





دانشگاه شهید چمران اهواز  
دانشکده‌ی علوم  
گروه فیزیک  
پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

عنوان:

ساخت و مطالعه‌ی نانوساختارهای یک‌بعدی سولفید کادمیم  
تهیه شده به روش حلالی - حرارتی کنترل شده با پلیمر

نگارش:

نگار حکمت

استاد راهنما:

دکتر ایرج کاظمی نژاد

استاد مشاور:

دکتر علیرضا کیاست

شهریور ماه 1389

تقدیم به

پدر و مادر مهربان

و

برادر عزیزم

که عاشقانه و بی‌ریا در لحظه لحظه‌های زندگی یاریم نمودند.

## تقدیر و تشکر

بار خدایا، سپاس بیکران تو را، که مرا یاری نمودی و پیمودن این راه سخت را بر من ممکن ساختی.

در پایان دوره تحصیل در این مقطع بر خود واجب می‌دانم که از کلیه کسانی که مرا در این عرصه یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

در ابتدا تشکر صمیمانه دارم از استاد راهنمای گرانقدرم **جناب آقای دکتر ایرج کاظمی نژاد** که با راهنمایی‌های ارزشمند خود کسب این بار علمی را بر من ممکن و گذر از این مرحله دشوار را بر من هموار نمودند.

همچنین مراتب سپاسم را نسبت به استاد مشاور ارجمندم **جناب آقای دکتر علیرضا کیاست** ابراز می‌دارم که با صبر و حوصله مرا در پیچ و خم این راه یاری نمودند.

از زحمات سایر اساتید و اعضای هیأت علمی و کارکنان گروه فیزیک دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می‌نمایم.

از ستاد ویژه توسعه فناوری نانو جهت فراهم ساختن امکانات به ثمر رساندن این پروژه کمال تشکر را دارم.

از **پدر** دلسوز و **مادر** مهربانم بسیار سپاسگزارم، چرا که تمام موفقیت‌های زندگی‌ام را مرهون زحمات بی‌شائبه آن‌ها هستم. همچنین قدردانی می‌کنم از برادر عزیزم که در همه لحظات زندگی مایه دلگرمی‌ام بوده است.

در پایان از **آذر سعداله‌خانی** و **سمیه خواجه‌پور** و سایر دوستانم که لحظات خاطره‌انگیزی را در کنارشان سپری کردم نهایت تشکر را دارم.

نگار حکمت

شهریور ماه 1389

## چکیده:

نام خانوادگی دانشجو: حکمت	نام: نگار
عنوان پایان نامه: ساخت و مطالعه‌ی نانوساختارهای یک‌بعدی سولفید کادمیم تهیه شده به روش حلالی -حرارتی کنترل شده با پلیمر	
استاد راهنما: دکتر ایرج کاظمی‌نژاد	استاد مشاور: دکتر علیرضا کیاست
درجه‌ی تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
گرایش: حالت جامد	
محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران اهواز	دانشکده: علوم
تاریخ فارغ التحصیلی: 1389/6/29	تعداد صفحات: 136
کلید واژه‌ها: نانوسیم، سولفید کادمیم، حلالی -حرارتی، پلی‌اتیلن گلیکول 400، اتوکلاو. Nanowire, Cadmium sulfide, Solvothermal, Polyethylene glycol 400, Autoclave	
<p><b>چکیده‌ی فارسی:</b></p> <p>در این تحقیق نانوسیم‌های سولفید کادمیم (CdS) به روش حلالی-حرارتی تهیه شده‌اند. در این روش نیترات کادمیم و تیواوره به عنوان منابع یون‌های کادمیم و سولفید، اتیلن‌دی‌آمین به عنوان حلال و پلی‌اتیلن‌گلیکول 400 به عنوان یک قالب نرم جهت کنترل اندازه‌ی قطر و طول نانوساختارها مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور ساخت نانوسیم‌های CdS، ابتدا یون‌های کادمیم به خوبی در شبکه‌ی پلیمری پخش شدند. سپس تیواوره در اتیلن‌دی‌آمین حل شد و محلول حاصل به پلیمر حاوی یون‌های کادمیم اضافه گردید. محلول نهایی در یک محفظه‌ی بسته (اتوکلاو) با ظرفیت 50 ml ریخته شد. با قرار گرفتن اتوکلاو در کوره و حرارت دادن آن در دما و بازه‌ی زمانی مشخص، نانوساختارهای یک‌بعدی CdS به دست آمدند. هم‌چنین اثر پارامترهای گوناگون مربوط به رشد در فرآیند حلالی-حرارتی، از قبیل چرخش محلول توسط هم‌زن مغناطیسی، نوع حلال، غلظت ژل پلیمری، دما و زمان انجام واکنش بر ساختار، اندازه و ریخت‌شناسی نانوساختارهای CdS بررسی گردیده است. به منظور تعیین ساختار محصولات به دست آمده از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد. جهت بررسی اندازه‌ی قطر و میزان یکنواختی اندازه‌ی نانوساختارهای تولید شده، طیف‌سنج فرابنفش-مرئی (UV-visible) به کار گرفته شد و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، ریخت‌شناسی این نانوساختارها مطالعه گردید.</p>	

## حروف اختصاری:

CdS	Cadmium Sulfide
ODNS	One dimensional nanostructured materials
AFM	Atomic force microscope
SEM	Scanning electron microscope
XRD	X-ray diffraction
fcc	Face-Centered-Cubic
PEG	Polyethylene glycol
en	Ethylenediamine

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: مقدمه و اهداف پروژه</b>
2.....	1-1. مقدمه.....
4.....	2-1. کارهای انجام شده‌ی قبلی.....
5.....	3-1. اهداف پروژه.....
	<b>فصل دوم: سولفید کادمیم و اساس روش حلالی-حرارتی</b>
9.....	1-2. مقدمه.....
9.....	2-2. مواد نانوساختاری یک‌بعدی (ODNS).....
10.....	1-2-2. روش‌های ساخت.....
11.....	2-2-2. خواص و کاربردها.....
12.....	3-2. سولفید کادمیم.....
13.....	1-3-2. ساختارهای بلوری وور تسایت، بلندروی و نمک‌سنگی.....
15.....	2-3-2. کانی‌ها.....
16.....	3-3-2. فراوانی ایزوتوپی و وزن مولکولی.....
18.....	4-3-2. چگالی بلوری.....
19.....	5-3-2. خواص گرمایی.....
19.....	5-3-2-الف. نقطه‌ی ذوب.....
20.....	5-3-2-ب. گرمای ویژه.....
20.....	5-3-2-ج. دمای دبای.....
21.....	5-3-2-د. ضریب انبساط گرمایی.....
22.....	5-3-2-ه. رسانش گرمایی.....
23.....	6-3-2. خاصیت پیزوالکتریک.....
25.....	7-3-2. خاصیت پیروالکتریک.....

26.....	8-3-2. گاف نواری.....
28.....	9-3-2. رنگ.....
29.....	4-2. نانوسیم‌های CdS.....
29.....	1-4-2. خواص و کاربردها.....
30.....	2-4-2. روش‌های تولید.....
31.....	5-2. نظریه‌ی حاکم بر روش حلالی-حرارتی.....
31.....	1-5-2. اساس فرآیند حلالی-حرارتی.....
33.....	2-5-2. عوامل مؤثر بر فرآیند حلالی-حرارتی.....
33.....	2-5-2-الف. نوع و میزان مواد اولیه و حلال.....
34.....	2-5-2-ب. دما.....
35.....	2-5-2-ج. زمان.....
35.....	2-5-2-د. pH محلول.....
36.....	2-5-2-ه. عوامل دیگر.....
36.....	3-5-2. مزایا و معایب فرآیند.....
37.....	6-2. جمع بندی.....

### فصل سوم: ساخت نانوسیم‌های سولفید کادمیم به روش حلالی-حرارتی

40.....	1-3. مقدمه.....
41.....	2-3. مواد شیمیایی مورد استفاده.....
41.....	1-2-3. پلی‌اتیلن گلیکول 400 (PEG 400).....
42.....	2-2-3. نیترات کادمیم.....
43.....	3-2-3. اتیلن‌دی‌آمین (en).....
45.....	4-2-3. تیواوره.....
46.....	3-3. آماده‌سازی مواد اولیه.....
46.....	1-3-3. تولید یون‌های $Cd^{2+}$ در شبکه‌ی پلیمری.....



47.....	2-3-3. آب‌گیری کردن .....
48.....	3-3-3. افزودن منبع یون‌های $S^{2-}$ و حلال .....
48.....	4-3. قرار دادن محلول در اتوکلاو .....
50.....	5-3. گرمادهی در فور .....
50.....	6-3. شستشو .....
52.....	7-3. خشک کردن .....
53.....	8-3. مکانیزم رشد نانوسیم‌های CdS .....
54.....	9-3. بررسی ساختار نمونه توسط طیف پراش پرتو ایکس .....
54.....	1-9-3. دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) .....
56.....	2-9-3. بررسی طیف پراش پرتو X یک نمونه‌ی نوعی .....
58.....	10-3. بررسی ریخت‌شناسی نمونه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی .....
58.....	1-10-3. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) .....
60.....	2-10-3. آماده‌سازی نمونه جهت تصویر برداری SEM .....
60.....	3-10-3. بررسی ریخت‌شناسی یک نمونه‌ی نوعی با استفاده از SEM .....
61.....	11-3. بررسی طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی نمونه‌ها .....
61.....	1-11-3. دستگاه طیف سنج فرابنفش-مرئی .....
63.....	2-11-3. آماده‌سازی نمونه‌ها جهت طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی .....
64.....	3-11-3. بررسی طیف UV-visible یک نمونه‌ی نوعی .....
64.....	12-3. جمع‌بندی .....

## فصل چهارم: مطالعه‌ی خواص ساختاری نانوسیم‌های CdS تهیه شده به روش

### حلالی-حرارتی

67.....	1-4. مقدمه .....
68.....	2-4. بررسی اثر زمان واکنش در ساخت نانوسیم‌های CdS .....
68.....	1-2-4. بررسی طیف پراش پرتو ایکس .....

72.....	2-2-4. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی
77.....	3-2-4. طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی
79.....	3-4. بررسی اثر دمای واکنش در ساخت نانو سیم‌های CdS
80.....	1-3-4. بررسی طیف پراش پرتو ایکس
84.....	2-3-4. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی
89.....	3-3-4. طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی
92.....	4-4. بررسی اثر نوع حلال در ساخت نانوسیم‌های CdS
92.....	1-4-4. بررسی طیف پراش پرتو ایکس
95.....	2-4-4. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی
97.....	3-4-4. طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی
99.....	5-4. بررسی اثر غلظت ژل PEG 400 در ساخت نانوسیم‌های CdS
99.....	1-5-4. بررسی طیف پراش پرتو ایکس
104.....	2-5-4. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی
110.....	3-5-4. طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی
113.....	6-4. بررسی اثر چرخش محلول در ساخت نانوسیم‌های CdS
114.....	1-6-4. بررسی طیف پراش پرتو ایکس
116.....	2-6-4. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی
120.....	3-6-4. طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی
121.....	7-4. بحث و نتیجه‌گیری
126.....	8-4. پیشنهادات
127.....	مراجع
134.....	واژه نامه

صفحه	عنوان
14	شکل 2-1: برخی از ساختارهای بلوری مهم CdS: الف) الماسی، ب) بلندروی، ج) وورتسایت، د) نمک‌سنگی...
15	شکل 2-2: ساختار بلوری گرینوکایت.....
16	شکل 2-3: ساختار بلوری هاولیايت.....
19	شکل 2-4: $T_m$ به صورت تابعی از ثابت شبکه برای برخی از نیم‌رساناهای IV، III-V و II-VI در 300 K.....
21	شکل 2-5: $\theta_D$ به صورت تابعی از ثابت شبکه، برای برخی از نیم‌رساناهای IV و III-V و II-VI در 300 K.....
27	شکل 2-6: نمودار نوار انرژی برای الف) نیم‌رسانای گاف مستقیم، ب) نیم‌رسانای گاف غیر مستقیم.....
33	شکل 2-7: مراحل تولید نانوپودرها به روش حلالی-حرارتی.....
	شکل 2-8: طرح شماتیکی از مکانیزم نوردزنی جهت تشکیل نانوسیم‌های CdS در مدت زمان واکنش
35	24 ساعت تحت دماهای: الف) $80^\circ\text{C}$ ، ب) $120^\circ\text{C}$ ، ج) $140^\circ\text{C}$ .....
42	شکل 3-1: نمایی از نیترات کادمیم چهارآبه.....
44	شکل 3-2: الف) فرم مولکولی اتلین‌دی‌آمین، ب) نمایی از اتلین‌دی‌آمین و بخار متصاعد از آن.....
45	شکل 3-3: فرم مولکولی تیواوره.....
48	شکل 3-4: نمایی از سیستم به کار رفته جهت فرآیند آب‌گیری در این پروژه.....
49	شکل 3-5: نمایی از اتوکلاو مورد استفاده در این پروژه.....
50	شکل 3-6: نمایی از فور مورد استفاده در این پروژه.....
51	شکل 3-7: نمایی از دستگاه سانتریفیوژ مورد استفاده در این پروژه.....
52	شکل 3-8: نمایی از دستگاه روتاری و پمپ خلأ مورد استفاده در این پروژه.....
53	شکل 3-9: نمایی از پودر CdS تولید شده در این پروژه.....
55	شکل 3-10: نمایی از دستگاه XRD مورد استفاده در این پروژه.....
	شکل 3-11: الگوی پراش پرتو X نمونه‌ی تولید شده با استفاده از 5 گرم PEG 400 تحت دمای $170^\circ\text{C}$ و
57	زمان 3 روز.....
57	شکل 3-12: الگوی استاندارد پراش پرتوی X مربوط به سولفید کادمیم.....
59	شکل 3-13: نمایی از دستگاه SEM که تصویربرداری‌های این پروژه به‌وسیله آن انجام شده است.....

- شکل 3-14: نمایی از دستگاه مولد امواج مافوق صوت پروبی استفاده شده در این پروژه ..... 60
- شکل 3-15: تصویر SEM نمونه‌ی تولید شده با استفاده از 5 گرم PEG 400 تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و ..... 61
- زمان 3 روز ..... 61
- شکل 3-16: طرح یک دستگاه طیف‌سنج ماوراء بنفش - مرئی ساده ..... 62
- شکل 3-17: نمایی از دستگاه طیف سنج فرابنفش - مرئی مورد استفاده در این پروژه ..... 63
- شکل 3-18: نمایی از سل‌های کوارتز استفاده شده در این پروژه ..... 63
- شکل 3-19: طیف جذب UV-visible نمونه‌های تولید شده با استفاده از 5 گرم PEG 400 ..... 64
- تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز ..... 64
- شکل 4-1: طیف پراش پرتو X نمونه‌های تولید شده در زمان‌های مختلف ..... 69
- شکل 4-2: نمودار شدت‌های نسبی قله‌ها بر حسب زمان برای نمونه‌های تولید شده در ..... 71
- زمان‌های مختلف واکنش (الف): I(002)/I(100) و (ب): I(002)/I(110) ..... 71
- شکل 4-3: تصویر SEM نمونه‌ی تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و ..... 72
- زمان واکنش 12 ساعت ..... 72
- شکل 4-4: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  در ..... 73
- زمان‌های واکنش: (الف) 1 روز و (ب) 2 روز ..... 73
- شکل 4-5: تصویر SEM نمونه‌ی تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و ..... 74
- زمان واکنش 3 روز در دو بزرگنمایی متفاوت ..... 74
- شکل 4-6: تصویر SEM نمونه‌ی تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و ..... 75
- زمان واکنش 5 روز در دو بزرگنمایی متفاوت ..... 75
- شکل 4-7: تصویر SEM نمونه‌ی تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و ..... 76
- زمان واکنش 7 روز در دو بزرگنمایی متفاوت ..... 76
- شکل 4-8: طیف‌های جذب UV-visible نانوساختارهای تولید شده در زمان‌های مختلف ..... 78
- شکل 4-9: طیف پراش پرتو X نمونه‌های تولید شده در دماهای مختلف: ..... 81
- (الف):  $150^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ ، (ب):  $150^{\circ}\text{C} - 230^{\circ}\text{C}$  ..... 81

- شکل 4-10: نمودار شدت‌های نسبی قله‌ها بر حسب دما برای نمونه‌های تولید شده در دماهای مختلف واکنش: (الف):  $I(100)/I(002)$  و (ب):  $I(110)/I(002)$ ..... 83
- شکل 4-11: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، در مدت زمان 3 روز، تحت دماهای: (الف)  $70^{\circ}\text{C}$ ، (ب)  $90^{\circ}\text{C}$ ..... 85
- شکل 4-12: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، در مدت زمان 3 روز، تحت دماهای: (الف)  $110^{\circ}\text{C}$ ، (ب)  $130^{\circ}\text{C}$ ..... 86
- شکل 4-13: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، در مدت زمان 3 روز، تحت دماهای: (الف)  $150^{\circ}\text{C}$ ، (ب)  $160^{\circ}\text{C}$ ..... 87
- شکل 4-14: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، در مدت زمان 3 روز، تحت دماهای: (الف)  $200^{\circ}\text{C}$ ، (ب)  $230^{\circ}\text{C}$ ..... 88
- شکل 4-15: طیف‌های جذب UV-visible نانوساختارهای تولید شده در دماهای مختلف:  
(الف)  $130^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ ، (ب)  $230^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ ..... 90
- شکل 4-16: طیف پراش پرتو X نمونه‌های تولید شده با استفاده از حلال‌های مختلف..... 93
- شکل 4-17: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده با مقدار 5 گرم PEG 400، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز، در حلال‌های مختلف: (الف) آب، (ب) آب-اتیلن‌دی‌آمین..... 96
- شکل 4-18: طیف‌های جذب UV-visible نانوساختارهای تولید شده در حلال‌های مختلف..... 97
- شکل 4-19: طیف پراش پرتو X نمونه‌های تولید شده با مقادیر مختلف PEG 400:  
(الف)  $\leq 5\text{ gr}$ ، (ب)  $5\text{ gr} \leq$ ..... 100
- شکل 4-20: نمودار شدت‌های نسبی قله‌ها بر حسب جرم پلیمر برای نمونه‌های تولید شده با جرم‌های مختلفی از PEG 400: (الف):  $I(100)/I(002)$  و (ب):  $I(110)/I(002)$ ..... 103
- شکل 4-21: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده در حلال اتیلن‌دی‌آمین، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز: (الف) بدون استفاده از PEG 400، (ب) با استفاده از 1 گرم PEG 400..... 105
- شکل 4-22: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده در حلال اتیلن‌دی‌آمین، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز با استفاده از: (الف) 3 گرم PEG 400، (ب) 4 گرم PEG 400..... 106

- شکل 4-23: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده در حلال اتیلن‌دی‌آمین، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز با استفاده از: (الف) 4/5 گرم PEG 400، (ب) 6 گرم PEG 400 ..... 107
- شکل 4-24: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده در حلال اتیلن‌دی‌آمین، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز با استفاده از: (الف) 6/5 گرم PEG 400، (ب) 7 گرم PEG 400 ..... 108
- شکل 4-25: تصاویر SEM نمونه‌های تولید شده در حلال اتیلن‌دی‌آمین، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز با استفاده از: (الف) 8 گرم PEG 400، (ب) 9 گرم PEG 400 ..... 109
- شکل 4-26: طیف‌های جذب UV-Visible نانوساختارهای تولید شده با مقادیر مختلف PEG 400: (الف)  $4/5 \text{ gr} \leq$ ، (ب)  $5 \text{ gr} \leq$  ..... 111
- شکل 4-27: طیف پراش پرتو X نمونه‌های تولید شده در شرایط مختلفی از چرخش محلول‌ها توسط هم‌زن مغناطیسی ..... 114
- شکل 4-28: تصویر SEM ساختار تولید شده با استفاده از 5 گرم PEG 400 و حلال اتیلن‌دی‌آمین، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز: بدون چرخش محلول‌ها توسط هم‌زن مغناطیسی ..... 117
- شکل 4-29: تصاویر SEM ساختارهای تولید شده با استفاده از 5 گرم PEG 400 و حلال اتیلن‌دی‌آمین، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز: (الف) با چرخش محلول 3 توسط هم‌زن مغناطیسی، (ب) با چرخش محلول 2 توسط هم‌زن مغناطیسی ..... 118
- شکل 4-30: تصویر SEM ساختار تولید شده با استفاده از 5 گرم PEG 400 و حلال اتیلن‌دی‌آمین، تحت دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و زمان 3 روز: با چرخش محلول 1 توسط هم‌زن مغناطیسی ..... 119
- شکل 4-31: طیف‌های جذب UV-visible نانوساختارهای تولید شده در شرایط مختلفی از چرخش محلول‌ها توسط هم‌زن مغناطیسی ..... 120

عنوان	صفحه
جدول 2-1: انواع ایزوتوپ‌های Cd و S به‌همراه درصد فراوانی آن‌ها.....	17
جدول 2-2: ثابت‌های شبکه و چگالی بلوری ساختارهای وورتسایت و بلندروی CdS در دمای اتاق (300K).....	18
جدول 2-3: تانسور ضریب‌انبساط گرمایی فازهای مکعبی و شش‌وجهی نیم‌رساناها.....	22
جدول 2-4: تانسور رسانش گرمایی مربوط به فازهای مکعبی و شش‌وجهی نیم‌رساناها.....	23
جدول 2-5: تانسور استرس پیزوالکتریک [e] برای ساختارهای مکعبی و شش‌وجهی.....	24
جدول 2-6: ثابت‌های استرس پیزوالکتریک $e_{ij}$ برای ساختار شش‌وجهی CdS و برخی دیگر از نیم‌رساناهای II-VI.....	24
جدول 2-7: ضرایب پیزوالکتریک CdS به‌همراه چند فروالکتریک ضعیف دیگر از گروه II-VI.....	26
جدول 3-1: برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های PEG 400.....	42
جدول 3-2: برخی از خواص نیترات کادمیم.....	43
جدول 3-3: برخی از ویژگی‌های en.....	44
جدول 3-4: برخی از ویژگی‌های تیواوره.....	46
جدول 3-5: مشخصات کامل اتوکلاو مورد استفاده در این پروژه.....	49
جدول 4-1: ثابت‌های شبکه‌ی ساختار نمونه‌های تولید شده در زمان‌های مختلف.....	70
جدول 4-2: شکل هندسی، میانگین اندازه‌ی قطر و طول نانوساختارهای تولید شده در زمان‌های مختلف.....	77
جدول 4-3: ثابت‌های شبکه‌ی ساختار نمونه‌های تولید شده در دماهای مختلف.....	82
جدول 4-4: شکل هندسی، میانگین اندازه‌ی قطر و طول نانوساختارهای تولید شده در دماهای مختلف.....	89
جدول 4-5: ثابت‌های شبکه‌ی ساختار نمونه‌های تولید شده با استفاده از حلال‌های مختلف.....	94
جدول 4-6: تغییر شدت‌های نسبی $I(002)/I(100)$ و $I(002)/I(110)$ بر حسب نوع حلال مورد استفاده.....	94
جدول 4-7: شکل هندسی، میانگین اندازه‌ی قطر و طول نانوساختارهای تولید شده در حلال‌های مختلف.....	97
جدول 4-8: ثابت‌های شبکه‌ی ساختار نمونه‌های تولید شده با مقادیر مختلف PEG 400.....	101

جدول 4-9: شکل هندسی، میانگین اندازه‌ی قطر و طول نانوساختارهای تولید شده با	
مقادیر مختلف PEG 400.....	110
جدول 4-10: ثابت‌های شبکه‌ی ساختار نمونه‌های تولید شده در شرایط مختلف چرخش	
محلول‌ها توسط هم‌زن مغناطیسی .....	115
جدول 4-11: تغییر شدت‌های نسبی I(002)/I(100) و I(002)/I(110) بر حسب شرایط مختلف چرخش	
محلول‌ها .....	116
جدول 4-12: شکل هندسی، میانگین اندازه‌ی قطر و طول نانوساختارهای تولید شده در	
شرایط مختلف چرخش محلول‌ها توسط هم‌زن مغناطیسی .....	119



## فصل اول

### مقدمه و اهداف پروژه

## فصل اول

### مقدمه و اهداف پروژه

#### 1-1. مقدمه

اخيراً نانوساختارهای یک بعدی مانند نانوسیم‌ها، نانومیله‌ها، نانوتسمه‌ها و نانولوله‌ها توجه محققین زیادی را به خود اختصاص داده است، زیرا این نانوساختارها یک سیستم ایده‌آل را جهت بررسی وابستگی ابعادی، اندازه‌ی خواص الکتریکی و اپتیکی نانومواد فراهم کرده و انتظار می‌رود که نقش مهمی را به عنوان واحدهای اتصالی و اساسی در ساختن دستگاه‌های الکترونیکی، اپتوالکترونیکی، الکتروشیمیایی و الکترومکانیکی با ابعاد نانومتری ایفا نمایند [1].

در میان انواع مختلف نانوساختارهای یک بعدی، نیم‌رساناهای یک بعدی به دلیل دارا بودن خواص فیزیکی و ساختاری منحصر به فرد در مقایسه با ساختار توده‌ای آن‌ها و کاربردهای تکنولوژیکی بالقوه‌شان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند [2]. خواص جدید این نانوساختارها

که ذاتاً وابسته به محدودیت بعد و اندازه‌ی کوچک‌شان می‌باشد، ساختن از پائین به بالای دستگاه‌ها را ممکن می‌سازد. به دلیل کاربرد بالقوه‌ی آن‌ها در نانودستگاه‌ها، نیم‌رساناهای یک‌بعدی به عنوان یکی از ده تکنولوژی برتر در بازبینی فنی انجام شده در سال 2003 توسط MIT انتخاب شده‌اند [3].

نانوسیم‌های نیم‌رسانا کاربردهای اپتیکی گسترده‌ای دارند. قطرهای زیر طول موج و نسبت‌های ظاهری بالای این نانوسیم‌ها به همراه گذردهی (ثابت دی الکتریک) بالای نیم‌رساناها، منجر به ناهمسانگردی قوی اپتیکی می‌گردد. این نانوساختارها امکانات جدیدی از تولیدات آینده‌ی اجزای اپتیکی و اپتوالکترونیکی را پیشنهاد خواهند کرد که از آن جمله می‌توان به کاربرد نانوسیم‌های نیم‌رسانا به عنوان لیزرها، آشکارسازهای نوری حساس قطبیدگی و منبعی برای فوتون‌های منفرد اشاره کرد [3].

کنترل بالا بر ترکیب مواد و ساخت نانوسیم‌ها، منطقی امیدبخش جهت کاربردهای نوین می‌باشد. تاکنون انواع زیادی از نیم‌رساناهای یک‌بعدی شامل نیم‌رساناهای تک‌عنصری و مرکب، به طور موفقیت‌آمیز با روش‌های متنوعی تولید شده‌اند. فرآیندهایی هم‌چون رشد بر پایه‌ی فاز بخار (رشد بخار - مایع - جامد، سایش لیزری،...)، رشد بر پایه‌ی فاز محلول براساس رسوبدهی از محلول‌های همگن (رشد محلول - مایع - جامد، حلالی-حرارتی<sup>1</sup> / آبی-حرارتی<sup>2</sup>، محلول - آلی دما - بالا<sup>3</sup>، محلول - آبی دما - پائین<sup>4</sup>،...) و رشد بر پایه‌ی فاز جامد مشتمل بر قالب‌ها یا زیرلایه‌های جامد (تبدیل شیمیایی قالب‌های فداشونده‌ی یک‌بعدی، رشد جهت‌دار نانوساختارهای یک‌بعدی آراسته شده بر زیرلایه‌ی جامد،...) در تولید موفقیت‌آمیز نانوسیم‌های نیم‌رسانا گزارش شده‌اند [4].

<sup>1</sup> Solvothermal

<sup>2</sup> Hydrothermal

<sup>3</sup> High-temperature organic-solution

<sup>4</sup> Low-temperature aqueous-solution

فرآیند حلالی-حرارتی، یکی از کارآمدترین روش‌های تولید نانوسیم‌های نیم‌رسانا است. عملیات در دماهای نسبتاً پائین، ابزار کم هزینه، حمل و نقل (جابجایی) آسان و سادگی در کنترل ساخت، این فرآیند را به یک روش قدرتمند جهت تولید نانوسیم‌ها در مقیاس وسیع تبدیل کرده است [4].

## 2-1. کارهای انجام شده‌ی قبلی

واژه‌ی حلالی-حرارتی برای نخستین بار در اوایل 1990، حین گسترش به‌کارگیری حلال‌های غیرآبی، توسط ژرارد دومازو<sup>1</sup> و همکارانش پیشنهاد شد [5]. در سال 1993، هیث<sup>2</sup> و لیگس<sup>3</sup> در به‌کاربردن روش حلالی-حرارتی برای رشد نانوسیم‌های نیم‌رسانای Ge پیشقدم شدند [6]. پس از آن، این روش به‌طور گسترده‌ای برای تولید گستره‌ی انبوهی از نیم‌رساناهای یک‌بعدی به‌کار گرفته شد [4].

در دهه‌ی اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی در تولید نانو ساختارهای یک‌بعدی نیم‌رسانا توسط فرآیند حلالی-حرارتی صورت گرفته است. در سال 2000، گروه کی‌ین<sup>4</sup>، نانوسیم‌ها و نانومیله‌های CdS را به روش حلالی-حرارتی تولید کردند [7]. در همان سال، چان<sup>5</sup> و همکارانش یک روش حلالی-حرارتی کنترل شده با پلیمر (پلی‌اکریل‌آمید) را برای ساخت نانوسیم‌های CdS با نسبت ظاهری (نسبت طول به قطر) بالا به‌کار بردند [8]. لیو<sup>6</sup> و سونگ<sup>7</sup> در سال 2003، ساخت یک مجموعه‌ی شبه بوت‌ه‌ای از نانومیله‌های ZnO، توسط فرآیند حلالی-حرارتی را گزارش دادند [9].

<sup>1</sup> Gerard Demazeau

<sup>2</sup> Heath

<sup>3</sup> Legoues

<sup>4</sup> Qian

<sup>5</sup> Zhan

<sup>6</sup> Liu

<sup>7</sup> Zeng