güneş pillerinin diyot modeli ve ışmalı konsantratörler hakkında bilgi verilmiştir. Malzeme ve yöntem kısmında, CdSe ve CdSe/ZnS kuantum noktalarının yapısı, sentezlenmesi, optik ve yapısal karakterizasyonu için kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Ayrıca, güneş pilleri üzerine kaplanan pleksiglass – CdSe/ZnS ince filmlerinin hazırlanması ve güneş pillerinin fiziksel, elektriksel özellikleri ile beraber karakterizasyonu için gerekli düzenekler hakkında bilgi verilmiştir. Bulgular bölümde, CdSe ve CdSe/ZnS nano kristallerin optik ve yapısal özelliklerine ait analizler verilmiştir. Ayrıca, güneş pillerine ait karakterizasyon sonuçları verilmiştir. Tartışma ve sonuç bölümünde ise, elde edilen sonuçlar yorumlanarak geleceğe yönelik için potansiyel çalışmalara değinilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 KUANTUM NOKTALARI

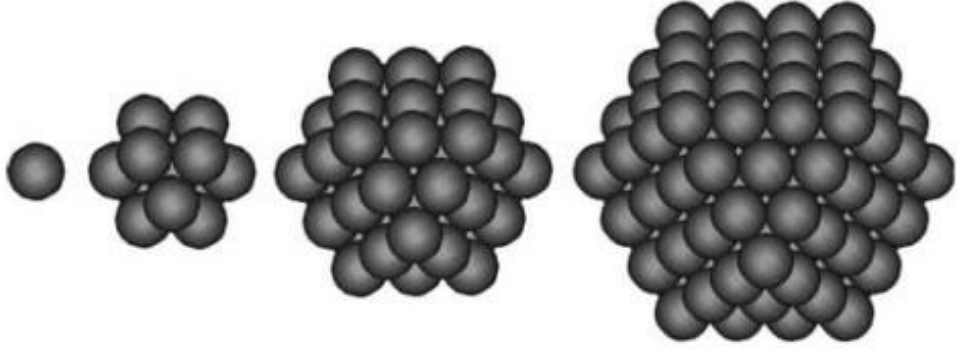
Kuantum boyut etkisi, nano kristallerin fiziksel boyutlarını, bir (kuantum kuyular), iki (kuantum teller) ve üç (kuantum noktalar) boyutta kontrol edilebilir. Kuantum noktalarını üretmek için başlıca iki yöntem kullanılır. “Fiziksel” ya da “yukarıdan aşağıya” olarak adlandırılan litografik ve moleküler ışın teknikleri, “kimyasal” ya da “aşağıdan yukarıya” olarak adlandırılan bir çözücü içerisinde koloidal (çökeltme) yöntemi ile nano kristaller üretilebilir. Koloidal yarıiletken nano kristaller bir çok disiplinin ilgisini çekmiştir. Temel araştırmalarda [1,2], ışımaya yapan aygıtlarda [3,4], lazerlerde [5, 6] ve floresans etiketlerde [7,8,9] uygulama konusu olmuştur. Kuantum noktalarının, atom benzeri enerji seviyelerine sahip olması, yük taşıyıcılarının sınırlanması sonucudur [10]. Kuantum noktalarındaki güçlü kuantum boyut etkisi, mor ötesi uyarma ile güçlü fotoışımaya yapan CdSe kuantum noktalarında görülebilir. CdSe kuantum noktalarının fiziksel boyutları değiştirilerek görünür bölgede geniş bir spektrum elde edilebilir. Şekil 2.1’de kuantum boyut etkisi – spektrum ilişkisi net olarak görülebilir [11].



Şekil 2.1 : CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktalarının fotoluminesans ışımalarının fiziksel boyuta bağlı olarak değişimi. En küçük kuantum noktası mavi, en büyük kuantum noktası ise kırmızı ışımaya yapmaktadır [11].

2.1.1 Sihirli Boyut (*Magic Size*) Kuantum Noktaları

Belirli sayıda atomdan oluşan nano kümeler, termodinamik olarak diğer nano kümelerden daha kararlı bir yapıya sahip olurlar. Bu etkiye sihirli boyut etkisi denilir. *Sihirli boyut* etkisi metal malzemeler için uzunca bir zamandır bilinen bir özelliktir. En bilinen örneklerin başında, 55 atomdan oluşan altın nano kümesi gelir (Şekil 2.2). Bu kümelerin önemli bir kısmı yüzey atomlarından oluşur [33].



Şekil 2.2 : Nano kümeler, daha fazla yüzey atomu eklenerek 13, 55 ve 147 atomdan oluşan nano kümeler oluşturabilmektedir.

Sihirli boyut etkisi, yarıiletken malzemeler için de gözlenmiştir. *Fojtik ve diğerleri* tarafından, CdS nano kümeler için sihirli boyut yapılar rapor edilmiştir. Daha sonra, boyutları 2 nm'den daha küçük olan CdSe kuantum noktaları için sihirli boyut etkisi Peng ve diğerleri tarafından gözlenmiştir [34].

2.2 KUANTUM NOKTALARININ SPEKTROSKOPİK TEORİSİ

Kuantum noktaları basit olarak “küre içinde parçacık” olarak modellenebilir. Bu modelde, m_o kütlelerine sahip parçacık, yarıçapı a olan küresel bir potansiyel içerisinde;

$$V(r) = \begin{cases} 0 & r < a \\ \infty & r > a \end{cases} \quad (2.1)$$

Schrödinger denklemi, dalga fonksiyonları için çözülürse;

$$\Phi(r, \theta, \phi) = C \frac{j_l(k_{n,l}r) Y_n^l(\theta, \phi)}{r} \quad (2.2)$$

denklemden, C normalizasyon katsayısı, $Y_n^l(\theta, \phi)$ küresel harmonik, $j_l(k_{n,l}r)$ l. derece küresel Bessel fonksiyonudur ve;

$$k_{n,l} = \frac{a_{n,l}}{a} \quad (2.3)$$

olarak verilir. Burada, $a_{n,l}$, küresel Bessel fonksiyonunun 0 değeridir. Parçacığın enerjisi;

$$E_{n,l} = \frac{\hbar^2 k_{n,l}^2}{2m_0} = \frac{\hbar^2 a_{n,l}^2}{2m_0 a^2} \quad (2.4)$$

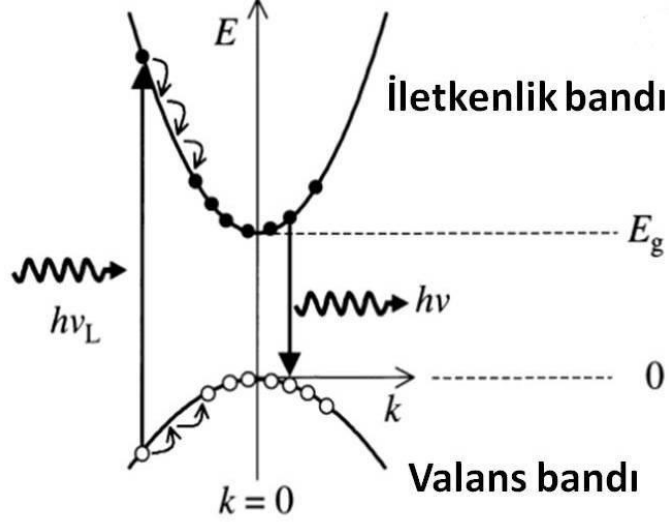
olarak verilir. Bu modelin simetrik özelliğinden dolayı, denklem 2.2'deki özfonksiyonlar (eigenfunctions), atom benzeri yörüngeler olarak kuantum numaraları, n (1,2,3...), l (s,p,d...) ile isimlendirilebilir. Denklem 2.4'teki enerji değerleri, serbest parçacığın kinetik enerjisine eşittir. Ancak, buradaki dalga vektörü, $k_{n,l}$, küresel sınır koşulları nedeniyle kuantize olmaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus, enerji, $1/a^2$ ile doğru orantılı olması nedeniyle kürenin boyutlarına bağlıdır. İlk bakışta, bu model kuantum noktalarının spektroskopik modellenmesi için uygun görünmeyebilir. Zira, bu modelde, parçacık boş bir küre içerisine hapsedilmiştir. Gerçekte ise, kuantum noktaları yarıiletken atomlar ile doludur. Mamafih, bazı yaklaşımlar ile küre içindeki parçacık olarak modellenebilir [12].

İlk olarak, külçe malzemenin iletkenlik ve valans bantları, izotrop bantlar olarak etkin kütle yaklaşımı ile modellenebilir. Bloch teoremine göre, külçe malzemelerin dalga fonksiyonları;

$$\Psi_{n,k}(\mathbf{r}) = u_{n,k}(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) \quad (2.5)$$

olarak verilir. Burada, $u_{n,k}$ kristal örgü periyodunun fonksiyonudur. Dalga fonksiyonları, bant indeksi, n , ve dalga vektörü, k , ile indekslenmiştir. Bu dalga fonksiyonlarının enerji değerleri, k değerine göre çizilen "bant diyagram"ı olarak gösterilebilir. Bant

diyagramları kompleks ve hesaplanması görece zor olmasına rağmen, etkin kütle yaklaşımı ile bant diyagramında bant değerleri basit parabolik eğriler olarak kabul edilebilir. Örnek olarak, CdSe direkt geçişli bir yarıiletken malzemedir ve valans ve iletkenlik bant maksimum değerleri $k = 0$ değerindedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Direkt bant aralıklı yarıiletkende iletkenlik bandından valans bandına ışımali geçiş. hv_L ve hv sırasıyla gelen ve yayınlanan ışımali enerjilerini, k dalga vektörü, E_g ise yarıiletkenin bant aralığını temsil etmektedir.

Etkin kütle yaklaşımında, iletkenlik ($n=c$) ve valans ($n=v$) bantlarının enerji değerleri;

$$E_k^c = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_{etk}^c} + E_g \quad (2.6)$$

$$E_k^v = -\frac{\hbar^2 k^2}{2m_{etk}^v} \quad (2.7)$$

olarak verilir. Burada, E_g yarıiletkenin bant aralığı ve enerji değerleri, valans bandının üst noktasına bağlıdır. Bu yaklaşımda, taşıyıcılar, etkin kütleli, m_{etk} , serbest parçacıklar gibi davranırlar. Bu yaklaşım, kristal örgüdeki yarıiletken atomlarını yoksayıp, elektron ve boşlukları serbest parçacıklar olarak modelleme imkanı sağlar [12].

Eğer, etkin kütle yaklaşımı küresel sınır koşulları ile birleştirilse, kuantum nokta problemi, “küre içinde parçacık” olarak tanımlanabilir (Denklem 2.1). Mamafih, bu durumda, kuantum noktaları külçe malzeme olarak kabul edilmiş olur. Bir başka deyişle, tek bir parçacığın dalga fonksiyonu Bloch fonksiyonu kullanılarak yazılır

(Denklem 2.5). Bu yaklaşım, “*zarf fonksiyon yaklaşımı*” olarak isimlendirilebilir ve kuantum noktasının boyutu malzemenin örgü sabitinden çok daha büyük olduğu durumlarda geçerlidir. Sınır koşullarını sağlamak için, tek parçacığın dalga fonksiyonu, Bloch fonksiyonlarının lineer kombinasyonu olarak yazılır;

$$\Psi_{sp}(\mathbf{r}) = \sum_k C_{n,k} u_{n,k}(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) \quad (2.8)$$

burada, $C_{n,k}$ genişleme katsayısıdır. Eğer $u_{n,k}$ fonksiyonu k 'ya bağımlılığı düşük olarak kabul edersek, Denklem 2.8 tekrar düzenlenerek;

$$\Psi_{sp}(\mathbf{r}) = u_{n,0}(\mathbf{r}) \sum_k C_{n,k} u_{n,k}(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) = u_{n,0}(\mathbf{r}) \cdot f_{sp}(\mathbf{r}) \quad (2.9)$$

olarak yazılabilir. Denklem 2.9'da, f_{sp} tek parçacığın zarf fonksiyonudur. Sıkı bağ yaklaşımında, periyodik fonksiyon, $u_{n,0}$, atomik dalga fonksiyonların, φ_n , toplamı olarak yazılabilir;

$$u_{n,0} \approx \sum_i C_{i,n} \varphi_n(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i) \quad (2.10)$$

Denklem 2.10'da, toplama işlemi örgü noktaları üzerindedir ve n elektron veya boşluklar için iletkenlik veya valans bandını temsil etmektedir. Bu sebeple, $u_{n,0}$ fonksiyonu hesaplanabilir ve kuantum noktası problemi, zarf fonksiyonlarının tek parçacık dalga fonksiyonları için çözümüne, f_{sp} , indirgenmiş olur. Bununla beraber, sonsuz potansiyel bariyere sahip küresel yapıdaki kuantum noktalarında, zarf fonksiyonları küre içinde parçacık denklemi ile verilir (Denklem 2.2). Her bir taşıyıcı, etkin kütleyle, m_{etk} , sahip, sabit bir potansiyel altında, yarıçapı a olan bir küre içindeki serbest parçacık olarak değerlendirilir.

Her bir parçacığın enerjisi ise Denklem 2.4'deki m_o 'ın $m^{c,v}_{etk}$ ile değiştirilmesi yoluyla tayin edilir. Ancak bu yaklaşım, elektron ve boşluk çiftlerindeki Coulomb etkileşimlerini tamamen yok saymaktadır. Külçe malzemelerde Coulomb etkileşimi, hidrojen türü durumlar veya eksitonlar oluşturabilir. Bu etki, kuantum noktaları içinde göz önüne alınmalıdır. Coulomb etkileşimlerini yok sayabilmek için, “*güçlü kuşatma yaklaşımı*” kullanılır. Her bir taşıyıcı için kuşatma enerjisi, $1/a^2$ ile orantılıdır (Denklem

2.4), Coulomb etkileşimi ise $1/a$ ile orantılıdır. Bu durum, kuantum noktasının boyutu, külçe malzemenin eksiton boyutundan çok daha küçük olduğu durumda geçerlidir ve bu durum, güçlü kuşatma rejimi olarak adlandırılır. Bu rejimde, elektron ve boşlukların her biri ayrı ayrı “küre içinde parçacık” olarak tanımlanabilir. Bu noktada, Coulomb etkisi birinci dereceden enerji düzeltme terimi, E_c , olarak eklenebilir. Sonuç olarak, Denklem 2.4 ve 2.9 kullanılarak elektron-boşluk durumları;

$$\begin{aligned}\Psi_{ehp}(r_e, r_p) &= \Psi_e(r_e) \Psi_p(r_p) = u_c f_e(r_e) u_v f_h(r_h) \\ &= C \left[u_c \frac{j_{L_e}(k_{n_e L_e} r_e) Y_{L_e}^{m_e}}{r_e} \right] \left[u_v \frac{j_{L_h}(k_{n_h L_h} r_h) Y_{L_h}^{m_h}}{r_h} \right]\end{aligned}\quad (2.11)$$

olarak verilir, enerji değerleri;

$$E_{ehp}(n_h L_h n_e L_e) = E_g + \frac{\hbar^2}{2a^2} \left\{ \frac{\varphi_{n_h L_h}^2}{m_{etk}^v} + \frac{\varphi_{n_e L_e}^2}{m_{etk}^c} \right\} - E_c \quad (2.12)$$

olarak tanımlanır. Durumlar, $n_h L_h n_e L_e$ kuantum numaraları ile indekslenmiştir. Örneğin, en düşük çift, $1S_h 1S_e$ olarak yazılır. Elektronların $1S_e$ seviyesindeki durumu için Coulomb düzeltmesi, E_c , $1,8 e^2/\epsilon a$ 'dır. Burada, ϵ yarıiletken malzemenin dielektrik sabitidir. Denklem 2.11 ve 2.12 genellikle kuantum nokta spektrumunun “küre içinde parçacık” çözümü olarak adlandırılır [12].

2.3 GÜNEŞ PİLLERİNİN DİYOT MODELİ

Bir güneş hücresi, ters yönlü gerilim modunda diyot olarak modellenebilir. Fotovoltaik hücrenin karakteristik özellikleri köprü diyot denklemi ile tanımlanabilir. Bu modelde diyot, ideal olarak ele alınmaktadır. Bir ışık uyarımı altındaki toplam akım I ;

$$I = I_0 \left[1 - \exp\left(\frac{|e|V}{\gamma k_B T}\right) \right] + I_L \quad (2.13)$$

burada, I_0 ters diyot doyum akımı, V terminal gerilimi, I_L ışık kaynağı tarafından üretilen akım, e elektron yükü, k_B Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, γ boyutsuz diyot faktörü olarak verilmiştir. γ boyutsuz diyot faktörü empirik olarak belirlenmelidir. Işık

tarafından üretilen akım I_L , ters diyot doyum akımı ile aynı yönlüdür. Denklem 2.13'te $I=0$ olarak sabitlendiği zaman, açık devre gerilimi, V_{oc} , elde edilir;

$$V_{oc} = \frac{\gamma k_B T}{|e|} \ln \left(1 + \frac{I_L}{I_0} \right) \quad (2.14)$$

Güneş hücresine bağlanan bir yük direnci üzerinden geçen güç;

$$P = IV = I_0 V \left[1 - \exp \left(\frac{|e|V}{\gamma k_B T} \right) \right] + I_L V \quad (2.15)$$

Maksimum güce karşılık gelen gerilim değeri, V_{mp} , denklem 2.15'in $dP/dV = 0$ koşulunu sağladığı noktada aşağıdaki denklemin çözümü ile elde edilir;

$$\left(1 + \frac{|e|V_{mp}}{\gamma k_B T} \right) \exp \left(\frac{|e|V_{mp}}{\gamma k_B T} \right) = 1 + \frac{I_L}{I_0} \quad (2.16)$$

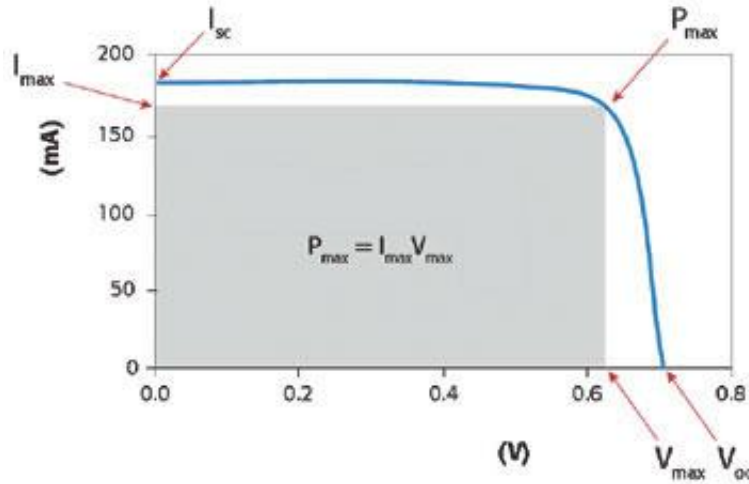
Maksimum güce karşılık gelen akım değeri, I_{mp} , güneş pillerinin karakteristik I - V grafiğinden elde edilir. Fotovoltaik hücrelerin performansı değerlendirilirken gözönüne alınması gereken en önemli faktör, "ışık çevrim verimi"dir;

$$\eta = \frac{I_{mp} V_{mp}}{P_{in}} = \frac{I_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}} \quad (2.17)$$

burada, P_{in} fotovoltaik hücre üzerine düşen ışığın gücü, FF ise dolgu faktörüdür;

$$FF = \frac{I_{mp} V_{mp}}{I_{sc} V_{oc}} \quad (2.18)$$

İdeal bir güneş pili dolgu faktörü FF 1'e eşittir ancak reel olarak bu değer elde edilmesi mümkün değildir [13].

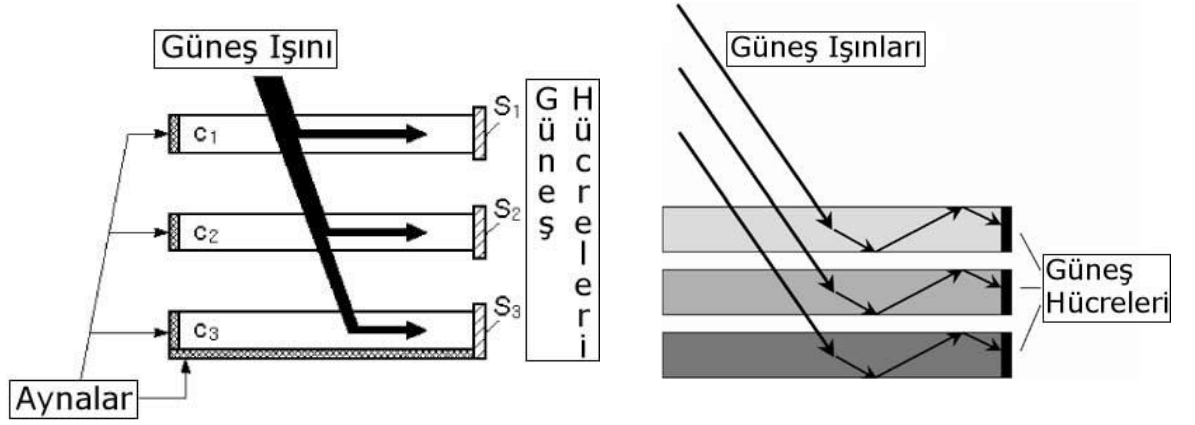


Şekil 2.4 : Bir güneş hücresinin tipik I-V karakteristiği.

2.4 IŞIMALI KONSANTRATÖRLER

Geleneksel yarıiletken güneş hücreleri sadece güneş hücresinin bant aralığına yakın bölgede gelen fotonlar için verimli olabilmektedir. Güneş hücresinin bant aralığından daha küçük enerjiye sahip olan fotonlar tamamıyla güneş hücresi tarafından enerjiye dönüştürülemeden yok olmaktadır. Güneş hücresinin bant aralığından daha büyük enerjiye sahip olan fotonlar absorbe edilir fakat fazla enerji ısıya dönüşür. Yarıiletken güneş hücrelerinin bu dezavantajını azaltmak için çeşitli yöntemler literatürde önerilmiştir. Bunlardan bir tanesi, aşağı spektral dönüştürücülerdir (Spectral down converters). Aşağı spektral dönüştürücüler yüksek enerjili bir fotonu daha düşük enerjili iki fotona dönüştürürler. Işımalı konsantratörler (luminescent concentrators) olarak da bilinen aşağı spektral dönüştürücüler 1970'li yıllarda literatürde yer almıştır. Bu konsantratörlerde, organik boya molekülleri kullanılarak aşağı spektral dönüşüm sağlanmıştır ancak organik boya moleküllerinin stabil olmaması, düşük kuantum verimi ve boya moleküllerinin taşıyıcı matrisin transparanlığını azaltması nedeniyle yeterli verim elde edilememiştir. Bu alandaki araştırmalar, kuantum noktaları üzerine yapılan araştırmalardan sonra tekrar gündeme gelmiştir. Kuantum noktaları, ışmalı konsantratörler de organik boya molekülleri yerine kullanılarak daha önce karşılaşılan sorunların üzerinden gelmek amaçlanmıştır [35]. Bu amaçla, genellikle iki farklı geometriye sahip konsantratörler önerilmiştir. Birincisi, taşıyıcı bir polimer matris içindeki kuantum noktaları direk olarak güneş pillerinin üzerine kaplanması, ikincisi ise,

ayna ya da tam iç yansıma yoluyla güneş ışınlarının spektral dönüşümleri gerçekleştirilecek sistemlerdir.



Şekil 2.5 : Spektral dönüştürücü geometrileri [37,38].

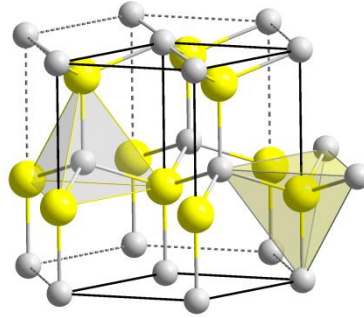
Şekil 2.5'te ayna ve tam iç yansımadan faydalanan spektral dönüştürücüler görülmektedir.

Farklı yapılarıdaki ışımali konsantratörler ile silisyum ve GaAs güneş hücrelerinin kısa devre akımlarında % 10'a varan artışlar gözlenmiştir [35,36,39].

3. MALZEME VE YÖNTEM

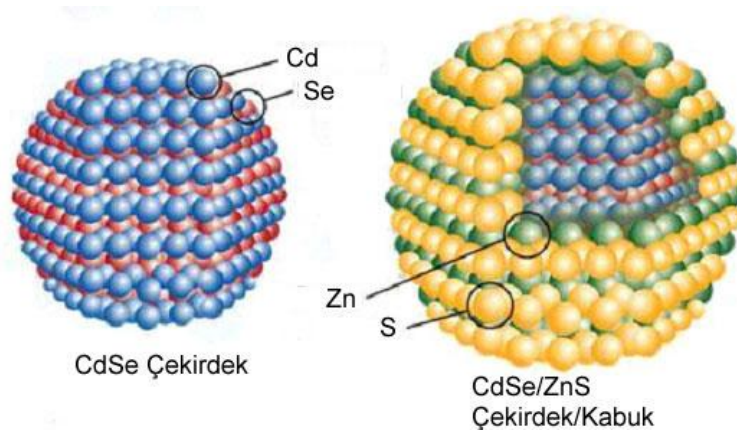
3.1 CdSe ve CdSe/ZnS NANOKRİSTALLERİN YAPISI

CdSe, kadmiyum ve selenyum tarafından oluşturulan yarıiletken bir malzemedir. Doğada, *wurtzite* (hekzagonal), *sphalerite* (kübik) ve *rock-salt* (kübik) olmak üzere 3 farklı kristal yapıya sahiptir. CdSe nanokristaller genellikle hekzagonal ve kübik yapıda görülürler. CdSe *wurtzite* (hekzagonal) yapı Şekil 3.1’de görülebilir.



Şekil 3.1 : CdSe *wurtzite* (hekzagonal) yapısı.

CdSe nanokristaller ZnS ile kaplanarak fotoişma verimleri arttırabilmektedir [14]. Bu yapılar çekirdek/kabuk yapı olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki nanokristallerin şematik gösterimi.

3.2 NANOKRİSTALLERİN SENTEZLENMESİ

Farklı boyut ve kalitedeki nanokristallerin elde edilebilmesi için farklı üretim hızı ve maliyete sahip birçok sentez yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler *yukarıdan-aşağıya* ve *aşağıdan-yukarıya* olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. *Yukarıdan-aşağıya* yönteminde nanokristaller, külçe malzemenin fiziksel ya da kimyasal olarak işlenmesiyle istenilen boyutta elde edilir. *Aşağıdan-yukarıya* büyütme teknikleri, atom ya da moleküllerden başlayarak nanokristallerin sentezlenmesini sağlar. Fiziksel buhar çöktürme (Physical Vapor Deposition-PVD), kimyasal buhar çöktürme (Chemical Vapor Deposition-CVD) ve kimyasal (koloidal) bu yöntemlerden en yaygın kullanılanlardır. Bu çalışmada, CdSe ve CdSe/ZnS nanokristaller kimyasal yöntem ile sentezlenmiştir.

3.2.1 CdSe Nanokristallerin Sentezi

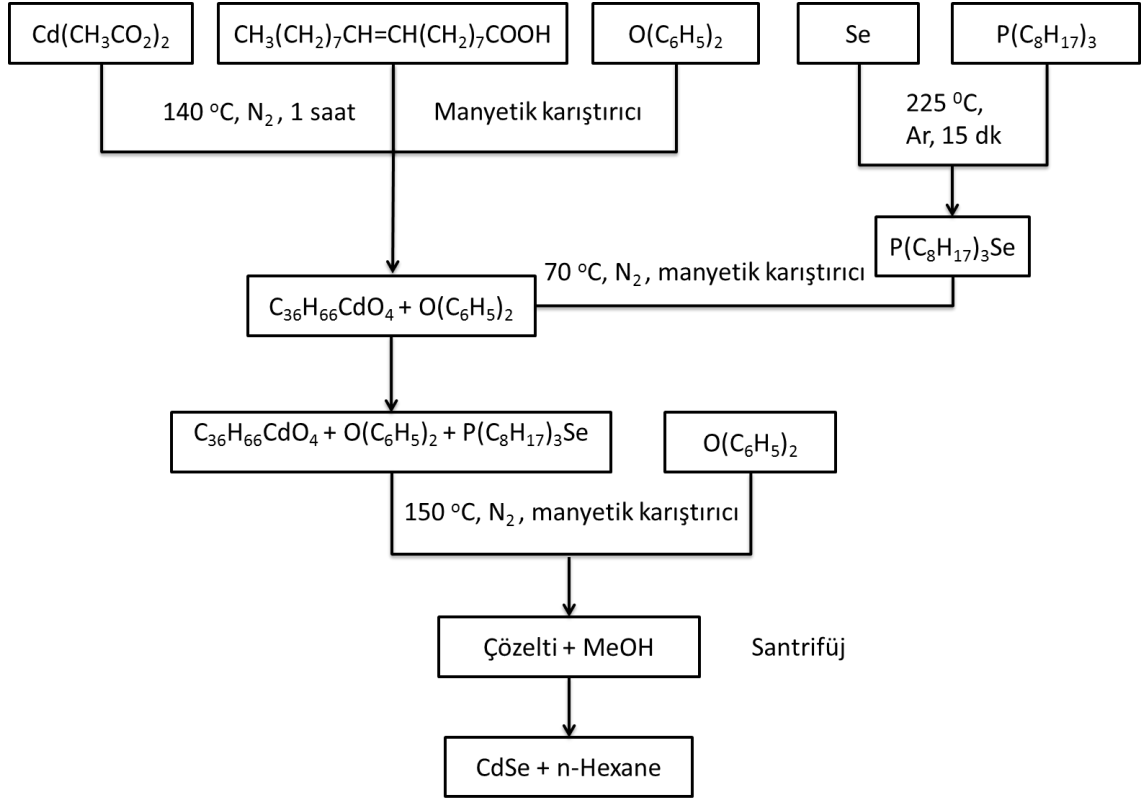
CdSe nanokristallerin koloidal kimya ile sentezi kolay ve düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmesi açısından tercih edilen bir yöntem olmuştur. Koloidal metodu, *organometalik öncü* yöntemi ile *Murray ve diğerleri* [15] tarafından geliştirildiğinden beri *Peng ve diğerleri* [16] ve *Talapin ve diğerleri* [17] tarafından yapılan katkılarla etkin bir metot haline gelmiştir. Yukarıda isimleri geçen grupların sentez aşamasında TOP (trioctylphosphine) ve TOPO (trioctylphosphine oxide) kullanmaları nedeniyle *Deng ve diğerleri* [18] ve *Ye ve diğerleri* [19] bu yöntemi *TOP-tabanlı* yöntem olarak isimlendirmiştir. Ancak, *TOP-tabanlı* yöntemde kullanılan dimetilkadmium ($[Me_2Cd]$), bis(trimethylsilyl)selenyum ($[(TMS)_2Se]$), TOP (trioctylphosphine) ve TOPO (trioctylphosphine oxide) gibi malzemelerin tehlikeli ve atmosfer ortamında stabil olmaması nedeniyle yüksek derecede güvenlik önlemi altında *glove-box* veya *schlenk-line* ve benzeri komplike kimya laboratuvarı ekipmanları gerekmektedir. Bunun üzerine, çeşitli bir çok grup tarafından, görece daha güvenli ve stabil malzemeler kullanılarak, CdSe nanokristallerin sentezlenmesi için yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, *TOP-tabanlı* yönteme göre daha kolay ve daha az tehlikeli olan yöntemler tercih edilmiştir. Bunlardan biri olan *He ve Gu* [20] tarafından geliştirilen (metot-1) yöntemdir. Bu yöntemde fenil eter *koordinasyona girmeyen çözücü* olarak kullanılmıştır. Fenil eter, düşük erime noktası ($28^{\circ}C$) ve yüksek kaynama noktasına

(259°C) sahip olması, düşük maliyet, düşük toksiteye sahip olması, *öncü* metaller ile düşük tepkime oranına sahip olması sebebiyle yüksek kalitede nanokristal sentezi için ideal bir çözücüdür. Bu yöntemde, kadmiyum *öncüsü* olarak kadmiyum asetat ($\text{Cd}(\text{CH}_2\text{COO})_2$), selenyum *öncüsü* olarak TOPSe kullanılmaktadır. Bu yöntemde, oleik asit, *ligand* olarak kullanılarak CdSe nanokristaller sentezlenmiştir.

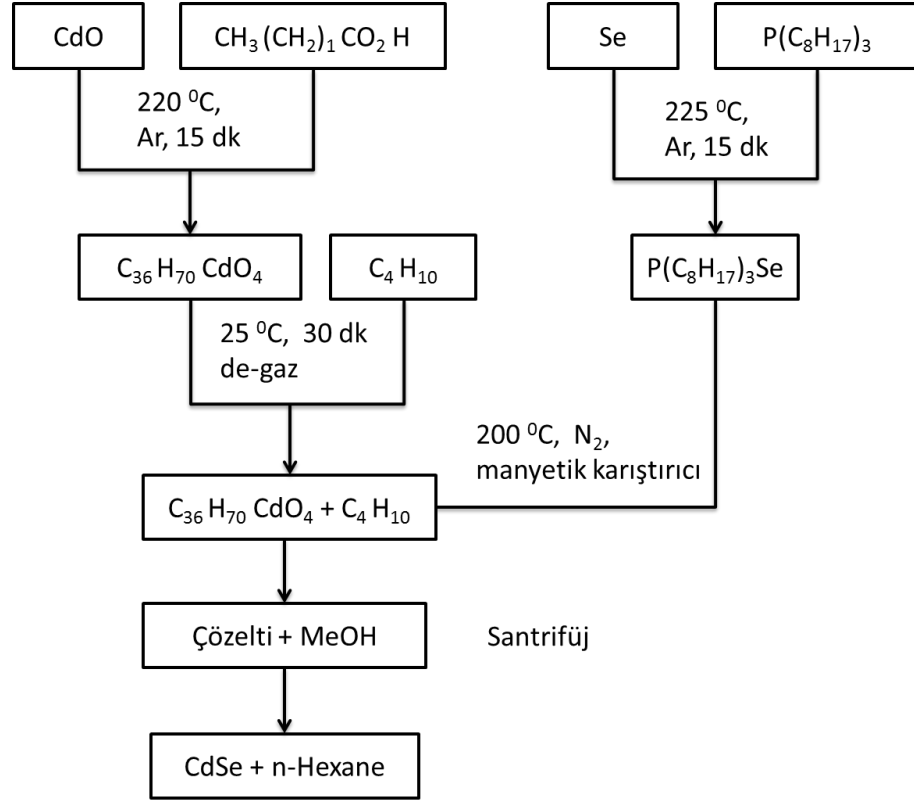
Tipik olarak, yağ banyosundaki 3 boyunlu balon içerisinde 1 mmol kadmiyum asetat ve 1 mmol oleik asit, 4 ml fenil eter içinde çözdürülür. Karışım azot gazı akışı altında ısıtıcıly manyetik karıştırıcıda 140°C'de 1 saat karıştırılır ve daha sonra, 70°C'ye soğutulur. Aynı zamanda, 1 mmol selenyum 2 ml TOP içerisinde 225°C'de argon gazı altında 15 dakika bekletilerek TOPSe çözeltisi hazırlanır. Daha sonra, TOPSe 70°C'ye soğutulan kadmiyum asetat, oleik asit ve fenil eter çözeltisine eklenir. Bu karışım, N₂ akışı altında manyetik karıştırıcıda 150°C'ye ısıtılmış olan 10 ml fenil eter içerisine eklenir ve farklı zaman aralıklarında örnekler karışımdan alınarak CdSe nanokristallerin büyümesi gözlenir. Farklı reaksiyon sıcaklıkları seçilerek CdSe nanokristallerin büyüme süreci ayrıca gözlemlenir. Bu yöntemde ait sentez şeması Şekil.3.3'de verilmiştir.

Diğer yöntem ise, *Zhu ve diğerleri* [21] tarafından geliştirilen, sıvı parafinin solvent olarak kullanıldığı yöntemdir (metot-2). Bu yöntemde, oda sıcaklığında sıvı olan, renksiz, zararsız, ucuz ve 300°C üzerinde kaynama sıcaklığı olan parafin kullanılmıştır. Kadmiyum stearate ve selenyum elementi, kadmiyum ve selenyum kaynağı olarak kullanılarak CdSe nanokristaller sentezlenmiştir.



Şekil 3.3 : CdSe nanokristallerin metot-1 ile sentez şeması.

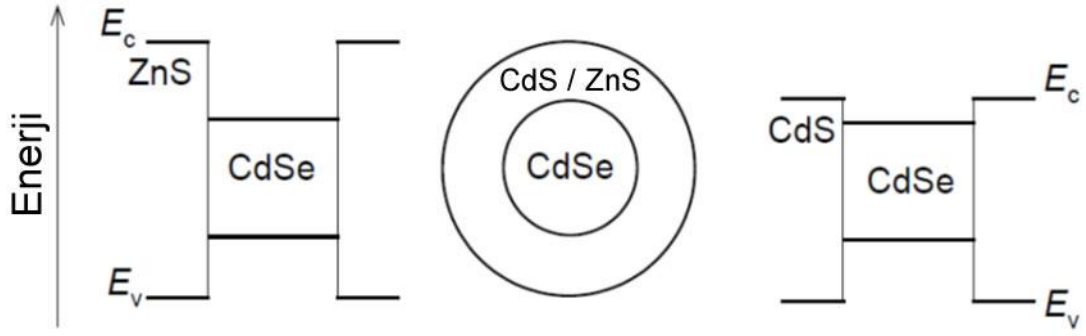
Bu çalışmada, *Zhu ve diğerleri*'nin yönteminden farklı olarak TOPSe selenyum kaynağı olarak kullanılmıştır. Tipik olarak, 1mmol kadmiyum oksit ve 2 mmol stearik asit, argon gazı altında 220°C sıcaklıkta 15 dakika atmosfer kontrollü fırında bekletilerek kadmiyum stearate hazırlanır. Kadmiyum stearate toluene içerisinde çözülüp oda sıcaklığında kristalize edilir. Daha sonra, yağ banyosundaki 3 boyunlu balon içinde 0,2 mmol kadmiyum stearete ve 16 ml sıvı parafin 25°C'de 30 dakika degaze edilir. Aynı zamanda, 0,1 mmol selenyum, 2 ml TOP içerisinde 225°C'de argon gazı altında 15 dakika bekletilerek TOPSe çözeltisi hazırlanır. Daha sonra, kadmiyum stearete ve parafin karışımı N₂ akışı altında ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 200°C'ye ısıtılır ve bu sıcaklıkta TOPSe karışımı eklenir. Ekleme sonrası, sıcaklık 190°C'ye ayarlanır ve karışım bu değerinde tutulur. CdSe nanokristallerin büyüme sürecini gözlemlemek amacıyla farklı zaman aralıklarında örnekler alınır. 10 dk sonra 3 ml olilamin damla damla olarak karışıma eklenir. Bu yöntemle ait sentez şeması Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : CdSe nanokristallerin metot-2 ile sentez şeması.

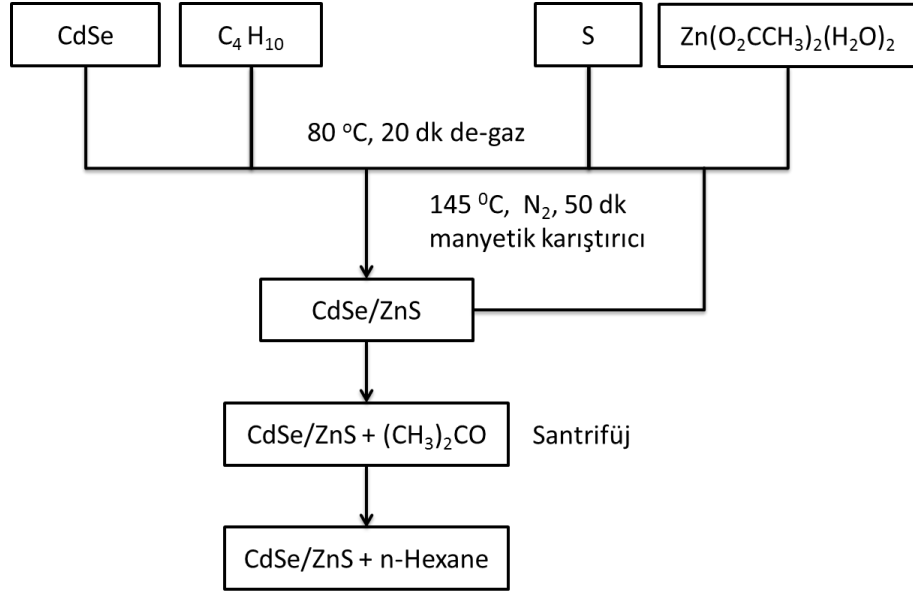
3.2.2 CdSe/ZnS çekirdek/kabuk Yapıdaki Nanokristallerin Sentezi

Yarıiletken kuantum noktalarının yüksek fotoişıma verimi özellikle bu kuantum noktalarının ışıma yapan malzeme olarak kullanımında istenilen bir özelliktir. Bu amaçla, nanokristallerin büyük bant aralığına sahip inorganik malzemeler ile kaplanması, ışıma yapmayan yüzeylerin pasifleştirilmesiyle, kuantum noktalarının fotoişıma veriminin artırılması bugüne kadar yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Şekil 3.5). Genellikle, CdSe kuantum noktaları ZnS kabuk ile kaplanarak daha yüksek fotoişıma verimleri elde edilmiştir. *Hines ve Guyot-Sionnest* [14] tarafından geliştirilen *TOP-tabanlı* yöntem ile CdSe kuantum noktaları ZnS ile kaplanarak, ışıma yapan seviyeler için fotoişıma verimi artırılmıştır.



Şekil 3.5 : CdSe/CdS ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk nanokristallerin bant yapısının şematik gösterimi [11].

Bu çalışmada, *Zhu ve diğerleri* [21] tarafından geliştirilen yöntem ile CdSe kabuk yapıdaki kuantum noktaları ZnS çekirdek yapı ile kaplanmıştır. Tipik olarak, metot-2 ile sentezlenen (10 dakika) ve herhangi bir işleme tabi tutulmayan CdSe nanokristal çözeltisine 0,17 mmol çinko asetat dihidrat ve 0,17 mmol sülfür eklenir. Çözelti hacmi sıvı parafin eklenerek 15 ml olarak sabitlenir. Isıtıcıli manyetik karıştırıcıda, 80 °C sıcaklıkta 20 dakika boyunca degaze edilir. Daha sonra azot gazı akışı altında sıcaklık 145 °C'ye çıkartılır ve 50 dakika sonunda karışım oda sıcaklığına soğutulur. Daha kalın ZnS kabuk yapı elde etmek için, yukarıdaki miktarlarda çinko ve sülfür eklenerek aynı işlemler tekrarlanır. Son olarak, CdSe/ZnS nanokristaller aseton ile yıkanarak n-hexane içinde çözdürülür. Bu yöntemle ait sentez şeması Şekil 3.6'da verilmiştir.

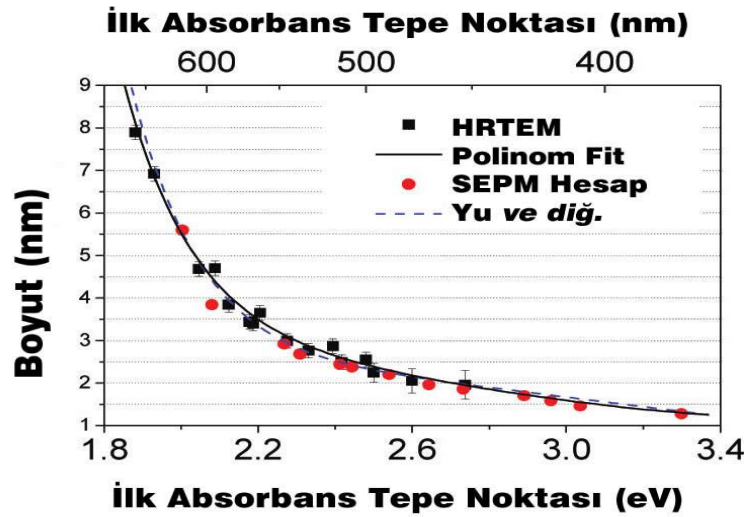


Şekil 3.6 : CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki nanokristallerin sentez şeması.

3.3 CdSe ve CdSe/ZnS NANOKRİSTALLERİN KARAKTERİZASYONU

3.3.1 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Yapısal Karakterizasyonu

CdSe kuantum noktalarının boyutları, taramalı elektron mikroskop (TEM) görüntüleri ile ya da boyut eğrileri ile belirlenebilir [15, 22,23,24,31].



Şekil 3.7 : CdSe kuantum noktalarına ait boyut eğrisi [31].

Boyut eğrileri, ilk ışıma yapan eksiton absorpsiyon tepe noktası ile aşağıdaki Denklem 3.1'deki bağıntı ile hesaplanabilmektedir [31].

$$D = (1,62974 \times 10^{-9})\lambda^4 - (2,85743 \times 10^{-6})\lambda^3 + (1,8873 \times 10^{-3})\lambda^2 - (0,54736) \lambda + (59,60816) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de, D nanokristallerin boyutu, λ absorpsiyon tepe noktasındaki dalgaboyudur.

Ayrıca, nanokristallerin kristal yapıları, XRD tekniği ile incelenebilir. Bu çalışmada, sentezlenen CdSe nanokristaller, İstanbul Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü İnce Film Laboratuvarı'nda bulunan GBC MMA XRD (Cu K α , 1,543 Å, 35 kV, 1kW) cihazı ile incelenmiştir.

3.3.2 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Optik Karakterizasyonu

3.3.2.1 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Optik Karakterizasyonu

Fenil eter (metot-1) ve sıvı parafin (metot-2) kullanılarak sentezlenen CdSe çekirdek ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktalarının fotoışıma şiddetleri, Agilent Technologies Cary Eclipse floresans spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Kuantum noktalarının absorpsiyon spektrumları, Shimadzu UV-3600 UV-VIS-NIR spektrofotometre ile tespit edilmiştir.

3.3.2.2 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Fotoışıma Kuantum Veriminin Tayini

Fotoışıma kuantum veriminin tayini, ışımı yapan malzemelerin kalitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Fotoışıma kuantum verimi;

$$\Phi_f = \frac{N_{em}(\lambda_{ex})}{N_{abs}(\lambda_{ex})} \quad (3.2)$$

ışıma yapan foton sayısının ($N_{em}(\lambda_{ex})$), absorbe edilen foton sayısına ($N_{abs}(\lambda_{ex})$), oranıdır [25]. CdSe çekirdek ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktalarının fotoışıma kuantum verimleri çeşitli floresans malzemeler standart olarak kullanılarak göreceli olarak hesaplanabilmektedir. Göreceli fotoışıma kuantum verimi;

$$\Phi = \Phi_s \left(\frac{I}{I_s} \right) \left(\frac{A_s}{A} \right) \left(\frac{n^2}{n_s^2} \right) \quad (3.3)$$

burada, I ve I_s örnek ve standart malzemenin fotoışıma spektrumunun altında kalan alanın toplamı, A ve A_s örneğin ve standartın uyarma dalga boyundaki absorpsiyon değeri, n ve n_s örnek ve standart örneğin içinde bulunduğu çözücü malzemin kırılma indisidir [21]. Bu çalışmada CdSe çekirdek ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktalarının fotoışıma şiddetlerinin, Rodamin-101 florasans malzemesine göre kuantum verimleri hesaplanmıştır.

3.4 PLEKSİGLAS – CdSe/ZnS İNCE FİLMLELER

3.4.1 Pleksiglas – CdSe/ZnS İnce Filmlerinin Hazırlanması

Döndürme kaplama (spin coating) polimer malzemelerin kaplanması için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Özellikle, organik LED'lerin ve fotovoltaiik hücrelerin kaplanmasında 200 nm altındaki kalınlıklar tercih edilmektedir. Bu kalınlıktaki kaplamalar polimerlerin seyreltik çözeltileri ile gerçekleştirilmektedir [26]. Görünür dalga boylarında transparan olması ve uniform tabakalar oluşturması sebebiyle akrilik (PMMA - Poly (methylmethacrylate)), bir çok opto-elektronik uygulamalarda taşıyıcı matris olarak kullanılır. Akrilik malzemelerin ince film ile kaplama tekniğinde, film tabakasının kalınlığı, açılal hız, çözeltilinin konsantrasyonu ve viskozitesi ve kullanılan çözücünün buharlaşma hızına bağlıdır. Film kalınlığını tahmin etmeye yarayan denklem [26, 27];

$$h = Kc\omega^{-\alpha} \quad (3.4)$$

denklemdede, α sabit, K değişkeni çözücü malzemeye bağımlı, ω açılal hız ve c polimerin, çözücü içinde ağırlık yüzdesidir. Denklem 3.4 kloroform ve akrilik için;

$$h = Kc\omega^{-\alpha} = 4,3c^{1,33}\omega^{-0,5} \quad (3.5)$$

olarak verilir [26].

Bu çalışmada, ticari pleksiglass (akrilik) malzeme, CdSe/ZnS nanokristallerin, Silisyum güneş hücrelerin üzerine kaplanması amacıyla taşıyıcı matris olarak kullanılmıştır. Akrilik malzeme kloroform içerisinde % 8 ağırlık oranında, ultrasonik banyo içerisinde 30 °C'de 1 saat çözülmeye bırakılmıştır. Daha sonra, kloroform içerisinde çözülmüş olan CdSe/ZnS nanokristaller bu çözeltiye katılarak farklı konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltiler, döndürme kaplama ile farklı hızlarda silisyum güneş hücrelerinin üzerine kaplanmıştır. Daha sonra, bu filmlerin yüzey morfolojisi, laboratuvarımızda bulunan atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve profilometre incelenmiştir.

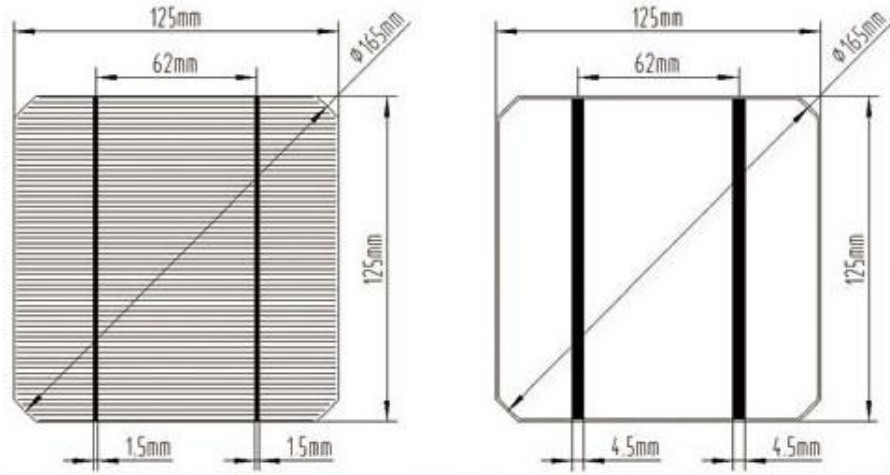
3.5 SİLİSYUM GÜNEŞ HÜCRELERİ VE KARAKTERİZASYONU

Güneş hücreleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler ise kristal silisyum, galyum arsenik (GaAs), amorf silisyum, kadmiyum tellürid (CdTe) ve bakır indiyum diseleniddir (CuInSe₂). Güneş pillerinin verimleri kullanılan malzemelere göre farklılık göstermektedir.

3.5.1 Silisyum Güneş Hücrelerinin Fiziksel Özellikleri

Bu çalışmada, ticari tek kristal silisyum (monocrystalline silicon) güneş hücreleri tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan güneş pillerinin fiziksel boyutları Şekil 3.8'te verilmiştir.

Tek kristal Silisyum güneş hücresinin fiziksel özellikleri özet olarak Tablo 3.1'de verilmiştir. 125 X 125 mm boyutlarındaki güneş hücresi 6 eşit parçaya bölünerek bu çalışmada kullanılmıştır.



Şekil 3.8 : Tek kristal Silisyum güneş hücresinin fiziksel boyutları.

Tablo 3.1 : Tek kristal Silisyum güneş hücresinin fiziksel özellikleri.

Ölçüler	125 mm x 125 mm \pm 0.5 mm (5 inch)
Çap	\varnothing 150 mm \pm 1 mm
Kalınlık	220 μ m \pm 20 μ m
Ön Tabaka	1.5 mm bara (gümüş), Mavi Silisyum nitrit anti yansıtma kaplama
Arka Tabaka	4.5 mm lehimlenmiş koruyucu tabaka (gümüş/alüminyum)

3.5.2 Silisyum Güneş Hücrelerinin Elektriksel Özellikleri

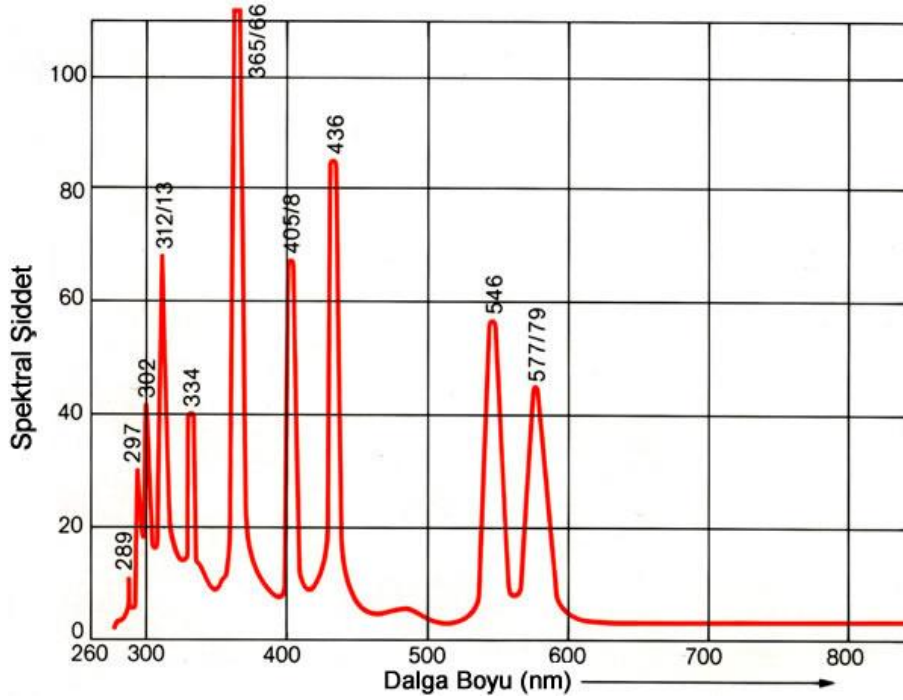
Çalışmada kullanılan 125 X 125 mm boyutlarındaki güneş hücresinin elektriksel özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 : Tek kristal Silisyum güneş hücresinin elektriksel özellikleri.

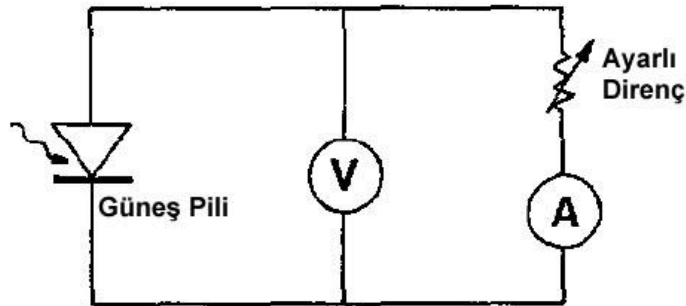
Verim	% 17,70 – 17,90
Güç	2,754 Wp
Maks.Güç Akımı	5,257 A
Maks.Güç Voltajı	0,524 V
Kısa Devre Akımı	5,559 A
Açık Devre Voltajı	0,625 V

3.5.3 Silisyum Güneş Hücrelerinin Karakterizasyonu

CdSe/ZnS nanokristal içeren akrilik kaplı ve kaplamasız güneş hücrelerinin I-V karakteristiği ve kısa devre akım spektrumu 100 W civa lambası (HBO) ile tespit edilmiştir. HBO 100 W civa lambasının spektrumu Şekil 3.9’da verilmiştir.

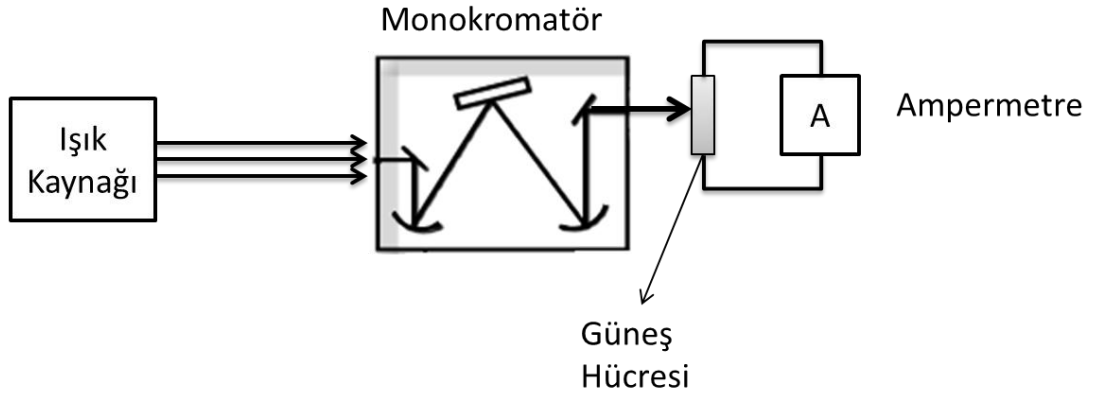


Şekil 3.9 : HBO civa lambasının karakteristik spektrumu.



Şekil 3.10 : Güneş hücrelerinin I-V karakteristiğinin belirlenmesi için gerekli düzeneğin şematik gösterimi.

Güneş hücrelerinin I-V karakteristiğini belirlemek için, ayarlı direnç ile direnç değerleri değiştirilerek gerilim ve akım değerleri okunmuştur. Işık kaynağı olarak HBO 100 W yüksek basınç civa lambası kullanılmıştır. Güneş hücrelerinin I-V karakteristiğinin belirlenmesi için gerekli düzeneğin şematik gösterimi Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.11 : Güneş hücrelerinin açık devre akım spektrumunu tespit için kullanılan düzeneğin şematik gösterimi.

Güneş hücrelerinin kısa devre akım (I_{SC}) spektrumu, HBO 100 W yüksek basınç civa lambası ile tetkik edilmiştir. Spektrum, 200 ile 600 nm dalga boyunda 10 nm adımlar ile kaydedilmiştir. Güneş hücrelerinin açık devre akım spektrumunu tespit için kullanılan düzeneğin şematik gösterimi Şekil 3.11’de verilmiştir.

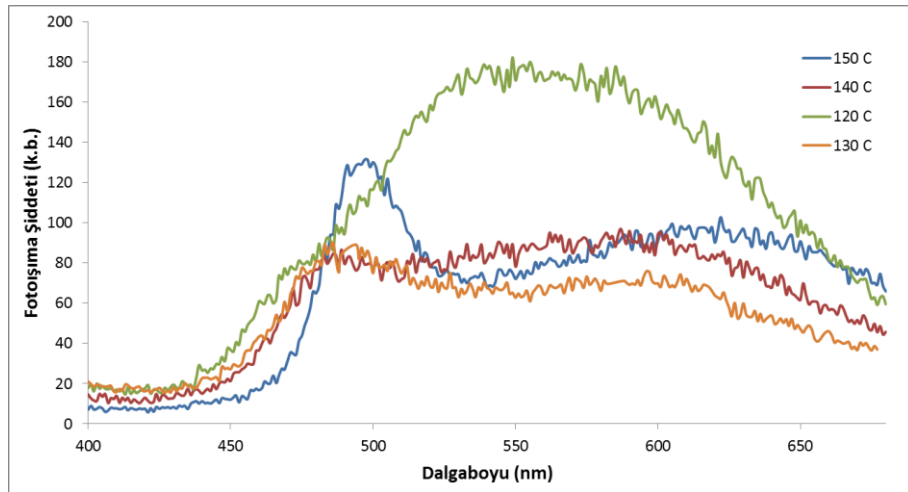
4. BULGULAR

4.1 CdSe ve CdSe/ZnS NANOKRİSTALLERİN OPTİK ÖZELLİKLERİ

Fenil eter (metot-1) ve sıvı parafin (metot-2) kullanılarak sentezlenen CdSe çekirdek ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktalarının fotoışıma şiddetleri, Agilent Technologies Cary Eclipse floresans spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Nanokristallerin fotoışıma spektrumları, oda sıcaklığında, 10 mm kuvars küvet içerisinde uygun bir solvent (hegzan, kloroform, tolüen) kullanılarak saptanmıştır. Nanokristallerin fotoışıma sinyalleri, 325 nm dalgaboyunda uyarım ile 400 – 700 nm arasındaki bölgede yaptıkları fotoışıma taranarak elde edilmiştir. Kuantum noktalarının absorbans spektrumları, Shimadzu UV-3600 UV-VIS-NIR spektrofotometre ile tespit edilmiştir.

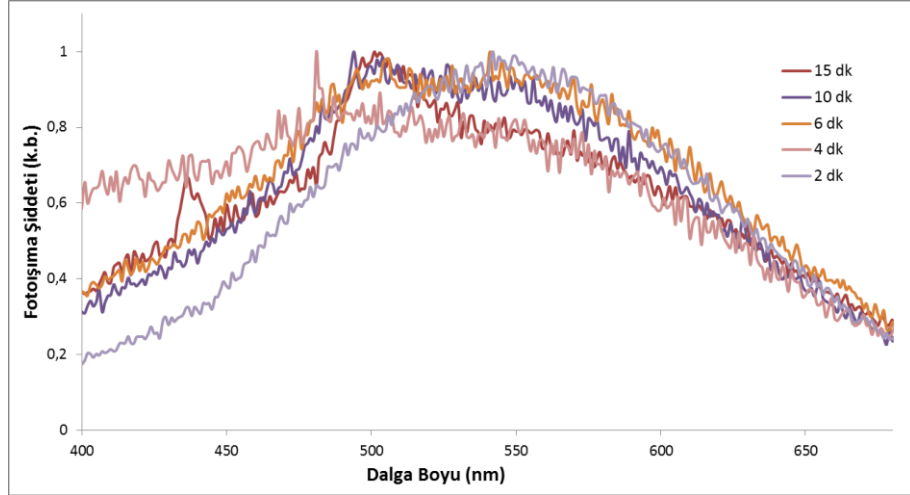
4.1.1 CdSe Çekirdek Yapıdaki Nanokristallerin Optik Özellikleri

Metot-1 ile sentezlenen CdSe çekirdek yapıdaki kuantum noktalarının fotoışıma ve absorbans spektrumları Şekil 4.1 - 4.6'da verilmiştir.

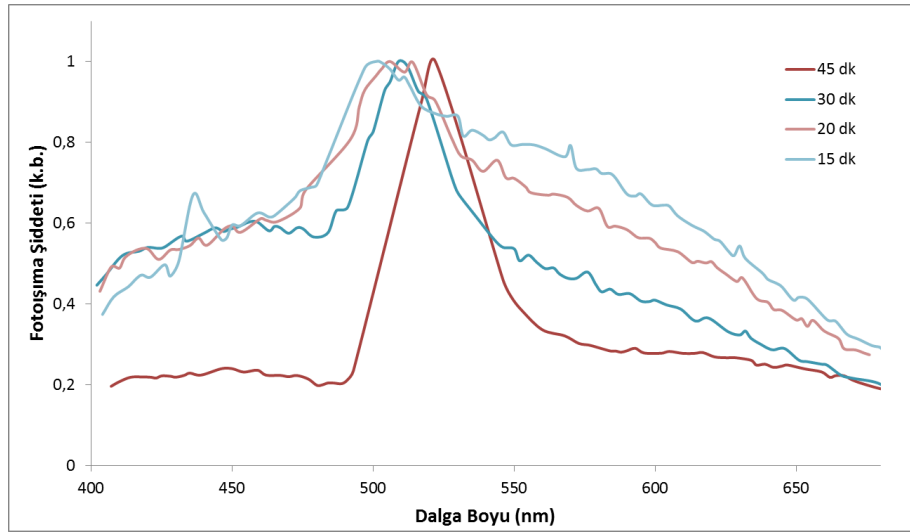


Şekil 4.1 : Farklı sıcaklıklarda 1 dakika süre ile metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin fotoışıma şiddetleri.

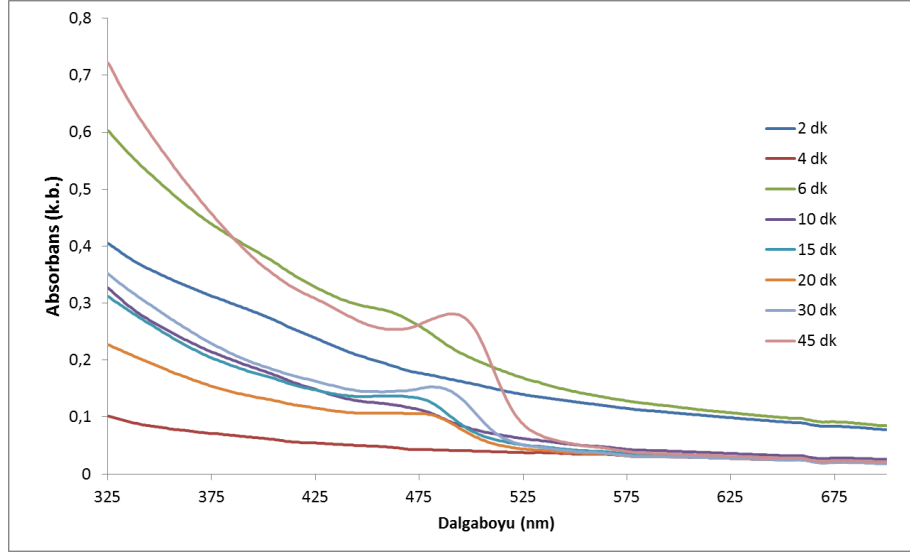
Şekil 4.1 ve 4.2’de görülebileceği üzere, farklı sıcaklıklarda 1 dakika süre ile ve 140 °C sıcaklıkta 2 – 15 dakika süre ile sentezlenen CdSe kuantum noktaları, bütün görünür dalgaboyundaki bölgeyi kapsayacak şekilde fotoışıma yapmaktadır. Bu özellik, “*sihirli-boyut*” (magic-size) olarak isimlendirilen kuantum noktalarının tipik özelliğidir [28, 29].



Şekil 4.2 : 140 °C sıcaklıkta metot-1 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin normalize fotoışıma spektrumu.



Şekil 4.3 : 140 °C sıcaklıkta farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin normalize fotoışıma spektrumu.



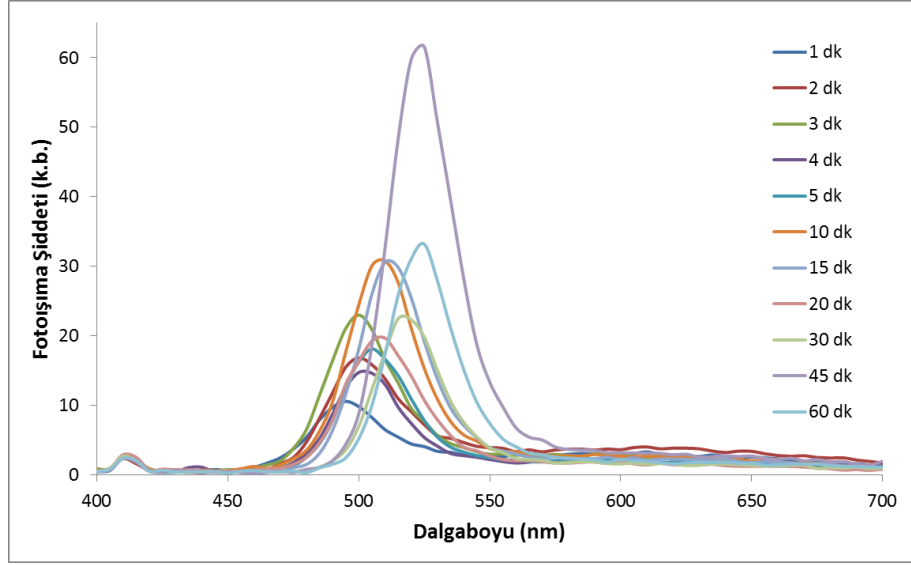
Şekil 4.4 : 140 °C sıcaklıkta farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin normalize absorbans spektrumu.

Tablo 4.1 : 140 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans, fotoışıma tepe noktaları ve fotoışıma yarı yükseklikteki tam genişlik (FWHM) değerleri.

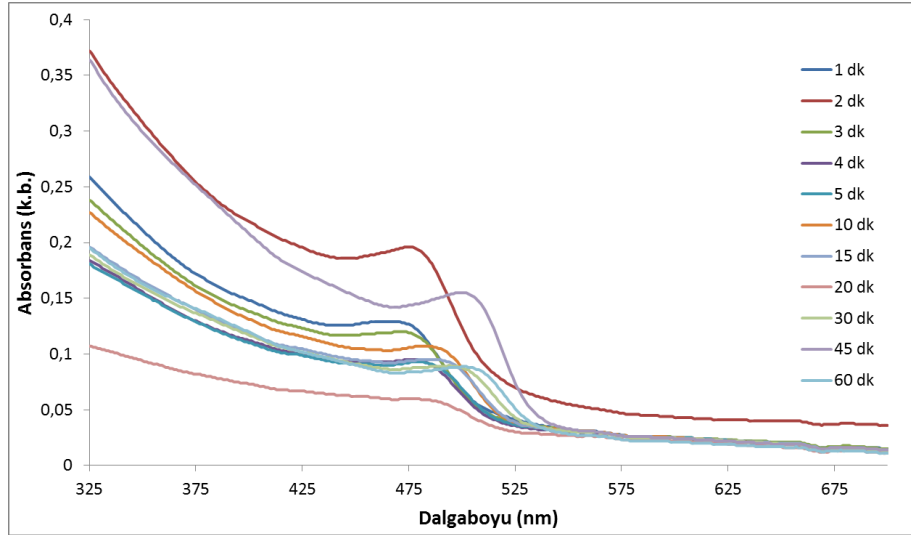
Reaksiyon Süresi (dk)	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Fotoışıma Tepe Noktası (nm)	FWHM (nm)
2	452	550	165
4	455	500	313
6	458	535	203
10	462	535	172
15	464	540	185
20	475	505	140
30	482	512	140
45	491	522	30

140°C sıcaklıkta, farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallere ait absorbans, fotoışıma şiddetine ait tepe değerlerini ve fotoışıma FWHM gösteren değerler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1’de görülebileceği üzere, fotoışıma FWHM değerleri beklenenden daha fazla elde edilmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3 gözönüne alınırsa, elde edilen bu değerler fotoışıma spektrumlarının tam olarak *Gaussian* bir şekle sahip olmamasından dolayı beklenenden daha fazla olmasına yol açmıştır.



Şekil 4.5 : 150 °C sıcaklıkta farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin fotoışıma spektrumu.



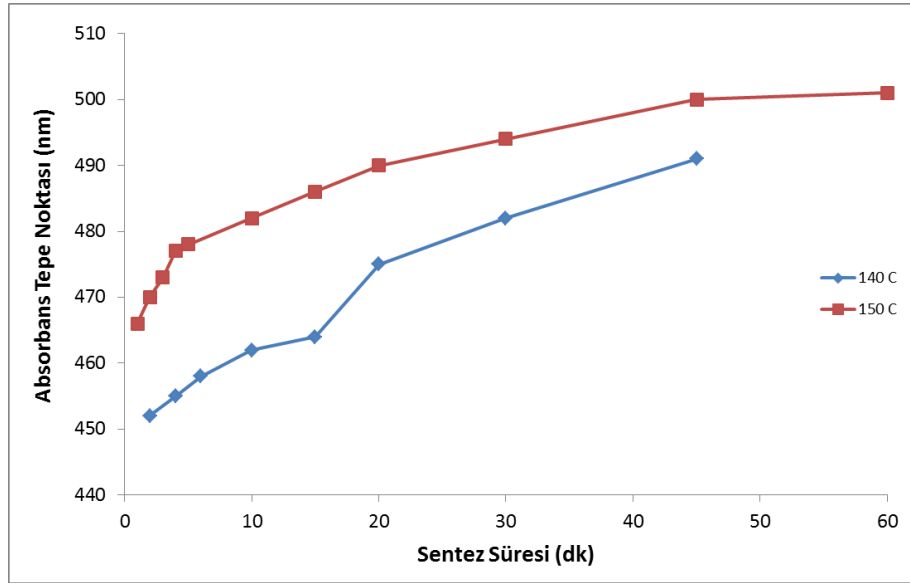
Şekil 4.6 : 150 °C sıcaklıkta farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin absorban spektrumu.

150°C sıcaklıkta, farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallere ait absorban, fotoışıma şiddetine ait tepe değerlerini ve ve fotoışıma FWHM gösteren değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 : 150°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbands, fotoişma tepe noktaları ve fotoişma FWHM değerleri.

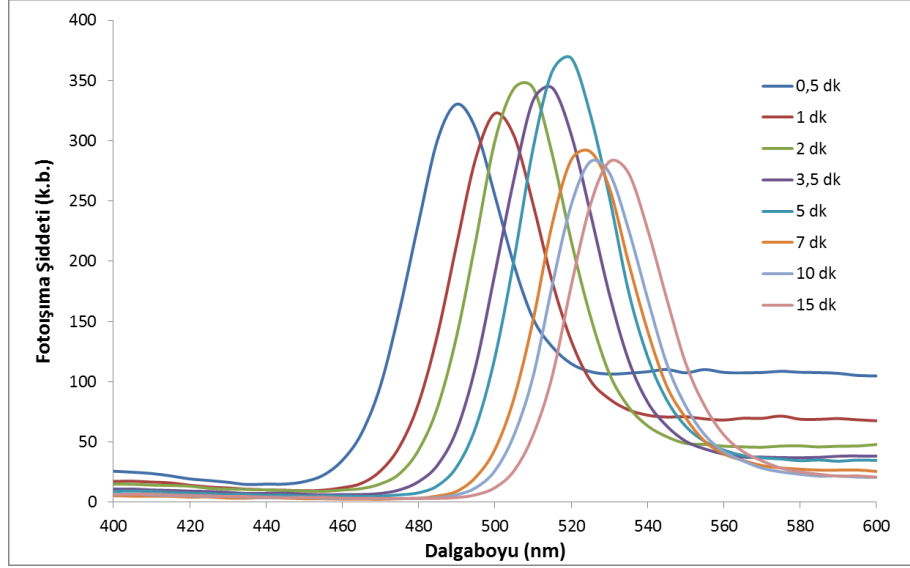
Reaksiyon Süresi (dk)	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Fotoişma Tepe Noktası (nm)	FWHM (nm)
1	466	496	30
2	470	502	31
3	473	506	31
4	477	510	30
5	478	511	30
10	482	514	30
15	486	519	30
20	490	523	33
30	494	526	30
45	500	530	30
60	501	531	30

140°C ve 150°C sıcaklıkta, farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallere ait ilk eksitonik absorbands tepe noktalarının sentez süresine göre değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir.

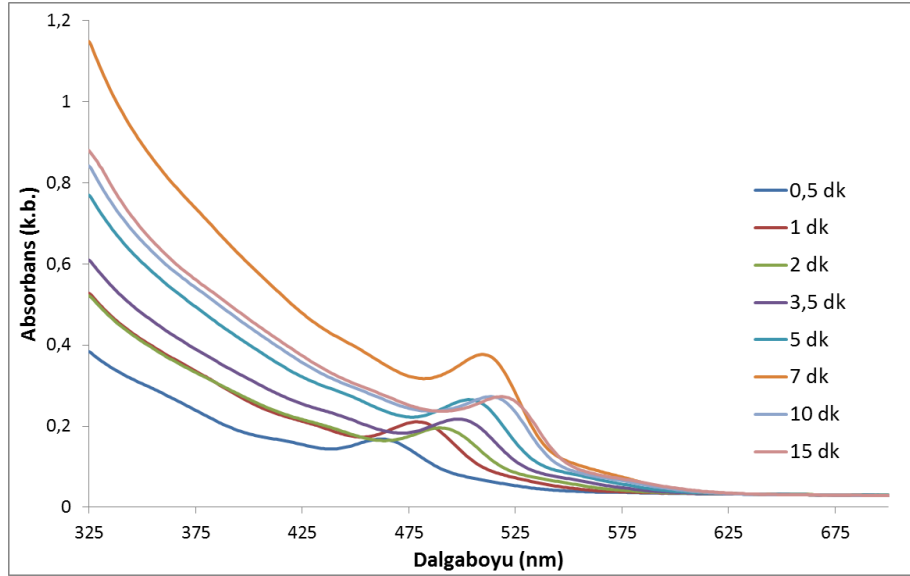


Şekil 4.7 : 140 °C ve 150 °C sıcaklıkta metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbands tepe noktalarının sentez süresine göre değişimi.

Metot-2 ile sentezlenen CdSe çekirdek yapıdaki kuantum noktalarının fotoışıma ve absorbands spektrumları Şekil 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : 180°C sıcaklıkta metot-2 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin fotoışıma spektrumu.

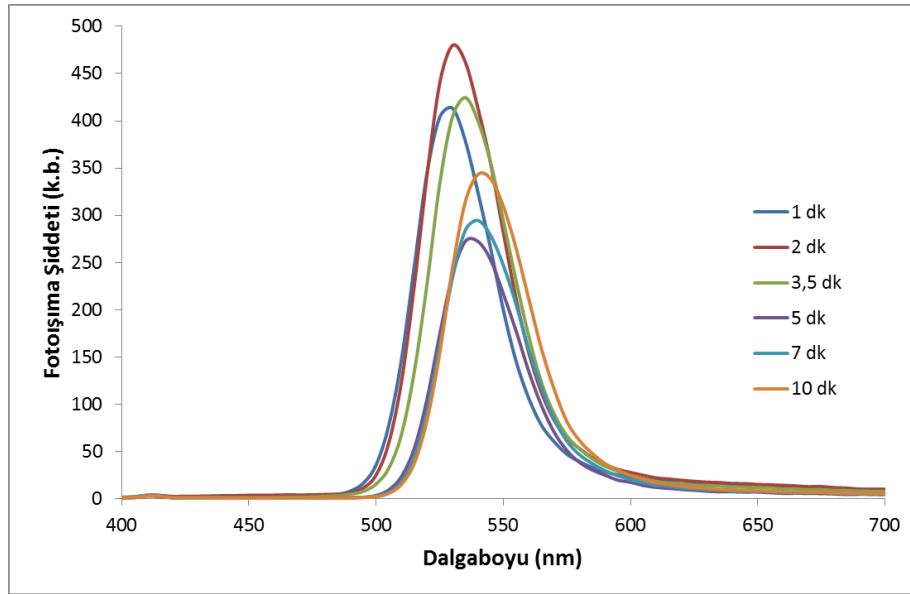


Şekil 4.9 : 180°C sıcaklıkta metot-2 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbands spektrumu.

180°C sıcaklıkta, farklı sürelerde metot-2 ile sentezlenen CdSe nanokristallere ait absorbands, fotoışıma şiddetine ait tepe değerlerini ve ve fotoışıma FWHM gösteren değerler Tablo 4.3’de verilmiştir.

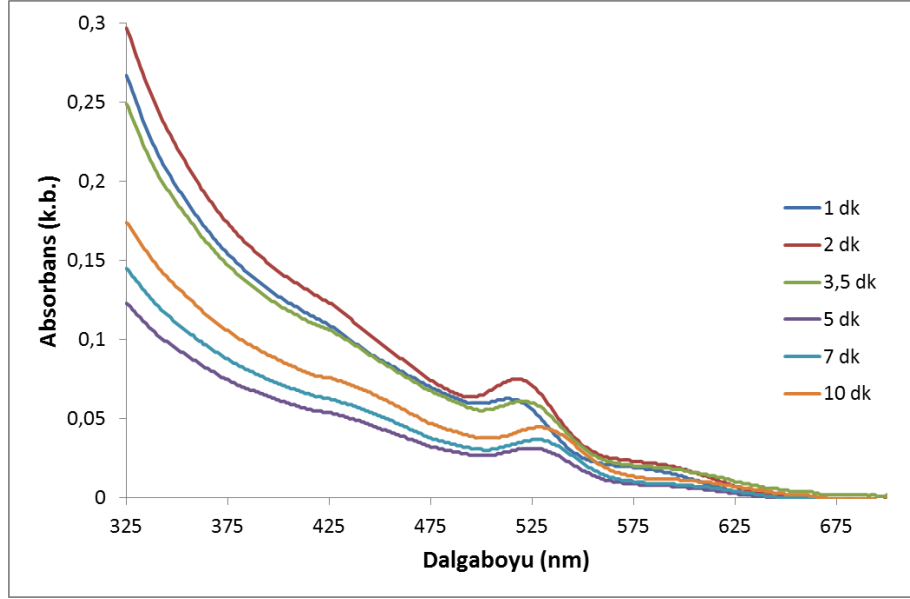
Tablo 4.3 : 180°C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorpsiyon, fotoişma tepe noktaları ve fotoişma FWHM değerleri.

Reaksiyon Süresi (dk)	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Fotoişma Tepe Noktası (nm)	Yarı Y. Tam Genişlik (nm)
0,5	462	490	32
1	478	500	34
2	490	507	36
3,5	498	514	33
5	503	518	34
7	510	523	36
10	515	526	37
15	519	530	36



Şekil 4.10 : 190°C sıcaklıkta metot-2 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin fotoişma spektrumu.

Şekil 4.10'da görebileceği üzere, reaksiyon süresi arttıkça nano kristallerin fotoişma tepe noktası kırmızıya doğru kaymaktadır. Kuantum boyut etkisi gözönüne alındığında, reaksiyon süresinin artmasıyla nano kristallerin fiziksel boyutlarının artması ve buna bağlı olarak fotoişma tepe noktalarının beklendiği gibi kırmızıya doğru kaydığı gözlenmiştir.



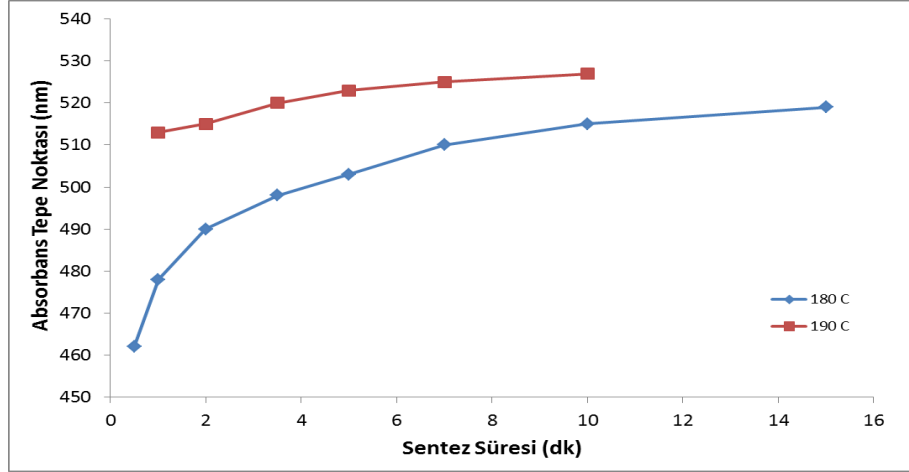
Şekil 4.11 : 190 °C sıcaklıkta metot-2 ile farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans spektrumu.

190°C sıcaklıkta, farklı sürelerde metot-2 ile sentezlenen CdSe nanokristallere ait absorbans, fotoişıma şiddetine ait tepe değerlerini ve fotoişıma FWHM gösteren değerler Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 : 190 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans, fotoişıma tepe noktaları ve fotoişıma yarı yükseklikteki tam genişlik (FWHM) değerleri.

Reaksiyon Süresi (dk)	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Fotoişıma Tepe Noktası (nm)	Yarı Y. Tam Genişlik (nm)
1	513	525	36
2	515	527	37
3,5	520	532	37
5	523	534	37
7	525	537	37
10	527	539	37

180°C ve 190°C sıcaklıkta, farklı sürelerde metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallere ait ilk eksitonik absorbans tepe noktalarının sentez süresine göre değişimi Şekil 4.12’de verilmiştir.

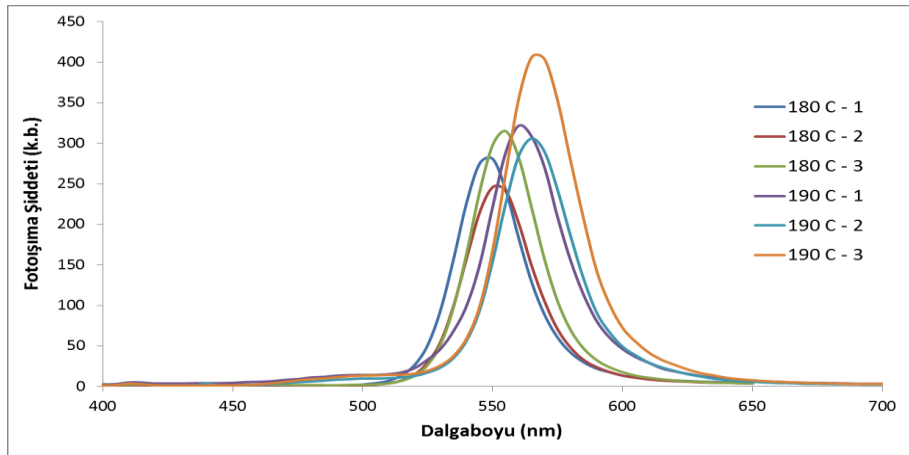


Şekil 4.12 : 180 °C ve 190 °C sıcaklıkta metot-2 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin absorbans tepe noktalarının sentez süresine göre değişimi.

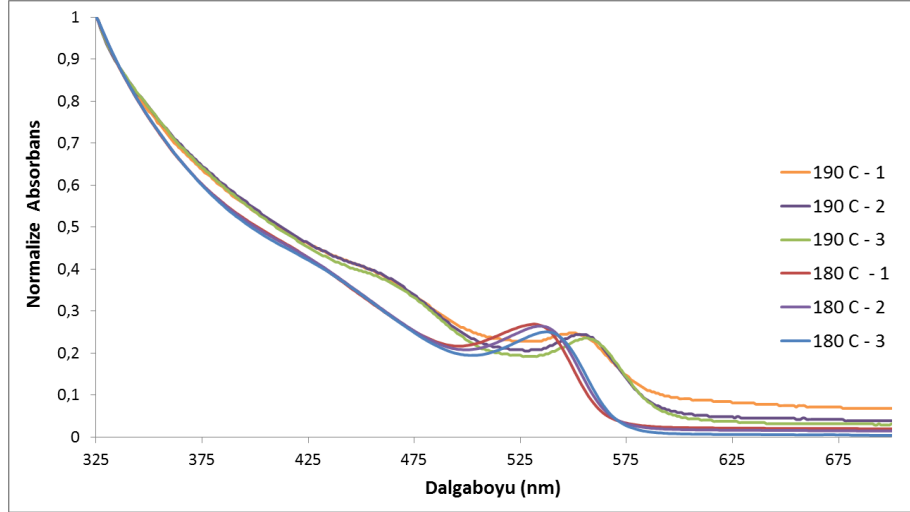
Şekil 4.7 ve 4.12’de verilen sentez süresine göre *ilk eksitonik absorbans tepe noktasının* değişimi grafiklerinde, ilk anlarda absorbans tepe noktalarında görülen değişim, sentez süresinin artmasıyla azalmaktadır.

4.1.2 CdSe/ZnS Çekirdek/Kabuk Yapıdaki Nanokristallerin Optik Özellikleri

Sıvı parafin (metot-2) kullanılarak sentezlenen CdSe çekirdek yapıdaki nanokristaller, fotoişıma kuantum verimini arttırmak amacıyla ZnS kabuk ile kaplanmıştır. Şekil 3.6’da verilen sentez şeması ile CdSe kuantum noktalarının ZnS kabuk kaplama işlemi sırasında her bir çevrim süresi 50 dakika olarak sabit tutulmuştur. CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktalarının fotoişıma ve absorbans spektrumları Şekil 4.13 ve 4.14’te verilmiştir.



Şekil 4.13 : Farklı çevrim sayısı ile sentezlenen CdSe/ZnS nanokristallerin fotoişıma spektrumu.



Şekil 4.14 : Farklı çevrim sayısı ile sentezlenen CdSe/ZnS nanokristallerin absorbanans spektrumu.

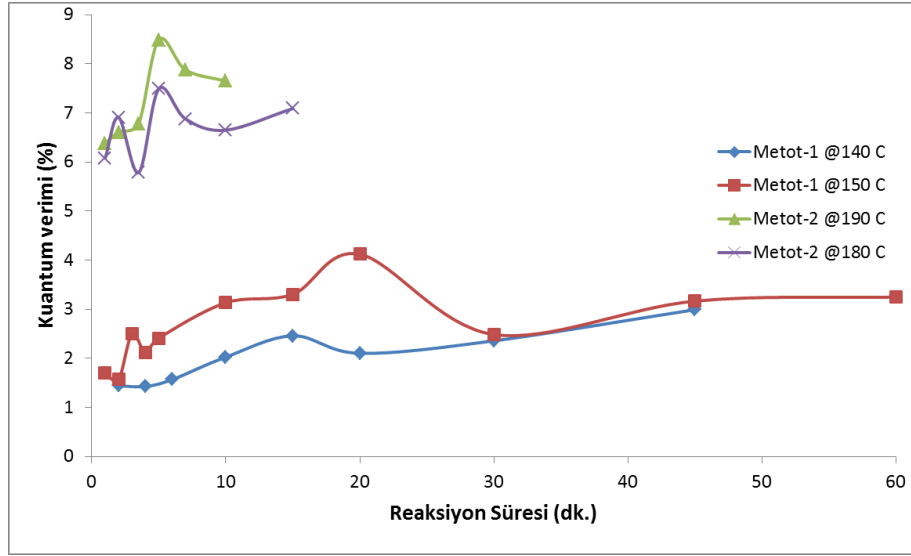
Tablo 4.5 : Farklı çevrim sayıları ile sentezlenen CdSe/ZnS nanokristallerin absorbanans, fotoışıma tepe noktaları ve FWHM değerleri.

Örnek Adı	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Fotoışıma Tepe Noktası (nm)	Yarı Y. Tam Genişlik (nm)
180 °C - 1	531	547	34
180 °C - 2	534	552	35
180 °C - 3	537	554	34
190 °C - 1	550	562	36
190 °C - 2	553	565	34
190 °C - 3	556	567	34

Farklı çevrim sayıları ile sentezlenen CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki nanokristallere ait absorbanans, fotoışıma şiddetine ait tepe değerlerini ve ve fotoışıma FWHM gösteren değerler Tablo 4.5’de verilmiştir.

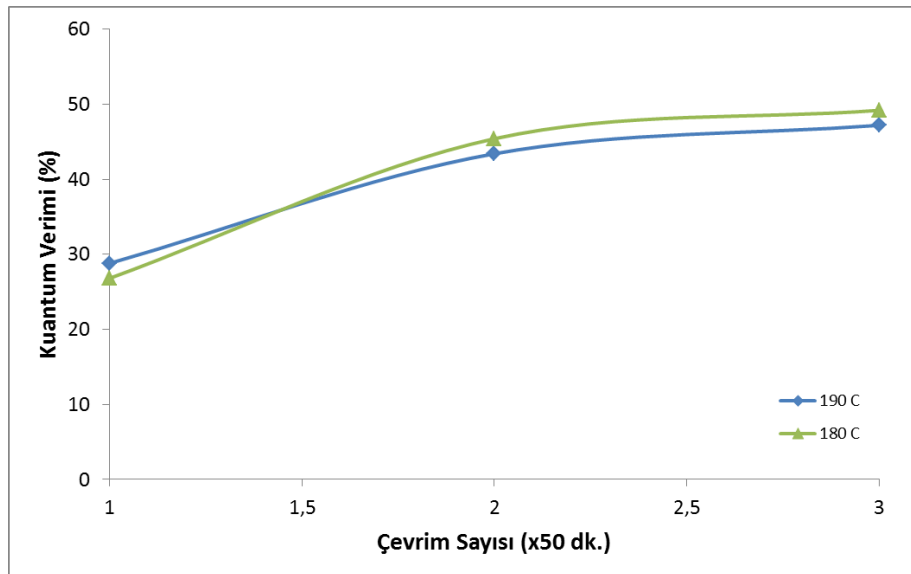
4.1.3 CdSe ve CdSe/ZnS Nanokristallerin Kuantum Verimi

CdSe çekirdek ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktalarının ışımaya şiddetlerinin, Rodamin-101 floresans malzemesine göre kuantum verimleri hesaplanmıştır. Rodamin-101 etil alkol içerisinde, CdSe kuantum noktaları ise eşit konsantrasyonlarda hegzan içinde çözdürülerek 450 nm dalga boyundaki ışık ile uyarılmışlardır. CdSe kuantum noktalarına ait kuantum verim grafiği Şekil 4.15’te verilmiştir. Rodamin-101 floresans malzemesinin kuantum verimi, 450 ile 565 nm dalgaboyundaki uyarım ile sabittir [30].



Şekil 4.15 : CdSe nanokristallerin kuantum verimleri (QY).

CdSe/ZnS kuantum noktalarının kuantum verimi hesaplanırken, Rodamin-101 ve CdSe/ZnS kuantum noktalarının uyarma dalga boyundaki absorpsiyon değerleri eşit tutulmuştur. CdSe kuantum noktalarına ait kuantum verim grafiği Şekil 4.15’de verilmiştir. CdSe/ZnS kuantum noktalarına ait kuantum verim grafiği Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16 : CdSe/ZnS nanokristallerin kuantum verimleri (QY).

Şekil 4.15 ve 4.16 göz önüne alınırsa, fotoışıma kuantum verimini arttırmak amacıyla ZnS kabuk ile kaplanan CdSe çekirdek yapıdaki nanokristallerde verim artışı başarıyla

gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu kuantum verim artışı, ZnS'ün CdSe ile alaşım oluşturmadan kabuk şeklinde CdSe nanokristaller üzerinde büyüdüğünü teyit etmektedir.

4.2 CdSe ve CdSe/ZnS NANOKRİSTALLERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

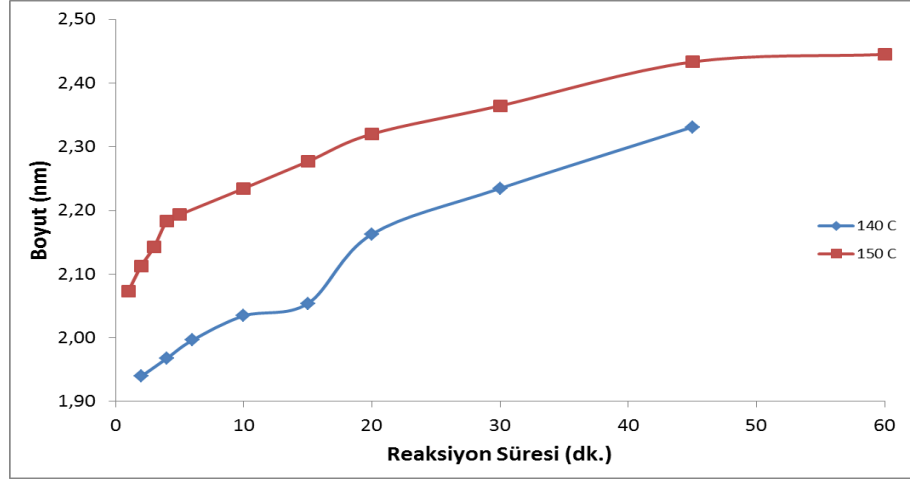
Absorpsiyon tepe noktaları temel alınarak, Denklem 3.1 ile CdSe nanokristallerin boyutları hesaplanmış ve Tablo 4.6 - 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.6 : 140 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorpsiyon tepe noktalarına bağlı olarak hesaplanan boyutları ve sönme katsayıları (ϵ).

Reaksiyon Süresi (dk)	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Boyut (nm)	Sönme Katsayısı (1/cm.M)
2	452	1,94	33883,49
4	455	1,97	35209,68
6	458	2,00	36577,60
10	462	2,03	38469,82
15	464	2,05	39446,71
20	475	2,16	45227,73
30	482	2,23	49320,03
45	491	2,33	55161,51

Tablo 4.7 : 150 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorpsiyon tepe noktalarına bağlı olarak hesaplanan boyutları ve sönme katsayıları (ϵ).

Reaksiyon Süresi (dk)	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Boyut (nm)	Sönme Katsayısı (1/cm.M)
1	466	2,07	40445,11
2	470	2,11	42509,80
3	473	2,14	44121,38
4	477	2,18	46360,98
5	478	2,19	46938,07
10	482	2,23	49320,03
15	486	2,28	51828,44
20	490	2,32	54476,14
30	494	2,36	57277,76
45	500	2,43	61805,55
60	501	2,44	62601,93



Şekil 4.17 : Metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin reaksiyon süresi ve boyut ilişkisi.

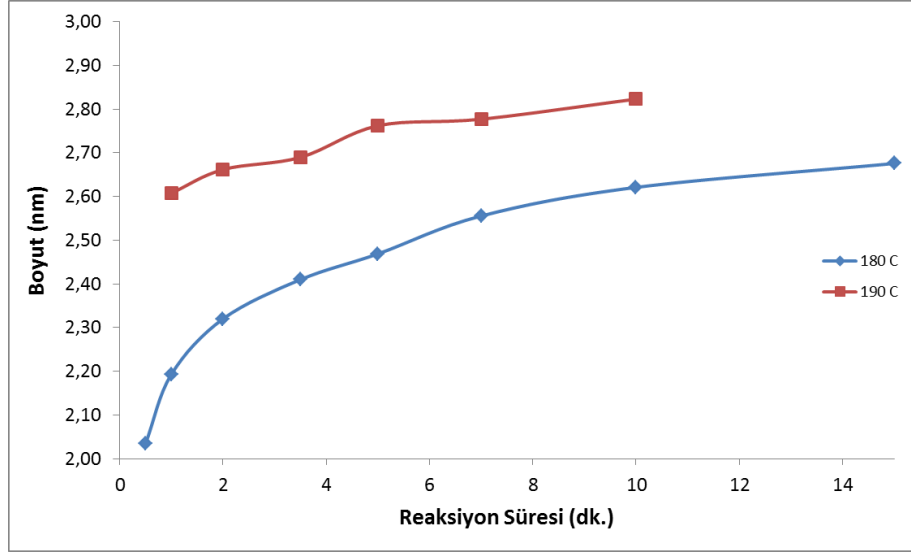
Şekil 4.17’te metot-1 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin reaksiyon süresi ile boyut ilişkisi görülebilir.

Tablo 4.8 : 190 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorpsiyon tepe noktalarına bağlı olarak hesaplanan boyutları ve sönme katsayıları (ϵ).

Reaksiyon Süresi (dk.)	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Boyut (nm)	Sönme Katsayısı (1/cm.M)
1	514	2,61	74254,53
2	518	2,66	78411,70
3,5	520	2,69	80609,73
5	525	2,76	86490,35
7	526	2,78	87737,62
10	529	2,82	91634,00

Tablo 4.9 : 180 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sentezlenen CdSe nanokristallerin absorpsiyon tepe noktalarına bağlı olarak hesaplanan boyutları ve sönme katsayıları (ϵ).

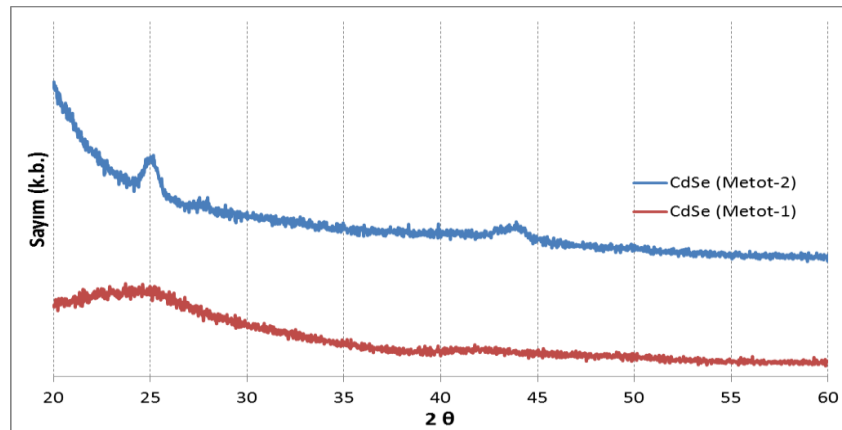
Reaksiyon Süresi (dk.)	Absorpsiyon Tepe Noktası (nm)	Boyut (nm)	Sönme Katsayısı (1/cm.M)
0,5	462	2,03	38469,82
1	478	2,19	46938,07
2	490	2,32	54476,14
3,5	498	2,41	60249,83
5	503	2,47	64233,37
7	510	2,56	70388,18
10	515	2,62	75265,31
15	519	2,68	79500,30



Şekil 4.18 : Metot-2 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin reaksiyon süresi ve boyut ilişkisi.

Şekil 4.18'te metot-2 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin reaksiyon süresi ile boyut ilişkisi görülebilir.

Metot-1 ile CdSe nanokristaller, kromik asit ile temizlenmiş lamel üzerine damlatılarak 65°C sıcaklıkta kurutularak XRD analizine hazırlanmıştır. Metot-2 ile sentezlenen CdSe nanokristaller sıvı parafin içerisinde olması nedeniyle, pleksiglas film içerisinde XRD analizi gerçekleştirilmiştir. CdSe nanokristallere ait XRD analiz grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.



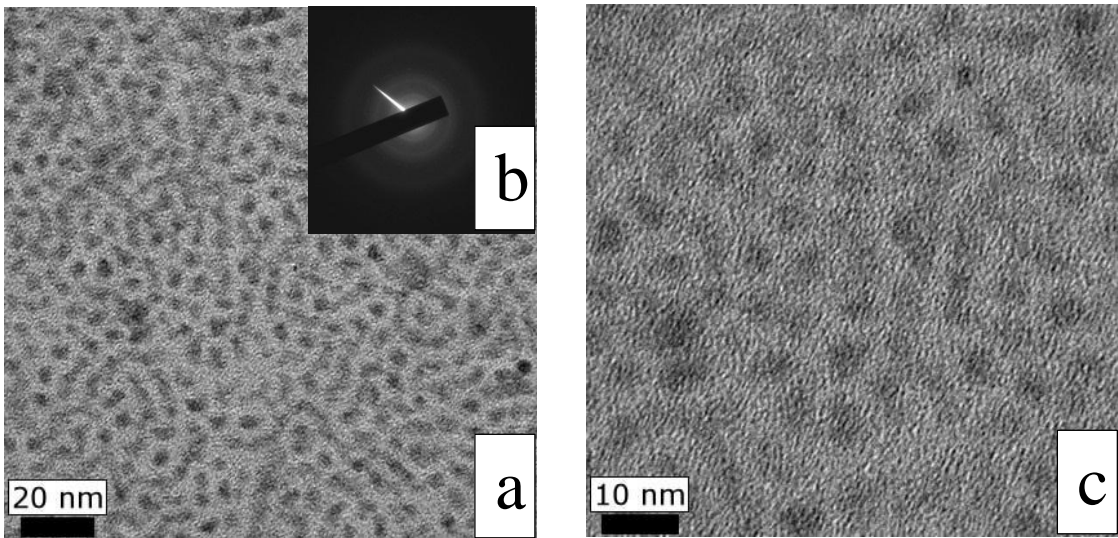
Şekil 4.19 : Metot-1 ve metot-2 ile sentezlenen CdSe nanokristallerin XRD grafiği.

Debye-Scherrer denklemi kullanılarak XRD yöntemi ile nanokristallerin boyutları belirlenebilmektedir. *Debye-Scherrer* denklemi :

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta}$$

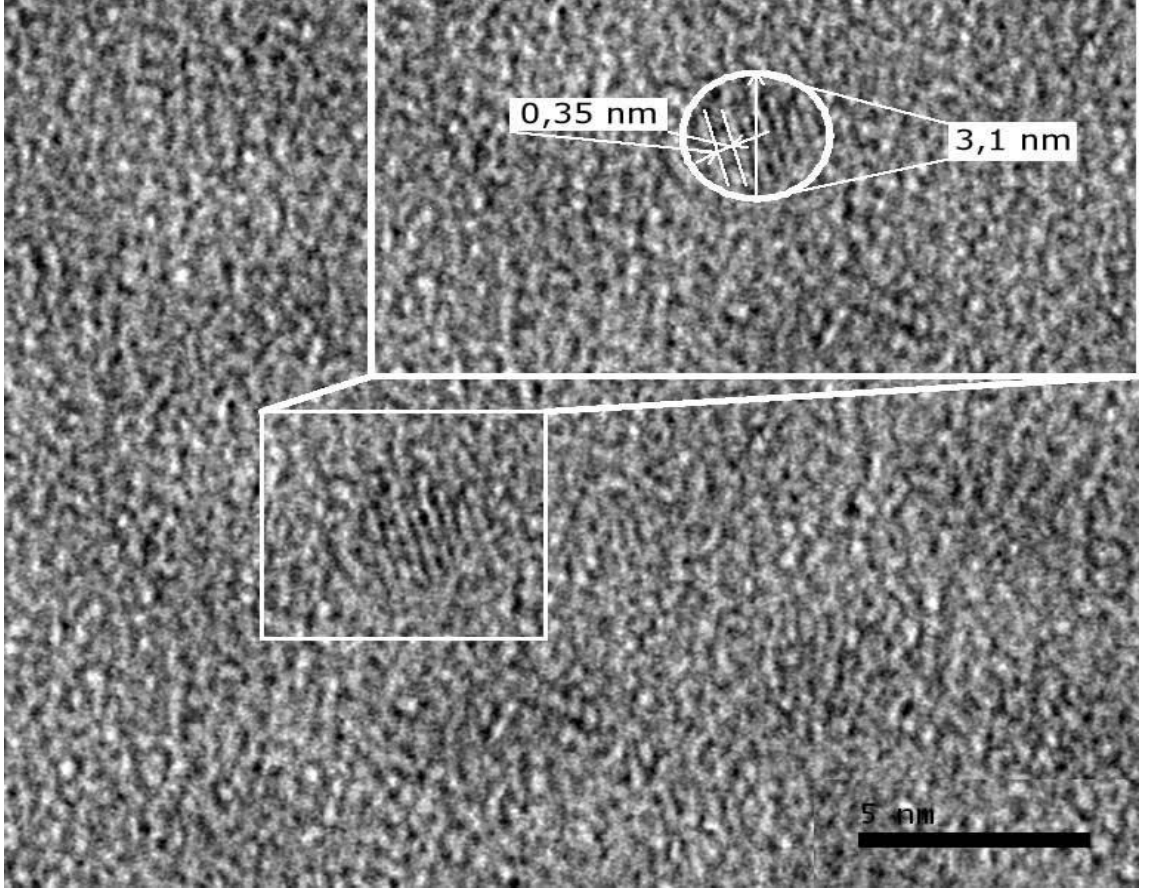
denklemden D kristal boyutu, K genellikle küresel parçacıklar için 0.9 olarak alınan şekil faktörü, β pik yarı genişliğidir [32]. Şekil faktörü, görüntü analizleri ve mikroskopide parçacık boyutundan bağımsız olarak parçacığın şeklini sayıca tarif eden ve ideal geometriden sapmanın ölçüsünü veren boyutsuz bir büyüklüktür. Şekil faktörü genellikle 0 ve 1 arasında normalize edilir ve 1'e eşitse, ideal durumu ya da daire, küre, kare ve küp gibi maksimum simetriyi temsil eder. Şekil 4.19'daki metot-2 ile 10 dakika süre ile sentezlenen CdSe nanokristalin, *Debye-Scherrer* denklemi kullanılarak hesaplanan fiziksel boyutu ile, *ilk eksitonik absorpsiyon tepe noktası* (Denklem 3.1) kullanılarak hesaplanan nanokristal boyutu yaklaşık olarak aynı değerleri vermiştir.

190°C sentez sıcaklığında metot-2 ile sentezlenen CdSe kuantum noktalarına herbiri 50 dakika olan 3 çevrim ile ZnS kabuk kaplanarak elde edilen CdSe/ZnS kuantum noktalarının HRTEM incelemesi Tübitak MAM Malzeme Enstitüsünde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.20 : CdSe/ZnS kuantum noktalarının HRTEM görüntüleri (a,c) ve kırınım deseni (b).

Şekil 4.20.a'da verilen HRTEM görüntüsünde çizgi uzunluğu (skala) 20 nm'dir. Şekil 4.20.b'de ise kırınım deseni gösterilmiştir. Şekil 4.20.c'de ise çizgi uzunluğu 10 nm'dir.

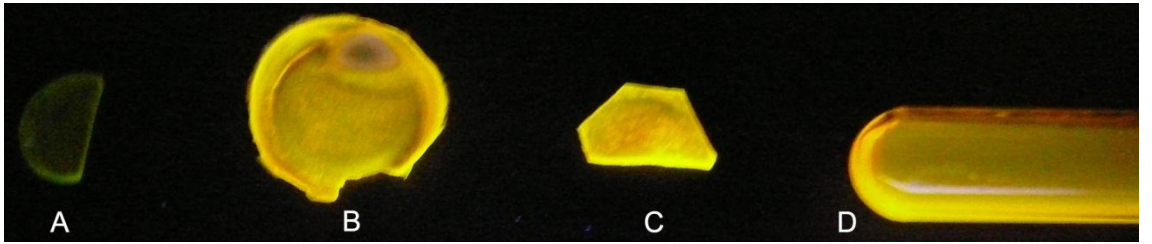


Şekil 4.21 : CdSe/ZnS kuantum noktalarının HRTEM görüntüsü.

Atomik düzlemler arası mesafe (0,35 nm), kristal katılar için *Bragg Yasası* ve XRD (Cu $K\alpha$, 1,543 Å) verileri ile hesaplandığında, Şekil 4.21'de verilen HRTEM görüntüsünde elde edilen atomik düzlemler arası mesafe örtüşmektedir.

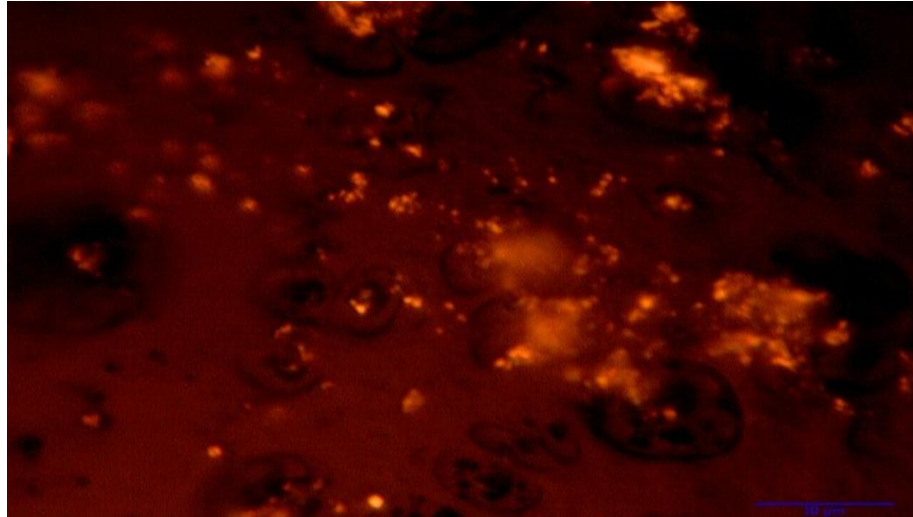
4.3 PLEKSİGLAS – CdSe/ZnS İNCE FİLMLER

Döndürme kaplama yöntemi ile Silisyum güneş hücrelerinin üzerine kaplanan akrilik (pleksiglas) fimlerin yüzey analizi optik mikroskop ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile gerçekleştirildi. Ayrıca, akrilik filmlerin kalınlıkları, laboratuvarında bulunan KLA Tencor profilometre ile tayin edildi. Şekil 4.22’de mor-ötesi ışık ile aydınlatılan pleksiglas-nanokristal filmler ve kloroform içerisinde CdSe/ZnS nanokristal çözeltisine ait fotoğraf görülmektedir.

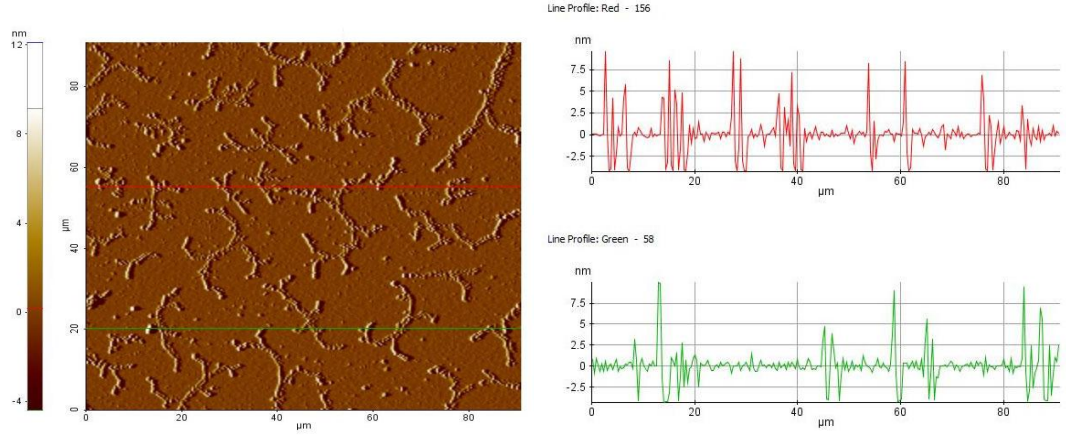


Şekil 4.22 : CdSe (A), CdSe/ZnS (B,C) nanokristal – akrilik filmler ve CdSe/ZnS nanokristal çözeltisinin (D) mor ötesi ışık altındaki fotoğrafı.

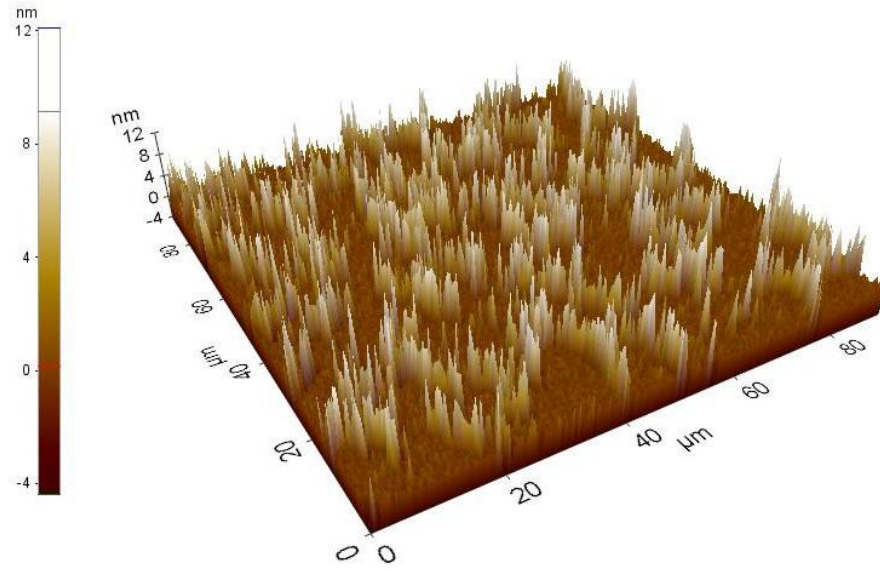
Optik mikroskop ile elde edilen görüntü Şekil 4.23’de verilmiştir. Ayrıca, AFM ile elde edilen görüntüler, Şekil 4.24 - 4.27’de verilmiştir.



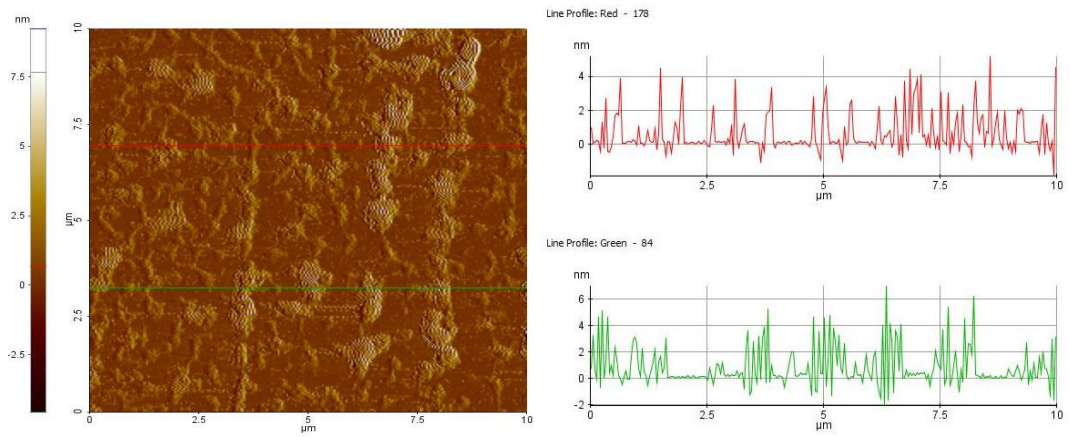
Şekil 4.23 : Si güneş hücresinin üzerindeki akrilik filme ait optik mikroskop görüntüsü.



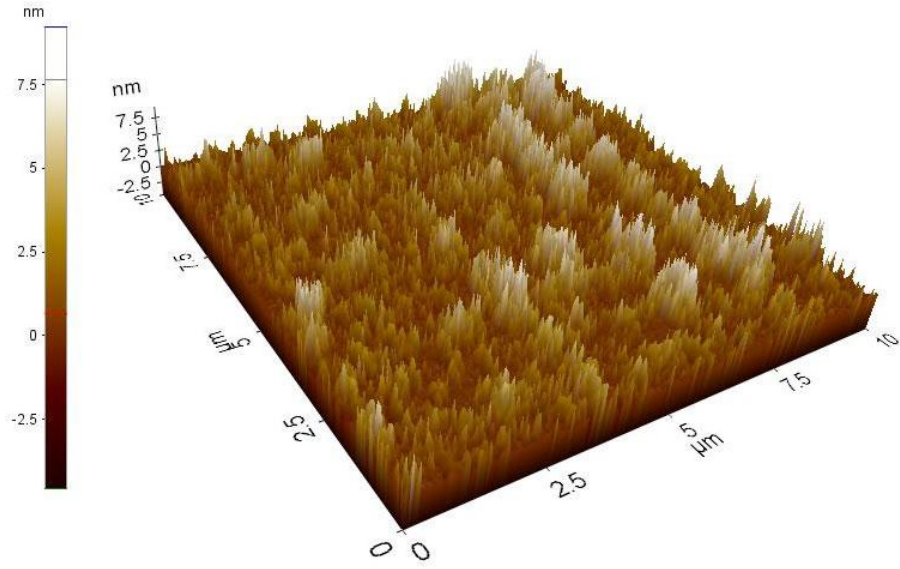
Şekil 4.24 : Pleksiglas-CdSe/ZnS filme ait AFM görüntüsü ve profil çizgileri.



Şekil 4.25 : Pleksiglas-CdSe/ZnS filme ait 3 boyutlu AFM görüntüsü

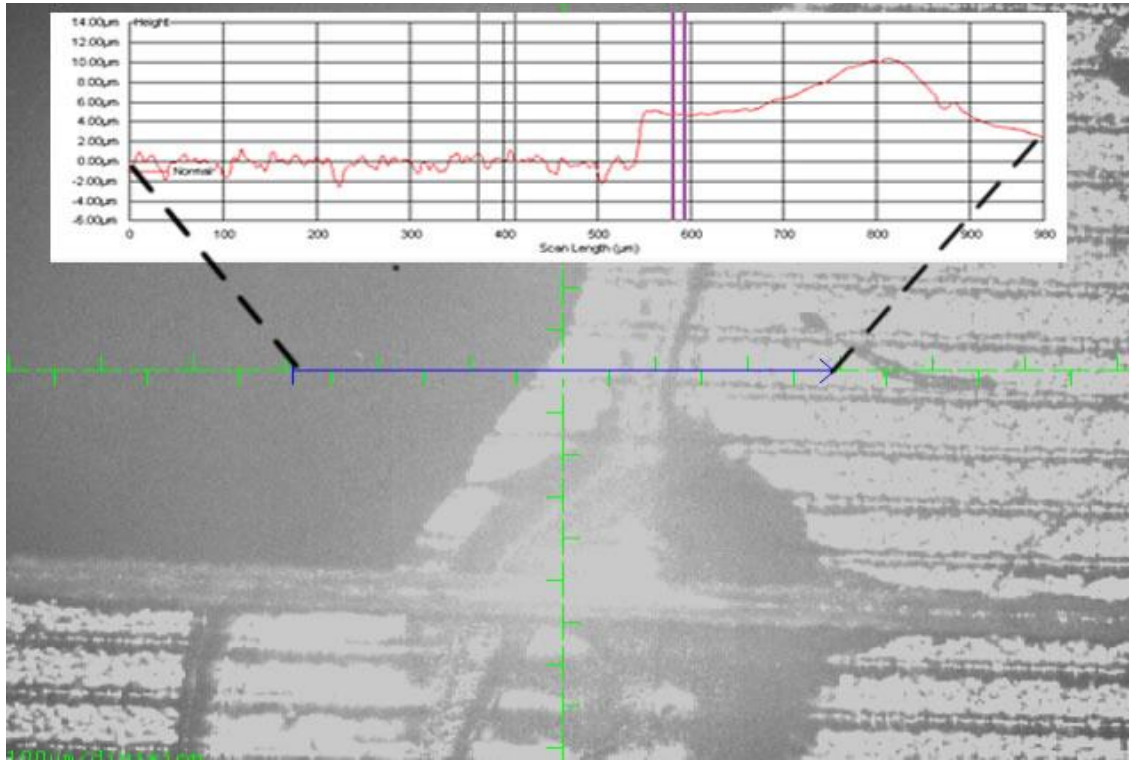


Şekil 4.26 : Pleksiglas-CdSe/ZnS filme ait AFM görüntüsü ve profil çizgileri.

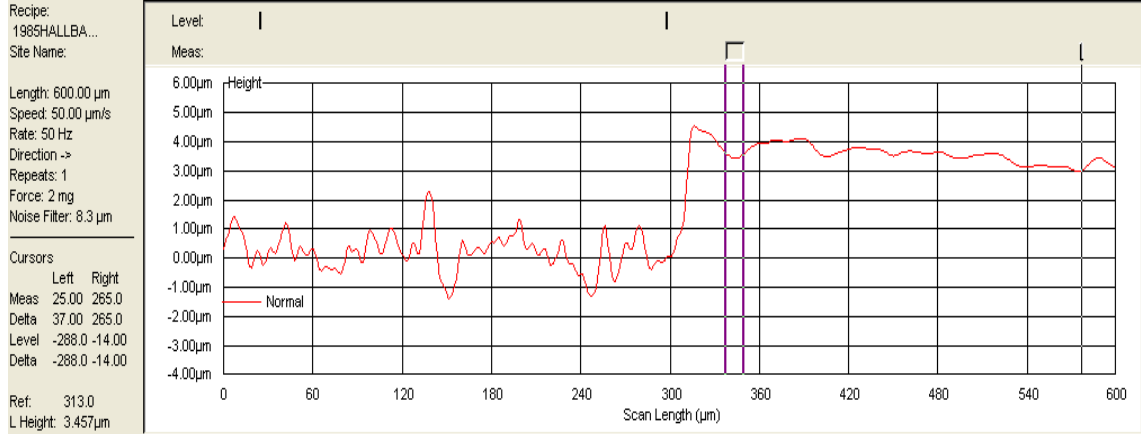


Şekil 4.27 : Pleksiglas-CdSe/ZnS filme ait 3 boyutlu AFM görüntüsü.

Laboratuvarda bulunan KLA Tencor profilometre ile Silisyum güneş hücrelerinin üzerine kaplanan akrilik (pleksiglas) fimlerin incelenmesi sonucu elde edilen yüzey profilleri Şekil 4.28 ve 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.28 : Akrilik film ile kaplanmış Si güneş pilinin yüzey görüntüsü ve kalınlık profili.



Şekil 4.29 : Akrilik film ile kaplanmış Si güneş pilinin yüzey kalınlık profili.

Şekil 4.28 ve 4.29’da verilen yüzey profillerinden akrilik filmlerin ortalama kalınlığı 2 µm olarak tespit edilmiştir. Denklem 3.5 ile tahmin edilen ince film kalınlığı yaklaşık olarak 1,2 µm’dir. Denklem 3.5, sadece boş bir yüzey üzerine bir kez yapılan kaplama için tahmini bir kalınlık vermektedir. Bu aradaki fark, kaplama işleminin, öncelikle 3000 devir/dk., daha sonra 1500 devir/dk. hızla iki kez tekrarlanması nedeniyle oluşması düşünülebilir.

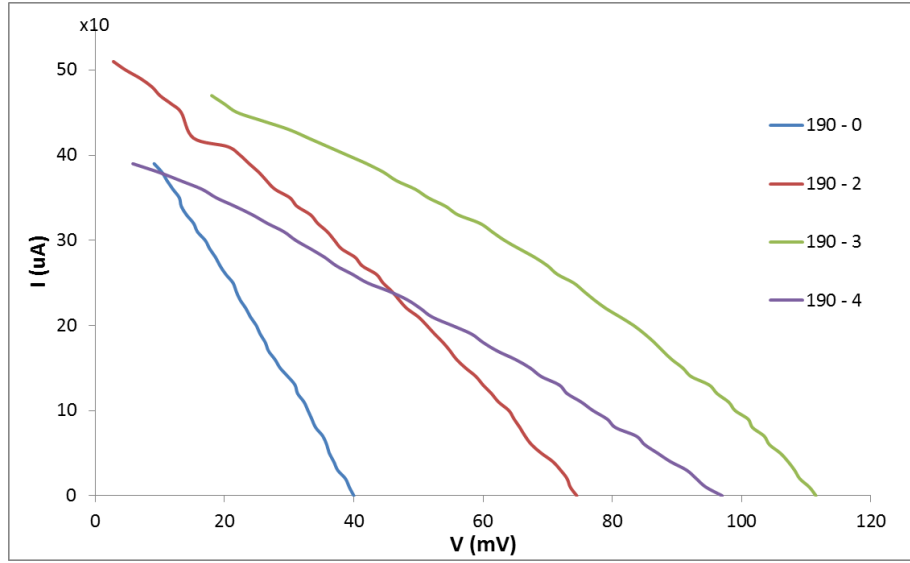
4.4 GÜNEŞ PİLLERİNİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Tek kristal silisyum güneş pilleri, farklı konsantrasyonlarda CdSe/ZnS nanokristalleri içeren akrilik tabakaları ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi, döndürme kaplama (spin coating) yöntemi ile, öncelikle 3000 devir/dk., daha sonra 1500 devir/dk. hız ile kaplanmıştır. Kaplama numarasına denk gelen konsantrasyon oranları Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10 : Kaplama numarasına denk gelen konsantrasyon oranları.

Kaplama Adı	Konsantrasyon (nmol/cm ²)	Kaplama Adı	Konsantrasyon (nmol/cm ²)
190 – 0	-	180 – 1	5
190 – 2	10	180 – 2	10
190 – 3	20	180 – 3	20
190 – 4	40	180 – 4	30
180 – 0	-	180 – 5	40

190 °C’de metot-2 ile sentezlenen CdSe kuantum noktalarının ZnS ile kaplanması ile elde edilen CdSe/ZnS nanokristallerden farklı konsantrasyonlarda içeren akrilik taşıyıcı ince filmler ile kaplanmış tek kristal Silisyum güneş pillerinin I-V karakteristiği HBO 100 W yüksek basınç civa lambası ile Şekil 3.10’da verilen düzenek ile incelenmiştir (Şekil 4.30).



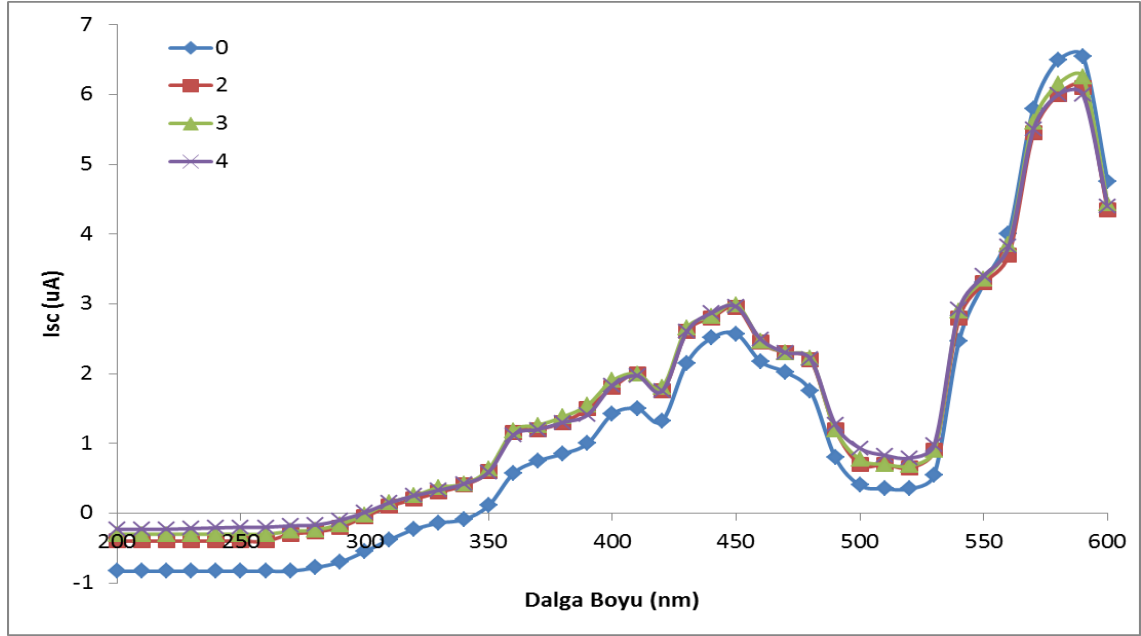
Şekil 4.30 : Farklı CdSe/ZnS (190°C)nanokristal konsantrasyonları ile kaplanan güneş pillerinin I-V karakteristiği.

190 °C’de metot-2 ile sentezlenen CdSe kuantum noktalarının ZnS ile kaplanması ile elde edilen CdSe/ZnS nanokristallerden farklı konsantrasyonlarda içeren akrilik taşıyıcı ince filmler ile kaplanmış tek kristal silisyum güneş pillerine ait karakteristlik özellikler Genel Kısımlar’daki Güneş Pillerinin Diyot Modeli ile hesaplanmıştır ve özet olarak Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11 : Güneş pillerinin, maksimum akım (I_{mp}), maksimum gerilim (V_{mp}), kısa devre akım (I_{sc}), açık devre gerilim (V_{oc}), dolgu faktörü (FF-Fill Factor), verim ile güneş pili üzerine düşen ışığın gücünün çarpımı ($\eta * P_{in}$) ve verim artışı değerleri.

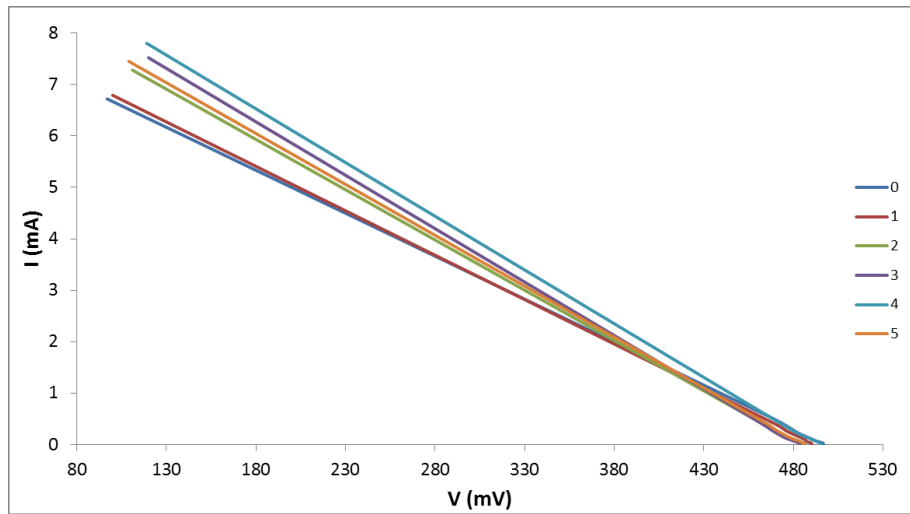
Kaplama Sayısı	I_{mp} (uA)	V_{mp} (mV)	I_{sc} (uA)	V_{oc} (mV)	Dolgu Faktörü	$\eta * P_{in}$ (10e-9)	Verim Artışı
0	250	21,3	440	40	0,30	5325	-
2	280	40,2	510	74,5	0,30	11256	2,11
3	310	61,4	470	111,5	0,36	19034	3,57
4	230	48,3	390	97	0,29	11109	2,09

Güneş pillerinin kısa devre akım (I_{sc}) spektrumu, HBO 100 W yüksek basınç civa lambası ile Şekil 3.11’de verilen düzenek ile incelenmiştir (Şekil 4.31).

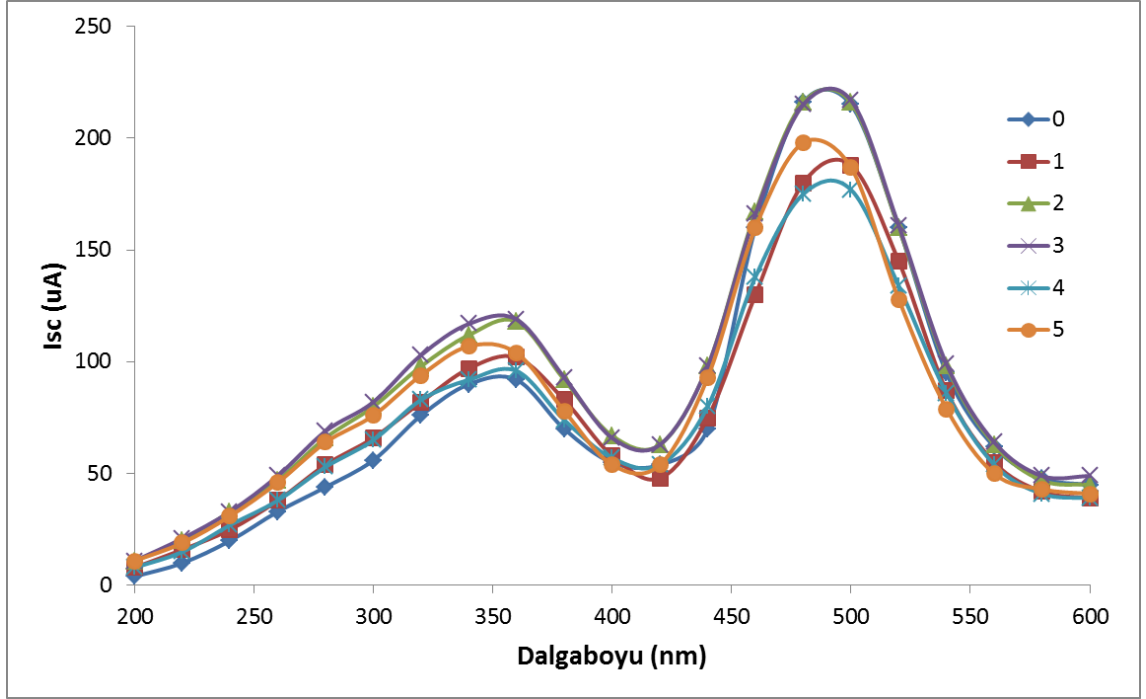


Şekil 4.31 : Farklı CdSe/ZnS (190°C) nanokristal konsantrasyonları ile kaplanan güneş pillerinin kısa devre akım (I_{sc}) spektrumu.

180 °C’de metot-2 ile sentezlenen CdSe kuantum noktalarının ZnS ile kaplanması ile elde edilen CdSe/ZnS nanokristallerden farklı konsantrasyonlarda içeren akrilik taşıyıcı ince filmler ile kaplanmış tek kristal Silisyum güneş pillerinin I-V karakteristiği HBO 100 W civa lambası ile Şekil 3.10’da verilen düzenek ile tetkik edilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 : Farklı CdSe/ZnS (180°C) nanokristal konsantrasyonları ile kaplanan güneş pillerinin I-V karakteristiği.



Şekil 4.33 : Farklı CdSe/ZnS (180°C) nanokristal konsantrasyonları ile kaplanan güneş pillerinin kısa devre akım (I_{sc}) spektrumu.

HBO 100 W civa lambası ile 180°C'de metot-2 ile sentezlenen CdSe kuantum noktalarının ZnS ile kaplanması ile elde edilen CdSe/ZnS nanokristallerden farklı konsantrasyonlarda içeren akrilik taşıyıcı ince filmler ile kaplanmış tek kristal silisyum güneş pillerinin kısa devre akım (I_{sc}) spektrumu, Şekil 3.11'de verilen düzenek ile incelenmiştir (Şekil 4.33).

Tablo 4.12 : Güneş pillerinin, maksimum akım (I_{mp}), maksimum gerilim (V_{mp}), kısa devre akım (I_{sc}), açık devre gerilim (V_{oc}), dolgu faktörü (FF-Fill Factor), verim ile güneş pili üzerine düşen ışığın gücünün çarpımı ($\eta \cdot P_{in}$) ve verim artışı değerleri.

Kaplama Sayısı	I_{mp} (μA)	V_{mp} (mV)	I_{sc} (μA)	V_{oc} (mV)	Dolgu Faktörü	$\eta \cdot P_{in}$ (10e-9)	Verim Artışı
0	520	468	6720	497	0,07	243360	-
1	400	470	6790	490,5	0,06	188000	0,77
2	480	459	7280	486,6	0,06	220320	1,17
3	460	460	7520	484	0,06	211600	0,96
4	370	475	7800	495,5	0,05	175750	0,94
5	400	465,5	7450	486	0,05	186200	0,88

Güneş pillerine ait karakteristik özellikler Genel Kısımlar'daki Güneş Pillerinin Diyot Modeli ile hesaplanmıştır ve özet olarak Tablo 4.12'de verilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, tek kristal silisyum güneş pilleri, 554 ve 562 nm dalga boyunda fotoişıma yapan CdSe/ZnS çekirdek/kabuk yapıdaki kuantum noktaları ihtiva eden akrilik ince filmler ile kaplanarak verim artışı amaçlanmıştır. CdSe kabuk ve CdSe/ZnS çekirdek/kabuk kuantum noktaları, koloidal kimyasal yöntem ile sentezlenmiştir. Kuantum noktalarının sentez süreci zamana ve reaksiyon sıcaklığına bağlı olarak gözlemlenmiştir.

CdSe nano kristalleri 2 farklı yöntem ile sentezlenmiştir. Metot-1'e göre sentezlenen nano kristallerin kuantum verimleri kaynak olarak kullanılan makaledeki örneklere göre daha düşük elde edilmiştir. Bu sonuç, sentez aşamasında kullanılan malzemelerin atmosfer ortamında stabil olmaması istenilen verimin alınmasını engellemiştir. Metot-2 ile sentezlenen CdSe nano kristallerin kuantum verimleri ise kaynak olarak kullanılan makaleye göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Metot-2'de selenyum kaynağı olarak TOPSe kullanılması sonucu bu etki gözlenmiştir. Selenyum TOP içerisinde parafine göre daha yüksek çözünürlüğe sahip olması nedeniyle sentezlenen CdSe nano kristallerin kuantum verimleri daha iyi değerlerde elde edilmiştir. Daha yüksek kuantum verimi elde edilmesi nedeniyle, güneş hücrelerinde kullanılacak olan CdSe nano kristaller metot-2 ile sentezlenmiştir.

CdSe nano kristallerin kuantum verimini arttırmak amacıyla CdSe çekirdek nano kristaller ZnS kabuk ile kaplanmıştır. ZnS kabuk, ışıma yapmayan yüzeyleri pasifize ederek kuantum verimini arttırmaktadır. CdSe nano kristallere kaplanan farklı kalınlıklarda ZnS kabuk yapıların kuantum verimini arttırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek verim elde edilen CdSe/ZnS çekirdek/kabuk nano kristaller, ticari pleksiglasın taşıyıcı matris olarak kullanılarak elde edilen ince filmler tek kristal silisyum güneş hücreleri üzerine döndürme kaplama yöntemi farklı konsantrasyonlarda kaplanmıştır. Güneş hücrelerinin karakterizasyonu sonucunda, güneş hücrelerinin kısa devre akımı,

açık devre gerilimi, maksimum akım ve gerilim değerleri, dolgu faktörü ve açık devre akım spektrumu kaplama yapılmayan referans güneş hücresine göre arttığı gözlenmiştir.

Tablo 5.1 : Güneş pillerinin, maksimum akım (I_{mp}), maksimum gerilim (V_{mp}), kısa devre akım (I_{sc}), açık devre gerilim (V_{oc}), dolgu faktörü (FF-Fill Factor), verim ile güneş pili üzerine düşen ışığın gücünün çarpımı ($\eta * P_{in}$) ve verim artışı değerleri.

Örnek Adı	I_{mp} (uA)	V_{mp} (mV)	I_{sc} (uA)	V_{oc} (mV)	Dolgu Faktörü	$\eta * P_{in}$ (10e-9)	Verim Artışı
190 - 0	250	21,3	440	40	0,30	5325	-
190 - 2	280	40,2	510	74,5	0,30	11256	2,11
190 - 3	310	61,4	470	111,5	0,36	19034	3,57
190 - 4	230	48,3	390	97	0,29	11109	2,09
180 - 0	520	468	6720	497	0,07	243360	-
180 - 1	400	470	6790	490,5	0,06	188000	0,77
180 - 2	480	459	7280	486,6	0,06	220320	1,17
180 - 3	460	460	7520	484	0,06	211600	0,96
180 - 4	370	475	7800	495,5	0,05	175750	0,94
180 - 5	400	465,5	7450	486	0,05	186200	0,88

Tablo 5.1’de verilen güneş pillerine ait karakteristik aygıt parametrelerinde de görülebileceği üzere, güneş pilleri üzerine kaplanan CdSe/ZnS – pleksiglas ince filmlerin nano kristal konsantrasyonu verim artışını doğru orantılı olarak etkilememektedir. Demir ve diğ. [40] tarafından yapılan çalışmada elde edilen verim artışı yine bu çalışmada olduğu gibi CdSe/ZnS nano kristallerin konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak artmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç, ince filmlerdeki CdSe/ZnS nano kristallerin konsantrasyonu arttıkça güneş hücresine düşen ışığın yoğunluğuna etki etmesi sebep olmaktadır. Ayrıca, bu duruma, CdSe/ZnS nano kristallerin kuantum verimlerinin katkısı da bulunmaktadır.

Literatürdeki bir çok çalışmada farklı geometrilere ve farklı nano kristal içeren konsantratörlerin güneş hücrelerinin kısa devre akım değerlerinde en fazla % 10’a varan artış gözlenmiştir [35,36,37,38,39,40]. Bu çalışmada ise referans güneş hücresine göre 180-4 numaralı örneğin kısa devre akımı (I_{sc}) % 16 oranında artmıştır.

Birçok uygulama alanı bulunan CdSe/ZnS nano kristaller, bu çalışmada dalga boyu öteleyici olarak silisyum güneş pilleri üzerine kaplanmış ve özellikle mor ötesi dalga boyundaki bölgede güneş pillerinin karakteristik özelliklerinde verim artışı elde edilmiştir. Gelecek çalışmalarda, farklı güneş pilleri, karakteristik özelliklerine uygun olan nano kristaller ile kaplanarak verim artışı elde edilebilir. Ayrıca, ince filmlerin nano kristal konsantrasyonu en yüksek verimi verecek şekilde ayarlanması için gerekli çalışmalar gerçekleştirilebilir.

6. REFERANSLAR

- [1] N.C. Greenham, X. Peng, A.P. Alivisatos, 1996, Charge separation and transport in conjugated-polymer/semiconductor-nanocrystal composites studied by photoluminescence quenching and photoconductivity, *Phys. Rev. B*, 54, 17628
- [2] S. Empedocles, M.G. Bawendi, 1999, Spectroscopy of Single CdSe Nanocrystallites, *Acc. Chem. Res.*, 32, 389
- [3] S. Coe, W.K. Woo, M. Bawendi, V. Bulovic, 2002, Electroluminescence from single monolayers of nanocrystals in molecular organic devices, *Nature*, 420, 800
- [4] R.A.M. Hikmet, D.V. Talapin, H. Weller, 2003, Study of conduction mechanism and electroluminescence in CdSe/ZnS quantum dot composites, *J. Appl. Phys.*, 93, 3509
- [5] C.E. Finlayson, D.M. Russell, C.M. Ramsdale, D.S. Ginger, C. Silva, N.C. Greenham, 2002, Amplified Spontaneous Emission in Close-Packed Films of Semiconductor Nanocrystals Using Picosecond Excitation *Adv. Funct. Mater.*, 12, 537
- [6] M. Kazes, D.Y. Lewis, Y. Ebenstein, T. Mokari, U. Banin, 2002, Lasing from Semiconductor Quantum Rods in a Cylindrical Microcavity, *Adv. Mater.*, 14, 317
- [7] M. Bruchez, M. Moronne, P. Gin, S. Weiss, A.P. Alivisatos, 1998, Semiconductor Nanocrystals as Fluorescent Biological Labels, *Science*, 281, 2013
- [8] W.C.W. Chan, S.M. Nie, 1998, Quantum Dot Bioconjugates for Ultrasensitive Nonisotopic Detection, *Science*, 281, 2016

- [9] A.R. Clapp, I.L. Medintz, J.M. Mauro, B.R. Fisher, M.G. Bawendi, H. Mattoussi, J., 2004, Fluorescence Resonance Energy Transfer Between Quantum-Dot Donors and Dye-Labeled Protein Acceptors, *Am. Chem. Soc.*, 126, 301
- [10] Gaponenko, S. V., 1998, *Optical properties of Semiconductor Nanocrystals*, Cambridge University Press, Cambridge, 978-0521582414.
- [11] Talapin, Dmitri V., 2002, *Experimental and theoretical studies on the formation of highly luminescent II-VI, III-V and core-shell semiconductor nanocrystals semiconductor nanocrystals*, Thesis (PhD), University of Hamburg.
- [12] Norris, David J., 1995, *Measurement and Assignment of the Size-Dependent Optical Spectrum in Cadmium Selenide (CdSe) Quantum Dots*, Thesis (PhD), Massachusetts Institute of Technology.
- [13] Morgan, M.J., Jakovidis, G., McLeod, I., 1994, An experiment to measure the I-V characteristics of a silicon solar cell, *Phys. Educ.* 29, 252
- [14] Margaret A. Hines, Philippe Guyot-Sionnest, 1996, Synthesis and Characterization of Strongly Luminescing ZnS-Capped CdSe Nanocrystals, *J. Phys. Chem.*, 100, 468
- [15] Murray C.B., Norris D.J., Bawendi M.G., 1993, Synthesis and Characterization of nearly monodisperse CdE (E = S, Se, Te) semiconductor nanocrystallites, *J. Am. Chem. Soc.*, 115, 8706.
- [16] Peng X., Manna L., Yang W., Wickham J., Scher E., Kadavanich A., Alivisatos A.P., 2000, Shape control of CdSe nanocrystals, *Nature*, 404, 59.
- [17] Talapin D.V., Rogach A.L., Kornowski A., Haase M., Weller H., 2001, Highly luminescent monodisperse CdSe and CdSe-ZnS nanocrystals synthesized in a hexadecylamine trioctylphosphine oxide-trioctylphosphine mixture, *Nano Lett.*, 1, 207.

- [18] Deng Z., Cao L., Tang F., Zou B., 2005, A new route to zinc-blende CdSe nanocrystals: mechanism and synthesis, *J. Phys. Chem. B.*, 109, 16671.
- [19] Ye X., Fang Y., Hu Y., Xia T., Zhuang W., Long Z., 2006, Formation of cubic zinc sulfide nanocrystals in paraffin liquid, *Mater. Lett.*, 61, 5026.
- [20] He, R., Gu, H., 2006, Synthesis and characterization of monodispersed CdSe nanocrystals at lower temperature, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 272, 111–116.
- [21] Zhu, C.Q., Wang, P., Wang, X., Li, Y., 2008, Facile Phosphine-Free Synthesis of CdSe/ZnS Core/Shell Nanocrystals Without Precursor Injection, *Nanoscale Res. Lett.*, 3, 213–220.
- [22] Peng, X., Wickham, J., Alivisatos, A. P., 1998, Kinetics of II-VI and III-V Colloidal Semiconductor Nanocrystal Growth: “Focusing” of Size Distributions, *J. Am. Chem. Soc.*, 120, 5343-5344.
- [23] Soloviev, V. N., Eichhöfer, A., Fenske, D., Banin, U., 2000, Molecular Limit of a Bulk Semiconductor: Size Dependence of the “Band Gap” in CdSe Cluster Molecules, *J. Am. Chem. Soc.*, 122 (11), 2673–2674.
- [24] Yu, W. W., Qu, L., Guo, W., Peng, X., 2003, Experimental Determination of the Extinction Coefficient of CdTe, CdSe, and CdS Nanocrystals, *Chem. Mater.*, 15, 2854-2860
- [25] Grabolle, M., Spieles, M., Lesnyak, V., Gaponik, N., Eychmüller, A., Resch-Genger, U., 2009, Determination of the Fluorescence Quantum Yield of Quantum Dots: Suitable Procedures and Achievable Uncertainties, *Anal. Chem.*, 81, 6285–6294.
- [26] Mohajerani, E., Farajollahi, F., Mahzoon, R., Baghery, S., 2007, Morphological and thickness analysis for PMMA spin coated films, *J. of Opto Electronics and Adv. Mats.*, 9, 12, 3901 – 3906.

- [27] J. Paul, H. Lima, A. M. Andrade, 2006, Morphological analysis of poly(o-methoxyaniline) thin-films deposited by spin coating technique, *J. Mater. Sci-Mater Electron.*, 17, 593.
- [28] Ouyang, J., Zaman, Md. B., Yan, F. J., Johnston, D., Li, G., Wu, X., Leek, D., Ratcliffe, C. I., Ripmeester, J. A., Yu, K., 2008, Multiple Families of Magic-Sized CdSe Nanocrystals with Strong Bandgap Photoluminescence via Noninjection One-Pot Syntheses, *J. Phys. Chem. C*, 112, (36), 13805–13811.
- [29] Liu, X., Jiang, Y., Wang, C., Li, S., Lan, X., Chen, Y., 2010, White-light-emitting CdSe quantum dots with “magic size” via one-pot synthesis approach, *Phys. Status Solidi A*, 207, 11, 2472–2477.
- [30] Karstens, T., Kobs, K., 1980, Rhodamine B and Rhodamine 101 as Reference Substances for Fluorescence Quantum Yield Measurements, *J. Phys. Chem.*, 84 (14), 1871–1872.
- [31] Jasieniak, J., Smith, L., van Embden, J., Mulvaney, P., 2009, Re-examination of the Size-Dependent Absorption Properties of CdSe Quantum Dots, *J. Phys. Chem.*, 113, 19468–19474
- [32] Jones F. W., 1938, The Measurement of Particle Size by the X-Ray Method, *Proc. R. Soc. Lond. A*, 166, 14-43
- [33] Abrams, B. L., Wilcoxon, J. P., 2005, Nanosize Semiconductors for Photooxidation, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 30, 153–182
- [34] Peng, Z. A., Peng, X. G., 2002, Nearly Monodisperse and Shape-Controlled CdSe Nanocrystals via Alternative Routes: Nucleation and Growth, *Journal of the American Chemical Society*, 124(13), 3343

- [35] van Sarka, W.G.J.H.M., Meijerinkb, A., Schroppc, R.E.I., van Roosmalend, J.A.M., Lysene, E.H., 2005, Enhancing solar cell efficiency by using spectral converters, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 87, 395–409
- [36] Cheng, Z., Su, F., Pan, L., Cao, M., Sun, Z., 2010, CdS quantum dot-embedded silica film as luminescent down-shifting layer for crystalline Si solar cells, *Journal of Alloys and Compounds*, 494, L7–L10
- [37] Chatterna, A.J., Barnhama, K.W.J., Buxtonb, B.F., Ekins-Daukesa, N.J., Malik, M.A., 2003, A new approach to modelling quantum dot concentrators, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 75, 363–371
- [38] Schüler, A., Python, M., Valle del Olmo, M., de Chambrier, E., 2007, Quantum dot containing nanocomposite thin films for photoluminescent solar concentrators, *Solar Energy*, 81, 1159–1165
- [39] Gallagher, S.J., Norton, B., Eames, P.C., 2007, Quantum dot solar concentrators: Electrical conversion efficiencies and comparative concentrating factors of fabricated devices, *Solar Energy*, 81, 813–821
- [40] Mutlugun, E., Soganci, I.M., Demir, H.V., 2008, Photovoltaic nanocrystal scintillators hybridized on Si solar cells for enhanced conversion efficiency in UV, *Optics Express*, 16, 6, 3537-3545

ÖZGEÇMİŞ

Mesut BALABAN, 1983 yılında Bursa’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa’da tamamladı. İ. T. Ü. Fizik Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun oldu, 2007 yılı içerisinde İ. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Katıhal Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında Erasmus Mundus M.Sc. in Photonics programına katıldı ve “Impact of 3D nano structures on the light polarization” başlıklı yüksek lisans tezi ile 2011 yılında mezun oldu.