

سلامی



دانشگاه کردستان  
دانشکده علوم  
گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد  
گرایش حالت جامد

عنوان

# ساخت نانوسیم‌های آلیاژی کبالت- کروم و بررسی تأثیر شرایط انباشت بر خواص مغناطیسی نانوسیم‌ها

اساتید راهنما

دکتر زهرا عالمی پور  
دکتر مرگان نجفی

استاد مشاور

علی آفتابی

نگارش

ایمان حسن زاده مورویی

اسفند ۱۳۹۱

تقدیم بہ

شاہکار خلقت

مادر

و

تقدیم

بہ تکیہ گاہ زندگیم

پدر

## خدایا...

به من زیستنی عطا کن که در لحظه مرگ بر بی‌ثمری لحظه‌ای که برای زیستن گذشته است حسرت نخورم و مردنی عطا کن که بر بیهودگی‌اش سوگوار نباشم. بگذار تا آن را، خود انتخاب کنم.

## خدایا

به من توفیق تلاش در شکست، صبر در نومی‌دی، جهاد بی‌سلاح، کار بی‌پاداش، فداکاری در سکوت، دین بی‌دنیا، مذهب بی‌عوام، عظمت بی‌نام، خدمت بی‌نان، ایمان بی‌ریا، خوبی بی‌نمود، گستاخی بی‌خامی، قناعت بی‌غرور، عشق بی‌هوس و دوست داشتن بی‌آنکه دوست بدانند روزی کن.

اگر تنها ترین تنها شوم، باز خدا هست

او جانشین همه نداشتن‌هاست...

# سپاس‌گزاری...

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست. در آغاز وظیفه‌ی خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمای خود، سرکار خانم دکتر زهرا عالمی‌پور و سرکار خانم دکتر مژگان نجفی و جناب آقای علی آفتابی صمیمانه تشکر و قدردانی کنم که قطعاً بدون راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید.

در اینجا وظیفه‌ی خود می‌دانم از استاد مشاور خوب و دلسوز و مهربانم آقای علی آفتابی تشکر ویژه‌ای داشته باشم که هم از لحاظ علمی و هم از لحاظ اخلاقی چیزهای زیادی از ایشان آموختم. امیدوارم که در تمامی مراحل زندگی موفق و مؤید باشند.

از اساتید دوره‌ی کارشناسی‌ام جناب آقای دکتر رنجبر، جناب آقای دکتر خان زاده و اساتید دوره‌ی کارشناسی ارشدم جناب آقای دکتر سروری، جناب آقای دکتر سلیمی و جناب آقای دکتر کرمی به پاس دلسوزی‌هایشان سپاس‌گزارم.

در پایین نه در آخر، بوسه می‌زنم بر دستان خداوندگار مهر و مهربانی، مادر و پدر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می‌کنم وجود مقدسشان را و تشکر می‌کنم از برادران عزیز و خواهر مهربانم به پاس عاطفه‌ی سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان، که در این سردترین روزگاران، بهترین پشتیبان من بودند.

در پایان تشکر می‌کنم از دوستان خوبم هادی ایوبی، رضا آقامعلی‌پور، داوود بیننده، ابوالحسن محمدی، طیب گل‌عنبری، مسعود منصوری، احمد رحمانی، سلام علیمزادی، مهدی قربانی، وحید احمدوند، نسیم رستگار، سمیه قادری و فاطمه رجیبی که هر یک به‌نحوی در دوره‌ی تحصیلی کارشناسی ارشد مرا یاری کردند.

## چکیده

در این پژوهش ابتدا قالب‌های اکسید آلومینای آندی به روش آندایز دو مرحله‌ای ساخته می‌شوند. آندایز با سه اسید مختلف اکسالیک، سولفوریک و فسفریک در شرایط مختلف انجام می‌شود. با این روش قالب‌هایی با حفره‌های استوانه‌ای با قطرهای مختلف ساخته می‌شوند. سپس با استفاده از این قالب‌ها، آرایه‌ای از نانوسیم‌های کبالت-کروم با دو نمک کلرید و سولفات به روش الکتروانباشت جریان متناوب ساخته و اثرات اضافه کردن کروم در هر دو نمک بررسی می‌شوند. خواص مغناطیسی و ساختار شیمیایی و بلوری نمونه‌ها به وسیله‌ی دستگاه‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (*SEM*)، میکروسکوپ نیروی اتمی (*AFM*)، طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس (*XRD*)، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی اشعه ایکس (*EDX*) و مغناطوسنجی نیروی گرادیان متناوب (*AGFM*) اندازه‌گیری می‌شوند. بررسی نتایج نشان می‌دهد در نمک کلرید نمونه  $Co_{0.25}Cr_{0.75}$  به عنوان نمونه بهینه بوده و ساختار بلوری برای قبل و بعد تابکاری تغییری نکرده و همان *hcp* است. همچنین مشاهده می‌شود که میدان وادارندگی این نمونه از ۱۲۷۰ اورستد به ۱۸۶۰ اورستد و نسبت مربعی از ۰/۸۹ به ۰/۹۶ بعد از تابکاری بهبود پیدا می‌کند. در نمک سولفات نمونه  $Co_{0.75}Cr_{0.25}$  به عنوان نمونه بهینه انتخاب شد. الگوی پراش پرتو X گرفته شده از این نمونه نشان می‌دهد که بعد از تابکاری همه پیک‌های موجود قبل از تابکاری وجود دارند، ولی نسبت شدت پیک (۱۱۱) مربوط به ساختار *fcc* به پیک (۱۰۱) مربوط به *hcp* رشد می‌کند. نسبت این دو پیک قبل تابکاری ۰/۸۷ بوده در حالی که بعد تابکاری برابر با ۰/۹۸ می‌شود، یعنی ساختار *hcp* به ساختار *fcc* در حال گذار است و همین عامل باعث می‌شود خواص مغناطیسی بهبود پیدا کنند. همچنین مشاهده می‌شود که میدان وادارندگی این نمونه از ۱۱۴۲ اورستد به ۱۷۹۰ اورستد و نسبت مربعی از ۰/۷۵ به ۰/۹۲ بعد از تابکاری بهبود پیدا خواهد کرد.

**کلمات کلیدی:** الکتروانباشت، نانوسیم، وادارندگی، نسبت مربعی، اکسید آلومینوم آندی

# فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۱	۱.۱ اهمیت نانومغناطیس	۱
۲	۲.۱ اهمیت مطالعه و ساخت نانوسیم‌ها	۲
۴	۲ خواص مغناطیسی	۴
۴	۱.۲ رفتار مغناطیسی مواد	۴
۵	۱.۱.۲ مهمترین پارامترهای توصیف رفتار مغناطیسی مواد	۵
۶	۲.۱.۲ فرومغناطیس	۶
۹	۳.۱.۲ منحنی پسماند	۹
۱۰	۴.۱.۲ بررسی ناهمسانگردی و روش‌های بدست آوردن ثابت‌های ناهمسانگردی	۱۰
۱۵	۵.۱.۲ تعیین جهت‌های آسان با استفاده از ثابت‌های ناهمسانگردی	۱۵
۱۶	۶.۱.۲ روش‌های اندازه‌گیری ثابت‌های ناهمسانگردی در یک کریستال	۱۶
۲۳	۷.۱.۲ ناهمسانگردی شکلی	۲۳
۲۵	۸.۱.۲ مکانیسم تشکیل حوزه‌ها در مواد فرومغناطیس	۲۵
۲۶	۹.۱.۲ مکانیسم وارونگی مغناطیس	۲۶
۲۹	۳ ساخت نانوسیم‌های مغناطیسی با استفاده از قالب اکسید آلومینیوم آندی	۲۹

۲۹	اکسید آلومینیوم متخلخل آندی	۱.۳
۳۰	چگونگی تهیه قالب آلومینای آندی	۲.۳
۳۰	پیش‌آماده سازی آلومینیوم خالص	۱.۲.۳
۳۳	آندایز	۲.۲.۳
۳۶	قطره حفره	۳.۲.۳
۳۷	فاصله‌ی بین حفره‌ای	۳.۳
۳۷	ضخامت دیواره سلول	۴.۳
۳۸	لایه‌ی سدی	۵.۳
۳۸	برداشتن لایه‌ی سدی	۱.۵.۳
۳۹	نازک کردن لایه‌ی سدی	۲.۵.۳
۳۹	الکتروانباشت	۶.۳
۴۲	کاربرد نانوسیم‌های مغناطیسی	۷.۳
۴۲	حافظه‌های مغناطیسی	۱.۷.۳
۴۴	مقاومت مغناطیسی بزرگ در نانوسیم‌های مغناطیسی	۲.۷.۳
۴۵	<b>۴ ساخت نانوسیم‌های کبالت-کروم، نتایج و تحلیل نتایج</b>	
۴۵	ساخت قالب اکسید آلومینیوم متخلخل آندی	۱.۴
۴۵	آماده سازی ورقه آلومینیوم برای آندایز	۱.۱.۴
۴۶	آندایز اول	۲.۱.۴
۴۷	سونش	۳.۱.۴
۴۸	آندایز مرحله دوم	۴.۱.۴



۴۸	..... ساخت آرایه‌ای از نانوسیم‌های $Co_xCr_{1-x}$	۲.۴
۵۰	..... نتایج	۳.۴
۵۰	..... مورفولوژی قالب‌ها و نانوسیم‌ها	۱.۳.۴
۵۱	..... اثر نمک کلرید بر خواص مغناطیسی و ساختار بلوری نانوسیم‌های کبالت-کروم	۴.۴
۵۲	..... اثر اضافه کردن کروم کلرید بر خواص مغناطیسی نانوسیم‌های کبالت تهیه شده از نمک کلرید	۱.۴.۴
۵۴	..... اثر تابکاری بر خواص مغناطیسی نانوسیم‌های کبالت-کروم تهیه شده از نمک کلرید	۲.۴.۴
	..... اثر تغییر فرکانس الکترواناباشت بر خواص مغناطیسی نمونه ۷/۵ درصد مولی کروم در محلول	۳.۴.۴
۵۶	..... الکتروولیت	
۵۸	..... اثر تغییر ولتاژ بر خواص مغناطیسی نمونه ۷/۵ درصد مولی کروم در محلول الکتروولیت	۴.۴.۴
۵۹	..... اثر تغییر نمک بر خواص مغناطیسی نمونه ۷/۵ درصد مولی کروم در محلول الکتروولیت	۵.۴.۴
۶۰	..... اثر نمک سولفات بر خواص مغناطیسی و ساختار بلوری نانوسیم‌های کبالت-کروم	۵.۴
	..... اثر اضافه کردن سولفات کروم بر خواص مغناطیسی نانوسیم‌های کبالت که با نمک سولفات	۱.۵.۴
۶۱	..... ساخته شده است	
۶۳	..... اثر تابکاری بر خواص مغناطیسی نانوسیم‌های کبالت-کروم تهیه شده از نمک سولفات	۲.۵.۴
	..... اثر تغییر فرکانس الکترواناباشت بر خواص مغناطیسی نمونه ۲/۵ درصد مولی کروم در محلول	۳.۵.۴
۶۵	..... الکتروولیت	
۶۶	..... اثر تغییر ولتاژ بر خواص مغناطیسی نمونه ۲/۵ درصد مولی کروم در محلول الکتروولیت	۴.۵.۴
۶۸	..... اثر تغییر قطر بر خواص مغناطیسی نمونه ۲/۵ درصد مولی کروم در محلول الکتروولیت	۵.۵.۴
۷۱	..... اثر تغییر نمک بر خواص مغناطیسی نمونه ۲/۵ درصد مولی کروم در محلول الکتروولیت	۶.۵.۴
۷۳	..... نتیجه‌گیری	۶.۴



# فهرست تصاویر

- ۱.۱ تکامل ضبط مغناطیسی، چگالی سطحی دیسک سخت بر حسب گیگابایت در هر اینچ مربع به صورت تابعی از سالی که تولیدات به بازار آمده است [۶]. . . . . ۲
- ۱.۲ (الف) گشتاور مغناطیسی اسپینی که ناشی از چرخش الکترون به دور خودش است (ب) گشتاور مغناطیسی مداری که ناشی از چرخش الکترون به دور هسته می‌باشد [۹]. . . . . ۵
- ۲.۲ (الف) مجموعه‌ای از اتم‌های دایره‌ای شکل که دارای گشتاور مغناطیسی هستند (ب) قرار دادن این مجموعه اتم‌ها در میدان مغناطیسی و محاسبه مغناطش در نقطه  $p$  [۱۱]. . . . . ۸
- ۳.۲ منحنی  $\beta$  - اسلاتر [۱۱]. . . . . ۹
- ۴.۲ نمونه‌ای از یک حلقه‌ی پسماند مغناطیسی و پارامترهای متناظر [۱۳]. . . . . ۱۰
- ۵.۲ برهم‌کنش‌های اسپین - مدار - شبکه [۱۱]. . . . . ۱۲
- ۶.۲ زوایایی که بردار مغناطش اشباع با محورهای بلور می‌سازد [۱۱]. . . . . ۱۲
- ۷.۲ سه جهت اصلی بلورشناسی برای بلوری با ساختار مربعی [۱۶]. . . . . ۱۳
- ۸.۲ منحنی مغناطش بر حسب میدان اعمالی و تعیین جهت‌های آسان مغناطش برای آهن [۱۱]. . . . . ۱۳
- ۹.۲ ساختارهای حوزه‌ای در دیسک بلوری آهن که در آن میدان اعمالی در جهت  $[010]$  است [۱۶]. . . . . ۱۴
- ۱۰.۲ ساختارهای حوزه‌ای در دیسک بلوری آهن که در آن میدان اعمالی در جهت  $[110]$  است [۱۶]. . . . . ۱۴
- ۱۱.۲ منحنی‌های مغناطش کبالت [۱۱]. . . . . ۱۵

- ۱۲.۲ نمونه دیسکی شکل تک محوری که در یک میدان مغناطیسی اشباع قرار گرفته است [۱۱]. . . . . ۱۶
- ۱۳.۲ تغییرات انرژی ناهمسانگردی و گشتاور بر حسب زاویه برای کریستال تک محوری [۱۱]. . . . . ۱۷
- ۱۴.۲ نمونه‌ی دیسکی شکل که با جهت  $[100]$  زاویه  $\theta$  می‌سازد [۱۱]. . . . . ۱۸
- ۱۵.۲ تغییرات گشتاور  $L$  بر حسب زاویه در صفحه  $[001]$  برای کریستال مکعبی با  $K_1 > 0$  [۱۱]. . . . . ۱۸
- ۱۶.۲ دیسکی که دارای ناهمسانگردی سه محوری است [۱۱]. . . . . ۱۹
- ۱۷.۲ نمودار قطبی انرژی ناهمسانگردی بلوری به عنوان تابعی از جهت در صفحه  $[001]$  برای یک کریستال مکعبی. . . . .
- ۲۰ در اینجا  $K_1 > 0$  و برابر با  $5K_0$  در نظر گرفته شده است [۱۱]. . . . . ۲۰
- ۱۸.۲ منحنی مغناطش برای حالتی که میدان اعمالی در جهت آسان باشد [۱۱]. . . . . ۲۰
- ۱۹.۲ (الف) زوایای بین میدان اعمالی و کسینوس‌های هادی (ب) منحنی مغناطش برای حالتی که میدان اعمالی در جهت  $[011]$  باشد [۱۱]. . . . . ۲۱
- ۲۰.۲ منحنی مغناطش بدست آمده از تئوری و تجربه برای آهن سیلیکن [۱۱]. . . . . ۲۲
- ۱.۳ نمونه‌ای از نحوه‌ی چیدمان تجهیزات برای انجام الکتروپولیش [۲۸]. . . . . ۳۲
- ۲.۳ ساختار ایده‌آل اکسید آلومینیوم متخلخل آندی [۳۶]. . . . . ۳۴
- ۳.۳ مراحل آندایز دو مرحله‌ای الف) آلومینیوم الکتروپولیش شده ب) آندایز مرحله اول پ) سونش شیمیایی ت) آندایز مرحله دوم [۵۱]. . . . . ۳۶
- ۱.۴ نمودار جریان الکتروپولیش بر حسب زمان . . . . . ۴۶
- ۲.۴ منحنی تغییرات چگالی جریان بر حسب زمان طی یک ساعت اول فرآیند آندایز مرحله‌ی اول. . . . . ۴۷
- ۳.۴ حفره‌های نامنظم تشکیل شده بعد از آندایز اول با اسید اکسالیک. . . . . ۴۷
- ۴.۴ تغییرات چگالی جریان بر حسب زمان در آندایز مرحله دوم و مرحله‌ی نازک سازی لایه سدی. . . . . ۴۹
- ۵.۴ حفره‌های منظم تشکیل شده بعد از آندایز دوم با اسید اکسالیک. . . . . ۵۰

- ۶.۴ تصویر سه بعدی از حفره‌های منظم تشکیل شده بعد از آندایز دوم با اسید اکسالیک. . . . . ۵۰
- ۷.۴ تصویر SEM از سطح قالب اکسید آلومینیوم متخلخل آندی؛ آندایز با اسید فسفریک ۰/۳ مولار، ولتاژ ۱۷۰ ولت، دمای صفر درجه درجه سانتیگراد و به مدت ۱/۵ ساعت انجام شده است. . . . . ۵۱
- ۸.۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع عرضی قالب اکسید آلومینیوم آندی متخلخل بعد از آندایز دوم با اسید فسفریک. . . . . ۵۱
- ۹.۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوسیم‌های کبالت. . . . . ۵۲
- ۱۰.۴ حلقه پسماند نانوسیم‌های کلرید کبالت خالص؛ میدان خارجی موازی و عمود بر محور نانوسیم‌ها. . . . . ۵۲
- ۱۱.۴ منحنی پسماند نمونه‌هایی با درصد‌های مختلف یونی کبالت و کروم در الکترولیت الکتروانباشت، میدان خارجی در جهت موازی با محور طولی نانوسیم‌ها اعمال شده است. . . . . ۵۳
- ۱۲.۴ نمودار میدان وادارندگی و نسبت مربعی نانوسیم‌های آلیاژی کبالت- کروم نسبت به تغییر غلظت مولی کروم در الکترولیت الکتروانباشت. . . . . ۵۴
- ۱۳.۴ طیف مربوط به EDX برای نمونه ۶/۵ درصد مولی کروم در محلول الکترولیت. . . . . ۵۴
- ۱۴.۴ منحنی میدان وادارندگی نسبت به درصد مولی کروم در الکترولیت؛ تابکاری شده در دماهای مختلف. . . . . ۵۵
- ۱۵.۴ منحنی مربعی بودن نسبت به درصد مولی کروم در الکترولیت؛ تابکاری شده در دمای قبل و بعد از تابکاری در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد. . . . . ۵۶
- ۱۶.۴ الگوی پراش پرتو ایکس از نمونه ۷/۵ درصد مولی کروم کلرید در محلول الکترولیت، قبل از تابکاری و تابکاری شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد. . . . . ۵۷
- ۱۷.۴ نمودار میدان وادارندگی نسبت به تغییر فرکانس الکتروانباشت برای نمونه ۷/۵ درصد کروم؛ قبل از تابکاری و تابکاری شده در دماهای مختلف. . . . . ۵۷

- ۱۸.۴ نمودار نسبت مربعی بر حسب تغییر فرکانس الکتروانباشت برای نمونه ۷/۵ درصد کروم؛ قبل از تابکاری و تابکاری  
 ۵۸ . . . . . شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد . . . . .
- ۱۹.۴ نمودار تغییرات وادارندگی بر حسب تغییر ولتاژ الکتروانباشت برای نمونه ۷/۵ درصد کروم؛ قبل از تابکاری و  
 ۵۸ . . . . . تابکاری شده در دماهای مختلف . . . . .
- ۲۰.۴ نمودار نسبت مربعی بر حسب تغییر ولتاژ الکتروانباشت برای نمونه ۷/۵ درصد کروم؛ قبل از تابکاری و تابکاری  
 ۵۹ . . . . . شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد . . . . .
- ۲۱.۴ نمودار میدان وادارندگی بر حسب دما برای دو محلول الکترولیت مختلف که کلیه شرایط انباشت برای هر دو  
 ۵۹ . . . . . محلول یکسان بوده است . . . . .
- ۲۲.۴ نمودار نسبت مربعی برای دو نمک سولفات و کلرید در دماهای مختلف . . . . .  
 ۶۰ . . . . .
- ۲۳.۴ حلقه پسماند نانوسیم های سولفات کبالت خالص؛ میدان خارجی موازی و عمود بر محور نانوسیم ها. . . . .  
 ۶۱ . . . . .
- ۲۴.۴ منحنی پسماند نمونه هایی با درصدهای مختلف یونی کبالت و کروم در الکترولیت الکتروانباشت، میدان خارجی  
 ۶۱ . . . . . در جهت موازی با محور طولی نانوسیم ها اعمال شده است. . . . .
- ۲۵.۴ نمودار میدان وادارندگی و نسبت مربعی نانوسیم های آلیاژی کبالت- کروم نسبت به تغییر غلظت مولی کروم در  
 ۶۲ . . . . . الکترولیت الکتروانباشت. . . . .
- ۲۶.۴ طیف مربوط به تحلیل EDX برای نمونه ۵ درصد مولی کروم در محلول الکترولیت . . . . .  
 ۶۳ . . . . .
- ۲۷.۴ منحنی میدان وادارندگی نسبت به درصد مولی کروم در الکترولیت؛ تابکاری شده در دماهای مختلف . . . . .  
 ۶۴ . . . . .
- ۲۸.۴ منحنی مربعی بودن نسبت به درصد مولی کروم در الکترولیت؛ تابکاری شده در دمای قبل و بعد از تابکاری . . . . .  
 ۶۴ . . . . .
- ۲۹.۴ الگوی پراش پرتو ایکس از نمونه ۲/۵ درصد مولی کروم در محلول الکترولیت ، قبل از تابکاری و تابکاری شده  
 ۶۵ . . . . . در دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد . . . . .

- ۳۰.۴ نمودار میدان وادارندگی نسبت به تغییر فرکانس الکتروانباشت برای نمونه ۲/۵ درصدکروم؛ قبل از تابکاری و تابکاری شده در دماهای مختلف . . . . . ۶۶
- ۳۱.۴ نمودار نسبت مربعی بر حسب تغییر فرکانس الکتروانباشت برای نمونه ۲/۵ درصدکروم؛ قبل از تابکاری و تابکاری شده در دماهای مختلف . . . . . ۶۷
- ۳۲.۴ نمودار تغییرات وادارندگی بر حسب تغییر ولتاژ الکتروانباشت برای نمونه ۲/۵ درصدکروم؛ قبل از تابکاری و تابکاری شده در دماهای مختلف . . . . . ۶۷
- ۳۳.۴ نمودار نسبت مربعی بر حسب تغییر ولتاژ الکتروانباشت برای نمونه ۲/۵ درصدکروم؛ قبل از تابکاری و تابکاری شده در دماهای مختلف . . . . . ۶۸
- ۳۴.۴ حفره‌های نامنظم تشکیل شده بعد از آندایز اول با اسید سولفوریک . . . . . ۶۸
- ۳۵.۴ تصویر حفره‌های منظم تشکیل شده بعد از آندایز دوم با اسید سولفوریک . . . . . ۶۹
- ۳۶.۴ تصویر سه بعدی حفره‌های منظم تشکیل شده بعد از آندایز دوم با اسید سولفوریک . . . . . ۶۹
- ۳۷.۴ تصویر SEM از حفره‌های منظم تشکیل شده با قطر ۱۹ نانومتر که بوسیله اسید سولفوریک آندایز شده است . ۷۰
- ۳۸.۴ تصویر SEM از حفره‌های منظم تشکیل شده بعد از مرحله آندایز دوم با اسید فسفریک در ولتاژ ۱۷۰ ولت . ۷۰
- ۳۹.۴ نمودار میدان وادارندگی بر حسب دما برای سه اسید مختلف . . . . . ۷۱
- ۴۰.۴ نمودار نسبت مربعی بر حسب دما برای سه اسید مختلف . . . . . ۷۱
- ۴۱.۴ نمودار میدان وادارندگی بر حسب دما برای دو محلول الکترولیت مختلف که کلیه‌ی شرایط انباشت برای هر دو محلول یکسان بوده است . . . . . ۷۲
- ۴۲.۴ نمودار نسبت مربعی برای دو نمک سولفات و کلرید در دماهای مختلف . . . . . ۷۲

# فصل ۱

## مقدمه

نانوفناوری بخشی از آینده نیست، بلکه همه آینده است. یک نانومتر، یک میلیاردم متر است. نانو فناوری، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطح مولکولی و اتمی و استفاده از خواص آنها در ابعاد مواد تولید شده در این مقیاس می باشد. در مقیاس نانو، اشیا شروع به تغییر رفتار می کنند و رفتار سطوح بر رفتار توده ای ماده غلبه می کند. ریچارد فاینمن<sup>۱</sup>، برنده جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۶۵ و پدر علم نانو، در سال ۱۹۶۰ طی سخنرانی خود بیان کرد که فضای زیادی در پایین وجود دارد و اینکه اصول علم فیزیک، چیزی جز امکان ساختن اتم به اتم اشیا را بیان نمی کند که همین مطلب پایه علم و فناوری نانو شد. در سال های اخیر، نانو فناوری تبدیل به یکی از مهمترین و مهیج ترین حوزه های رو به پیشرفت در فیزیک، شیمی، علوم مهندسی و زیست شناسی شده است. نانوفناوری با نوید تحقق موفقیت های شگرف در آینده ای نزدیک، زمینه های پیشرفت تکنولوژیکی متنوعی را در گستره ای وسیع فراهم خواهد آورد. یکی از زمینه های جالب و کاربردی در نانو، مبحث نانومغناطیس است که در ادامه به شرح اهمیت آن پرداخته می شود.

### ۱.۱ اهمیت نانومغناطیس

نانومغناطیس شاخه ای از پژوهش در فیزیک است، که ویژگی های مغناطیسی اجسامی که حداقل یک بعد در محدوده ی نانومقیاس<sup>۲</sup> دارند را بررسی می کند. علم نانومغناطیس به مطالعه ی ویژگی ها و کاربردهای آهنرباهایی از نانو ذرات منزوی، نانونقطه ها، نانوسیم ها، فیلم های نازک و چند لایه و نیز نمونه های ماکروسکوپیک حاوی ذرات نانومقیاس می پردازد. نانومغناطیس کاربردهای عملی فراوانی دارند، از جمله در زمین شناسی ثابت مغناطیسی، از فرورشاره های<sup>۳</sup> استفاده شده در بلندگوها [۱] تا ذرات کوچک استفاده شده در داروها، که می توانند به عضوها یا بافت های ویژه هدایت شوند [۲]، یا برای کاربرد فناوری فزون گرمایی مغناطیسی<sup>۴</sup> به کار گرفته می شوند [۳]. نانومگنت ها همچنین در حشره ها، پرندگان و

<sup>۱</sup>Richard Feynman

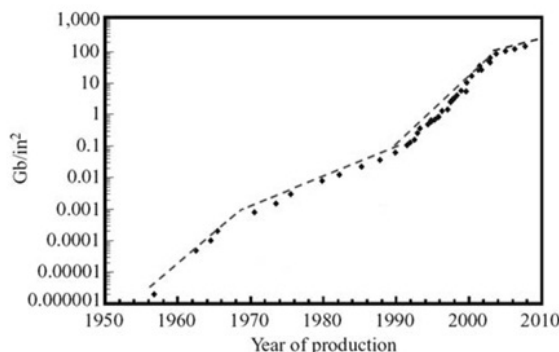
<sup>۲</sup>nanoscopic

<sup>۳</sup>ferrofluid

<sup>۴</sup>magnetichyperthermia



دیگر جانداران یافت شده اند [۵]. مهم‌ترین کاربرد نانومغناطیس ضبط مغناطیسی بوده است، که این فناوری در پنج دهه‌ی گذشته از طریق یک دگرگونی سریع روی داده است. این دگرگونی با چگالی بیت سطحی در دیسک‌های سخت، که با ضریب ده‌ها میلیون برابر از زمان معرفی این تکنولوژی به بازار افزایش یافته است، اندازه‌گیری می‌شود شکل (۱.۱) [۶]. حافظه‌های مغناطیسی به علت بهای کم به ازای ذخیره هر بیت اطلاعات، بسیار مورد توجه و استفاده‌اند. هدف اصلی



شکل ۱.۱: تکامل ضبط مغناطیسی، چگالی سطحی دیسک سخت بر حسب گیگابایت در هر اینچ مربع به صورت تابعی از سالی که تولیدات به بازار آمده است [۶].

در توسعه این حافظه‌ها، افزایش چگالی ذخیره اطلاعات بر روی آن‌هاست. ثبت اطلاعات به طریق مغناطیسی بر روی محیط‌های مغناطیسی به دو صورت ثبت افقی (بیت‌های افقی) و ثبت عمودی (بیت‌های عمودی)، صورت می‌گیرد. حد نهایی چگالی ذخیره اطلاعات بر روی حافظه‌های مغناطیسی در هر دو نوع ثبت، توسط ظهور پدیده سوپرپارامغناطیس تعیین می‌شود [۷]. از جمله مباحثی که در پیشرفت ذخیره‌سازی اطلاعات نقش اساسی داشته است، بحث نانوسیم‌های مغناطیسی است که در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه به بررسی اهمیت مطالعه و ساخت نانوسیم‌ها می‌پردازیم.

## ۲.۱ اهمیت مطالعه و ساخت نانوسیم‌ها

آرایه‌های نانوسیم‌های مغناطیسی الکتروانداخت شده در قالب‌های نانوحفره‌دار توجه و تلاش‌های تحقیقاتی بسیار زیادی را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده‌اند. از آنجا که نانوسیم‌های Co کاربرد مؤثری در دستگاه‌های ثبت مغناطیسی عمودی دارند، بنابراین محققان دنبال این هستند تا وادارندگی‌های مربوط به نانوسیم‌های Co را تغییر دهند، بطوریکه برای دستگاه‌های ثبت مغناطیسی قابل استفاده باشند. تحقیقات انجام‌شده در این زمینه نشان داده است که افزودن یک ماده فرومغناطیس دیگر مانند Fe همواره خواص مغناطیسی کبالت را افزایش می‌دهد ولی محققان در بسیاری از مواقع به دنبال تنظیم خواص مغناطیسی (در مواقعی افزایش و در مواقعی کاهش) هستند لذا اضافه کردن یک ماده غیر مغناطیسی مانند مس، روی، کروم و... به آرایه‌های مغناطیسی کبالت می‌تواند، روش خوبی برای تنظیم خواص مغناطیسی باشد. ما

در این پروژه بر آن بودیم تا با ساخت نانوسیم‌های کبالت- کروم و بررسی خواص مغناطیسی آن‌ها، سهم ناچیزی در راستای پیشبرد این اهداف داشته باشیم. آهن، کبالت و نیکل عناصر مغناطیسی اصلی هستند که در ساخت نانوسیم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و در بین آنها فلز کبالت با ساختار hcp به دلیل ناهمسانگردی مغناطوبلوری قابل مقایسه با ناهمسانگردی شکلی، اهمیت بالایی دارد. چرا که با تغییر شرایط ساخت و آلیاژی کردن آن، می‌توان میکروساختار آن را تعدیل کرد و در نتیجه با تغییر ناهمسانگردی مغناطوبلوری، خواص مغناطیسی را تغییر داد. در این تحقیق، ابتدا بحث‌های مهم مغناطیس که در نانوسیم‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند شرح داده می‌شود. بعد به توضیح ساخت نانوسیم‌ها با استفاده از روش قالب پرداخته می‌شود و نهایتاً ساخت نانوسیم‌های آلیاژی کبالت- کروم و بررسی تأثیر شرایط انباشت بر خواص مغناطیسی نانوسیم‌ها مورد تحقیق، تفسیر و بررسی قرار خواهد گرفت.

## فصل ۲

# خواص مغناطیسی

### مقدمه

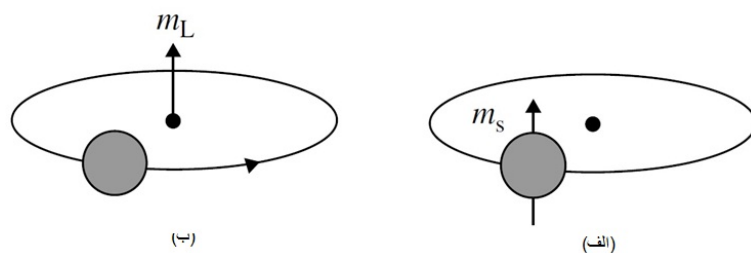
اثر میدان‌های مغناطیسی از زمان‌های بسیار قدیم، زمانی که آثار ناشی از مغناطیس‌های طبیعی سنگ آهنربا ( $Fe_3O_4$ ) برای اولین بار مشاهده شد، شناخته شده است. تا آن زمان و چند سال پس از آن مغناطیس پدیده‌ای بود که کمتر مورد استفاده قرار می‌گرفت، تا اینکه در اوایل قرن نوزدهم اورستد<sup>۱</sup> دریافت که جریان الکتریکی میدان مغناطیسی تولید می‌کند. این کار توأم با کارهای بعدی گاوس، هنری، فاراده و... اهمیت میدان مغناطیسی را به عنوان شریک میدان الکتریکی نمایان کرد. همانطور که می‌دانیم همه مواد از اتم‌ها تشکیل شده‌اند و هر اتم شامل الکترون‌های در حال حرکت است. مسیر حرکت الکترون‌ها را می‌توان بصورت مدار الکترونی در نظر گرفت. این مدارها که هر کدام به یک تک اتم محدود است، جریان اتمی نام دارند. جریان‌های اتمی، جریان‌های کامل دورانی هستند و منجر به انتقال بار نمی‌شوند، اما به هر حال این جریان‌ها نیز می‌توانند میدان مغناطیسی تولید کنند. جریان اتمی مدار کوچک بسته‌ای به ابعاد اتمی است و لذا می‌توان آن را به طرز مناسبی به صورت یک دوقطبی مغناطیسی توصیف کرد و چون ماده از تعداد زیادی اتم تشکیل شده است، لذا در حالت کلی برای هر ماده می‌توان یک گشتاور دوقطبی کلی به نام مغناطش<sup>۲</sup> تعریف کرد که نماینده گشتاور دوقطبی مغناطیسی کل ماده است [۸].

## ۱.۲ رفتار مغناطیسی مواد

رفتار مغناطیسی مواد عمدتاً به ساختار الکترونی آن‌ها بستگی دارد. هر الکترون در اتم دو گشتاور مغناطیسی دارد، یکی گشتاور مغناطیسی اسپین الکترون و دیگری گشتاور مغناطیسی مداری است که در شکل زیر نشان داده شده است. گشتاور مغناطیسی کل یک اتم از جمع برداری دو گشتاور اسپینی و مداری به وجود می‌آید.

<sup>۱</sup>Oersted

<sup>۲</sup>Magnetization



شکل ۱.۲: (الف) گشتاور مغناطیسی اسپینی که ناشی از چرخش الکترون به دور خودش است (ب) گشتاور مغناطیسی مداری که ناشی از چرخش الکترون به دور هسته می‌باشد [۹].

### ۱.۱.۲ مهمترین پارامترهای توصیف رفتار مغناطیسی مواد

(۱) بردار مغناطش  $M$  بصورت جمع گشتاورهای دو قطبی تقسیم بر حجم  $V$  تعریف می‌شود:

$$M = \frac{\sum m}{v} \quad (1.2)$$

(۲) پذیرفتاری مغناطیسی  $\chi$ ، نسبت اندازه‌ی بردار مغناطش بر شدت میدان مغناطیسی است:

$$\chi = \frac{|M|}{|H|} \quad (2.2)$$

پذیرفتاری بدون بعد است.

(۳) در مورد موادی که نظم مغناطیسی خود به خود را ارائه می‌دهند، دمای نظم بالاترین دمایی است که در آن هنوز نظم وجود دارد. برای مواد فرومغناطیس دمای کوری  $T_c$  و برای مواد آنتی‌فرومغناطیس و فری‌مغناطیس دمای نیل  $T_N$  تعریف می‌شود.

(۴) نفوذ پذیری مغناطیسی  $\mu$  که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\mu = \frac{|M|}{|H|} \quad (3.2)$$

طبقه‌بندی اصلی مواد مغناطیسی شامل، فرومغناطیس<sup>۴</sup>، پارامغناطیس<sup>۵</sup>، دیامغناطیس<sup>۶</sup>، فری‌مغناطیس<sup>۷</sup> و آنتی‌فرومغناطیس<sup>۸</sup> می‌تواند از طریق وابستگی مغناطش و معکوس پذیرفتاری به عنوان تابعی از دما، توصیف شوند. در حالت کلی بحث مغناطش، مطالعه‌ی خصوصیات مغناطیسی مواد و نیز برهم‌کنش با میدان‌های مغناطیسی را در بر می‌گیرد. اگر بخواهیم که مواد پارامغناطیس را بطور مختصر شرح دهیم، در این دسته از مواد، تعدادی از اتم‌ها یا یون‌ها، دارای

<sup>۴</sup> susceptibility  
<sup>۵</sup> ferromagnetism  
<sup>۶</sup> paramagnetism  
<sup>۷</sup> diamagnetism  
<sup>۸</sup> ferrimagnetism  
<sup>۹</sup> antiferromagnetism