

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

**عنوان**

تهیه نانوذرات فریت نیکل-کبالت به روش سل-ژل و مطالعه خواص مغناطیسی  
آنها

**نگارش**

صادق حمزه

**استاد راهنما**

دکتر ایرج کاظمی نژاد

**استاد مشاور**

دکتر بهروز زرگر

شهریور ۱۳۸۹

این اثر توفیقی است که پشتوانه‌ی آن، یاری ایزد منان است



تقدیم به

پدر و مادر

و همسر عزیزم

که محبت بی دریغ آن‌ها

تلاش همیشگی را در وجودم نهادینه

و شور زندگی را در آن فروزان کرده‌اند.

## چکیده‌ی پایان‌نامه

نام خانوادگی دانشجو: حمزه	نام: صادق
عنوان پایان‌نامه: تهیه نانوذرات فریت نیکل-کبالت به روش سل-ژل و مطالعه‌ی خواص مغناطیسی آنها	
استاد راهنما: دکتر ایرج کاظمی نژاد	استاد مشاور: دکتر بهروز زرگر
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران	گرایش: حالت جامد
تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۱۰۰	
تعداد صفحات: ۱۰۰	
کلید واژه‌ها: نانوذرات، سل ژل، خواص مغناطیسی، فریت نیکل-کبالت	
Nanoparticles, Sol Gel, Magnetic properties, Nickel-Cobalt Ferrite.	
چکیده:	
<p>نانوذرات در چند سال اخیر به علت خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد خود که با خواصشان در حالت توده‌ای متفاوت هستند، از توجه زیادی برخوردارند. این خواص، به دو علت عمده شامل اثرات کوانتومی و نسبت سطح به حجم بالا ظاهر می‌شوند. یکی از روش‌های ساخت نانوذرات، روش سل ژل است که برای تولید ذرات سرامیکی و اکسید فلزی همگن با خلوص بالا بکار می‌رود. خاصیت مغناطیسی از جمله خواصی است که به مقدار بسیار زیادی به اندازه‌ی ذره وابسته است. در مواد فرومغناطیس وقتی اندازه‌ی ذره از یک حوزه‌ی مغناطیسی منفرد کوچک‌تر گردد، پدیده‌ی سوپرپارامغناطیس به وقوع می‌پیوندد. نانوذرات سوپرپارامغناطیس می‌توانند کاربردهای زیادی در فروسیال‌ها، تصویرسازی‌های رنگی، سردسازی مغناطیسی، انتقال کنترل شده‌ی داروهای ضد سرطان و جداسازی‌های سلولی مغناطیسی داشته باشند. در این پایان‌نامه، نانوذرات فریت نیکل-کبالت از پودر اولیه با نیکل نیترات (۰/۱ mmol)، کبالت نیترات (۰/۱ mmol)، آهن نیترات (۰/۲ mmol) و ۳گرم سیتریک اسید به روش سل ژل ساخته شدند. نانوذرات فریت نیکل-کبالت در شرایط دمایی مختلف تشکیل ژل و دمای تکلیس تهیه شد. به منظور یافتن دمای بهینه ژل، حمام بخارآب در دمای ۱۵۰، ۱۷۰، ۱۹۰ و ۲۰۰ °C اعمال گردید. اثرات دمای تکلیس در شرایط دمایی ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ و ۸۰۰ °C مورد بررسی قرار گرفت. پودرهای بدست آمده توسط XRD، FT-IR، SEM و VSM مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ها بوسیله طیف XRD ساختار فریت نیکل-کبالت را تأیید کرد. طیف FT-IR وجود اکسیدهای فلزی را در محدوده ۳۵۰ تا ۶۰۰ cm<sup>-1</sup> برای محصول نهایی تأیید کرد. آنالیز تصاویر SEM نمونه‌ها، نشان داد که با افزایش دمای ژل میانگین اندازه ذرات کاهش می‌یابد. آنالیز نمونه‌ها توسط VSM نشان دادند که افزایش دمای تکلیس باعث کاهش میدان وادارندگی می‌شود و با افزایش میانگین ذرات در اثر افزایش دمای تکلیس، حلقه‌های پسماند افزایش مغناطس Ms به سمت مغناطس ذرات سوپر پارا مغناطیس را نشان دادند.</p>	

## فصل اول: مقدمه‌ای بر نانوذرات

- ۱.۱. تاریخچه‌ی نانوتکنولوژی ..... ۱
- ۲.۱. نانوذرات ..... ۳
- ۳.۱. خواص نانوذرات ..... ۳
- ۴.۱. روش‌های تهیه نانوذرات ..... ۴
- ۱.۴.۱. چگالش از یک بخار ..... ۴
- ۲.۴.۱. ساخت به روش شیمیایی ..... ۵
- ۳.۴.۱. فرآیندهای حالت جامد ..... ۵
- ۵.۱. کاربردهای نانوذرات ..... ۵
- ۶.۱. مقدمه‌ای بر مفاهیم مغناطیسی ..... ۶
- ۱.۶.۱. میدان مغناطیسی ..... ۷
- ۲.۶.۱. القای مغناطیسی ..... ۷
- ۳.۶.۱. مغناطش ..... ۷
- ۴.۶.۱. گشتاور دو قطبی مغناطیسی ..... ۷
- ۵.۶.۱. حلقه‌ی پسماند ..... ۸
- ۷.۱. انواع مواد مغناطیسی ..... ۱۱
- ۱.۷.۱. دیامغناطیس ..... ۱۱
- ۲.۷.۱. پارامغناطیس ..... ۱۱
- ۳.۷.۱. فرومغناطیس ..... ۱۲

۱۲	..... ۴.۷.۱. آنتی‌فرومغناطیس
۱۲	..... ۵.۷.۱. فری‌مغناطیس
۱۳	..... ۸.۱. نانوذرات مغناطیسی، معرفی و کاربرد
۱۵	..... ۹.۱. جمع‌بندی

## فصل دوم: نانوذرات فریت نیکل-کبالت

۱۶	..... ۱.۲. مقدمه
۱۶	..... ۲.۲. فریت (آهنربا)
۱۷	..... ۳.۲. نیکل
۱۹	..... ۴.۲. کبالت
۲۰	..... ۵.۲. روش سل ژل
۲۰	..... ۱.۵.۲. مقدمه
۲۳	..... ۲.۵.۲. انواع فرآیند سل ژل
۲۳	..... ۱.۲.۵.۲. مسیر الکوکسیدی
۲۴	..... ۲.۲.۵.۲. مسیر کلونیدی
۲۵	..... ۳.۵.۲. مراحل فرآیند سل ژل
۲۵	..... ۶.۲. طبقه‌بندی روش‌های تعیین مشخصات مواد براساس نحوه عملکرد
۲۵	..... ۱.۶.۲. روش‌های میکروسکوپی
۲۶	..... ۲.۶.۲. روش‌های براساس پراش

۲۶	۳.۶.۲. روش‌های طیفسنجی
۲۶	۴.۶.۲. طیف‌سنجی جرمی
۲۷	۵.۶.۲. روش‌های جداسازی
۲۷	۷.۲. مشخصه‌یابی نانومواد
۲۷	۱.۷.۲. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۳۴	۱.۱.۷.۲. آماده‌سازی نمونه
۳۴	۲.۷.۲. مغناطیس‌سنج با نمونه ارتعاشی (VSM)
۳۴	۱.۲.۷.۲. مغناطیس‌سنجی
۳۵	۲.۲.۷.۲. دستگاه مغناطیس‌سنج با نمونه‌ی ارتعاشی (VSM)
۳۸	۳.۷.۲. طیف‌سنج پراش اشعه ایکس
۳۸	۱.۳.۷.۲. مقدمه
۳۸	۲.۳.۷.۲. تولید خطوط طیفی پرتو X
۳۹	۳.۳.۷.۲. پراش پرتو X
۴۰	۴.۳.۷.۲. روش‌های پراش پرتو X
۴۲	۵.۳.۷.۲. کاربردها
۴۳	۴.۷.۲. اسپکتروفتومتری مادون قرمز-تبدیل فوریه
۴۳	۱.۴.۷.۲. فرآیند جذب مادون قرمز
۴۶	۲.۴.۷.۲. آماده‌سازی نمونه‌های جامد برای اسپکتروسکوپی مادون قرمز
۴۷	۳.۴.۷.۲. دستگاه اسپکتروفتومتر مادون قرمز-تبدیل فوریه
۴۹	۸.۲. جمع‌بندی

## فصل سوم: ساخت نانوذرات فریت نیکل - کبالت به روش سل ژل

۱.۳. مقدمه	۵۰
۲.۳. استوکیومتری مواد اولیه	۵۰
۳.۳. روش ساخت	۵۱
۴.۳. آماده سازی نمونه‌ها	۵۳
۵.۳. جمع‌بندی	۵۸

## فصل چهارم: آنالیز و بررسی خواص نانوذرات فریت نیکل - کبالت

۱.۴. مقدمه	۵۹
۲.۴. نتایج طیف XRD	۶۰
۳.۴. نتایج طیف FT-IR	۶۷
۴.۴. نتایج SEM	۶۹
۵.۴. نتایج VSM	۸۱
۶.۴. جمع‌بندی	۹۰
پیشنهادات	۹۱
انتشارات	۹۲
واژه‌نامه	۹۳
منابع	۹۵

شکل ۱-۱: حلقه پسماند یک ماده فرومغناطیس.....	۱۰
شکل ۲-۱: دیاگرام گشتاورهای مغناطیسی.....	۱۳
شکل ۱-۲: دیاگرام فناوری سل ژل و محصولات آن.....	۲۲
شکل ۲-۲: نمودار زمانی فرآیند سل ژل.....	۲۵
شکل ۳-۲: اجزاء اصلی دستگاه SEM.....	۲۸
شکل ۴-۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی مورد استفاده در تحقیق حاضر.....	۳۱
شکل ۵-۲: تصویر دستگاه لایه نشانی طلای مورد استفاده در تحقیق حاضر.....	۳۲
شکل ۶-۲: طرحی از دستگاه VSM.....	۳۵
شکل ۷-۲: فرآیند مغناطش یک ماده مغناطیس.....	۳۶
شکل ۸-۲: پراش پرتو X توسط یک بلور.....	۴۰
شکل ۹-۲: تصویر هندسی دوربین پودری دبای - شرر.....	۴۰
شکل ۱۰-۲: نمودار پراش پرتو X برای تعدادی از بلورها.....	۴۱
شکل ۱۱-۲: پهنای قله در نصف ارتفاع.....	۴۲
شکل ۱۲-۲: نمایی ساده از مادون قرمز.....	۴۹
شکل ۱-۳: ترکیب مواد اولیه فریت نیکل - کبالت.....	۵۴
شکل ۲-۳: محلول سل به رنگ زرد.....	۵۵
شکل ۳-۳: ژل بدست آمده در حمام بخار آب.....	۵۶
شکل ۴-۳: پودر خاکستری فریت نیکل - کبالت.....	۵۷
شکل ۵-۳: ذرات فریت نیکل - کبالت به رنگ قهوه ای تیره.....	۵۸
شکل ۱-۴: الگوی پراش نمونه NCF <sup>۱</sup> .....	۶۰
شکل ۲-۴: الگوی پراش نمونه NCF <sup>۲</sup> .....	۶۱
شکل ۳-۴: الگوی پراش نمونه NCF <sup>۳</sup> .....	۶۱
شکل ۴-۴: الگوی پراش نمونه NCF <sup>۴</sup> .....	۶۲
شکل ۵-۴: الگوی پراش نمونه NCF <sup>۵</sup> .....	۶۲
شکل ۶-۴: الگوی پراش نمونه NCF <sup>۶</sup> .....	۶۳
شکل ۷-۴: الگوی پراش نمونه NCF <sup>۷</sup> .....	۶۳



- شکل ۴-۸: الگوی پراش نمونه NCF<sup>۸</sup> ..... ۶۴
- شکل ۴-۹: مقایسه طیف XRD نمونه‌ها در شرایط مختلف دمای ژل ..... ۶۵
- شکل ۴-۱۰: مقایسه طیف XRD نمونه‌ها در شرایط مختلف دمای تکلیس ..... ۶۵
- شکل ۴-۱۱: طیف FT-IR نمونه NCF<sup>۱</sup> ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۲: طیف FT-IR نمونه NCF<sup>۲</sup> ..... ۶۸
- شکل ۴-۱۳: طیف FT-IR نمونه NCF<sup>۶</sup> ..... ۶۸
- شکل ۴-۱۴: تصاویر SEM از نمونه NCF<sup>۱</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۴۰۰ °C با pH= ۷/۲ در مقیاس ۲۰۰ نانومتر ..... ۶۹
- شکل ۴-۱۵: تصاویر SEM از نمونه NCF<sup>۲</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۵۰۰ °C با pH= ۷/۸ در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ..... ۶۹
- شکل ۴-۱۶: تصاویر SEM از نمونه NCF<sup>۳</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۶۰۰ °C با pH= ۷/۲ در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۷: تصاویر SEM از نمونه NCF<sup>۴</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۷۰۰ °C با pH= ۷/۲ در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۸: تصاویر SEM از نمونه NCF<sup>۵</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۸۰۰ °C با pH= ۷/۲ در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ..... ۷۱
- شکل ۴-۱۹: تصاویر SEM از نمونه NCF<sup>۶</sup> در دمای ژل ۱۵۰ °C و دمای تکلیس ۵۰۰ °C با pH= ۷/۵ در مقیاس ۲۰۰ نانومتر ..... ۷۱
- شکل ۴-۲۰: تصاویر SEM از نمونه NCF<sup>۷</sup> در دمای ژل ۱۷۰ °C و دمای تکلیس ۵۰۰ °C با pH= ۷/۹ در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ..... ۷۲
- شکل ۴-۲۱: تصاویر SEM از نمونه NCF<sup>۸</sup> در دمای ژل ۱۹۰ °C و دمای تکلیس ۵۰۰ °C با pH= ۷/۸ در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ..... ۷۲
- شکل ۴-۲۲: شکل ۴-۲۲: EDX نمونه NCF<sup>۱</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۴۰۰ °C با pH= ۷/۲ ..... ۷۳
- شکل ۴-۲۳: هیستوگرام پراکندگی اندازه ذرات نمونه NCF<sup>۱</sup> ..... ۷۴
- شکل ۴-۲۴: هیستوگرام پراکندگی اندازه ذرات نمونه NCF<sup>۲</sup> ..... ۷۴
- شکل ۴-۲۵: هیستوگرام پراکندگی اندازه ذرات نمونه NCF<sup>۳</sup> ..... ۷۵

- شکل ۴-۲۶: هیستوگرام پراکندگی اندازه ذرات نمونه NCF<sup>۴</sup>..... ۷۵
- شکل ۴-۲۷: هیستوگرام پراکندگی اندازه ذرات نمونه NCF<sup>۵</sup>..... ۷۶
- شکل ۴-۲۸: هیستوگرام پراکندگی اندازه ذرات نمونه NCF<sup>۶</sup>..... ۷۷
- شکل ۴-۲۹: هیستوگرام پراکندگی اندازه ذرات نمونه NCF<sup>۷</sup>..... ۷۷
- شکل ۴-۳۰: هیستوگرام پراکندگی اندازه ذرات نمونه NCF<sup>۸</sup>..... ۷۸
- شکل ۴-۳۱: نمودار میانگین اندازه ذرات بر حسب دمای تکلیس (جدول ۴-۱)..... ۸۰
- شکل ۴-۳۲: نمودار میانگین اندازه ذرات بر حسب دمای ژل (جدول ۴-۲)..... ۸۰
- شکل ۴-۳۳: حلقه پسماند از نمونه NCF<sup>۱</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۴۰۰ °C با  $pH = 7/2$ ..... ۸۱
- شکل ۴-۳۴: حلقه پسماند از نمونه NCF<sup>۲</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۵۰۰ °C با  $pH = 7/8$ ..... ۸۲
- شکل ۴-۳۵: حلقه پسماند از نمونه NCF<sup>۳</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۶۰۰ °C با  $pH = 7/2$ ..... ۸۲
- شکل ۴-۳۶: حلقه پسماند از نمونه NCF<sup>۴</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۷۰۰ °C با  $pH = 7/2$ ..... ۸۳
- شکل ۴-۳۷: حلقه پسماند از نمونه NCF<sup>۵</sup> در دمای ژل ۲۰۰ °C و دمای تکلیس ۸۰۰ °C با  $pH = 7/2$ ..... ۸۳
- شکل ۴-۳۸: مقایسه حلقه‌های پسماند حاصل از آنالیز VSM نمونه‌های تهیه شده در دمای تکلیس متفاوت..... ۸۴
- شکل ۴-۳۹: نمودار میانگین اندازه ذرات بر حسب مغناطش در دمای تکلیس..... ۸۵
- شکل ۴-۴۰: نمودار میانگین اندازه ذرات بر حسب میدان وادرندهی در دمای تکلیس..... ۸۵
- شکل ۴-۴۱: حلقه پسماند از نمونه NCF<sup>۶</sup> در دمای ژل ۱۵۰ °C و دمای تکلیس ۵۰۰ °C با  $pH = 7/5$ ..... ۸۶
- شکل ۴-۴۲: حلقه پسماند از نمونه NCF<sup>۷</sup> در دمای ژل ۱۷۰ °C و دمای تکلیس ۵۰۰ °C با  $pH = 7/9$ ..... ۸۷
- شکل ۴-۴۳: حلقه پسماند از نمونه NCF<sup>۸</sup> در دمای ژل ۱۹۰ °C و دمای تکلیس ۵۰۰ °C با  $pH = 7/8$ ..... ۸۷
- شکل ۴-۴۴: مقایسه حلقه‌های پسماند حاصل از آنالیز VSM نمونه‌های تهیه شده در دمای تشکیل ژل متفاوت..... ۸۸
- شکل ۴-۴۵: نمودار میانگین اندازه ذرات بر حسب مغناطش در دمای ژل..... ۸۹
- شکل ۴-۴۶: نمودار میانگین اندازه ذرات بر حسب میدان وادرندهی در دمای ژل..... ۸۹

- جدول ۱-۱: تاریخ رویدادهای مهم در زمینه فناوری نانو..... ۲
- جدول ۲-۱: بیان برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانوذرات..... ۴
- جدول ۱-۲: خواص فیزیکی و شیمیایی عنصر نیکل..... ۱۸
- جدول ۲-۲: خواص فیزیکی و شیمیایی عنصر کبالت..... ۱۹
- جدول ۳-۲: مزایا و معایب روش سل ژل..... ۲۱
- جدول ۱-۳: نمونه‌های تهیه شده با شرایط مختلف دمایی در آزمایشگاه..... ۵۳
- جدول ۱-۴: اندازه تقریبی بلورک‌های ( $\text{NiCoFe}_2\text{O}_4$ ) بدست آمده از XRD در دمای تکلیس..... ۶۶
- جدول ۲-۴: اندازه تقریبی بلورک‌های ( $\text{NiCoFe}_2\text{O}_4$ ) بدست آمده از XRD در دمای ژل..... ۶۶
- جدول ۳-۴: اندازه میانگین ذرات ( $\text{NiCoFe}_2\text{O}_4$ ) بدست آمده از SEM در دمای تکلیس..... ۷۶
- جدول ۴-۴: اندازه میانگین ذرات ( $\text{NiCoFe}_2\text{O}_4$ ) بدست آمده از SEM در دمای ژل..... ۷۹

## پیش‌گفتار

تکنولوژی در قرن گذشته در هر چه ریزتر کردن دانه‌های بزرگ‌تر پیشرفت چشمگیری داشت. تکنولوژی نو در قرن حاضر مسیر عکس را طی می‌کند. یعنی مواد فوق‌ریز را باید ترکیب کرد تا دانه‌های بزرگ‌تر و کارآمد بوجود آورد. درست همان روشی که در طبیعت برای تولید کردن حاکم است. مجموعه‌های طبیعی، ترکیبی از دانه‌های فوق‌ریز قابل تشخیص با خواص مشابه و یا متفاوت با اندازه‌هایی در حدود نانو است.

در سال ۱۹۵۹ ریچارد فاینمن مقاله‌ای را درباره قابلیت‌های فناوری نانو در آینده منتشر ساخت. ریچارد پی. فاینمن را به عنوان پایه‌گذار این علم می‌شناسند. فاینمن که بعدها جایزه نوبل را در فیزیک دریافت کرد در آن سال در یک مهمانی شام که توسط انجمن فیزیک آمریکا برگزار شده بود، سخنرانی کرد و ایده فناوری نانو را برای عموم مردم آشکار ساخت. عنوان سخنرانی وی «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» بود.

در این پایان‌نامه، فصل اول، تاریخچه نانو تکنولوژی، خواص و کاربردهای نانوذرات را بیان می‌کند. در فصل دوم مواد اولیه و دستگاه‌های مورد نیاز معرفی شدند. در فصل سوم مراحل ساخت نانوذرات نیکل-کبالت به روش سل ژل بررسی شد و با استفاده از شرایط مختلف دمایی نمونه‌هایی از فریت نیکل-کبالت ( $\text{NiCoFe}_2\text{O}_4$ ) تهیه شدند. در فصل چهارم این نمونه‌ها با دستگاه‌های FTIR, XRD, SEM و VSM آنالیز و نتایج حاصله مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.



# فصل اول

## مقدمه‌ای بر نانوذرات



۸۹/۰۶/۳۱

## فصل اول

### مقدمه‌ای بر نانوذرات

#### ۱.۱. تاریخچه نانو تکنولوژی

در طول تاریخ بشر از زمان یونان باستان، مردم و به‌خصوص دانشمندان آن دوره بر این باور بودند که مواد را می‌توان آنقدر به اجزاء کوچک تقسیم کرد تا به ذراتی رسید که خردناشدنی هستند و این ذرات بنیان مواد را تشکیل می‌دهند، شاید بتوان دموکریتوس فیلسوف یونانی را پدر فناوری و علوم نانو دانست چرا که در حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد مسیح او اولین کسی بود که واژه اتم را که به معنی تقسیم‌نشدنی در زبان یونانی است برای توصیف ذرات سازنده مواد به کار برد. شاید بتوان گفت که اولین نانو تکنولوژیست‌ها ناخودآگاه شیشه‌گران قرون وسطایی بوده‌اند که از قالب‌های قدیمی<sup>۱</sup> برای شکل‌دادن شیشه‌هایشان استفاده می‌کرده‌اند. در آن زمان برای ساخت شیشه‌های کلیساهای قرون

---

<sup>۱</sup> Forges Medieal

وسطایی از ذرات نانومتری طلا استفاده می‌شده است و با این کار شیشه‌های رنگی بسیار جذابی بدست می‌آمده است. جدول ۱-۱ زمان وقوع رویدادهای مهم در زمینه فناوری نانو را بیان می‌نماید.

جدول ۱-۱: تاریخ رویدادهای مهم در زمینه فناوری نانو [۱].

۱۸۵۷	مایکل فارادی محلول کلوئیدی طلا را کشف کرد
۱۹۰۵	تشریح رفتار محلول‌های کلوئیدی توسط آلبرت انیشتین
۱۹۳۲	ایجاد لایه‌های اتمی به ضخامت یک مولکول توسط لنگمویر (Langmuir)
۱۹۵۹	فاینمن ایده "فضای زیاد در سطوح پایین" را برای کار با مواد در مقیاس نانو مطرح کرد
۱۹۷۴	برای اولین بار واژه فناوری نانو توسط نوریو تانیگوجی بر زبانها جاری شد
۱۹۸۱	IBM دستگاهی اختراع کرد که به کمک آن می‌توان اتم‌ها را تک تک جابه‌جا کرد
۱۹۸۵	کشف ساختارهای جدیدی از کربن
۱۹۹۰	شرکت IBM توانایی کنترل نحوه قرارگیری اتم‌ها را نمایش گذاشت
۱۹۹۱	کشف نانو لوله‌های کربنی
۱۹۹۳	تولید اولین نقاط کوانتومی با کیفیت بالا
۱۹۹۷	ساخت اولین نانو ترانزیستور
۲۰۰۰	ساخت اولین موتور DNA
۲۰۰۱	ساخت یک مدل آزمایشگاهی سلول سوخت با استفاده از نانو لوله‌های کربنی
۲۰۰۲	شلوارهای ضدلک به بازار آمد
۲۰۰۳	تولید نمونه‌های آزمایشگاهی نانوسلول‌های خورشیدی
۲۰۰۴	تحقیق و توسعه برای پیشرفت در عرصه فناوری نانو ادامه دارد
۲۰۰۵	نانومواد تولیدی در ارتباط با سموم دفع آفات و بیوتکنولوژی
۲۰۰۷	پروژه METI در خصوص فناوری نانو با عنوان استانداردسازی روش ارزیابی ریسک در تولید نانوذرها

اولین جرقه فناوری نانو (البته در آن زمان هنوز به این نام شناخته نشده بود) در سال ۱۹۵۹ زده شد. در این سال ریچارد فاینمن طی یک سخنرانی با عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» ایده فناوری نانو را مطرح ساخت. وی این نظریه را ارائه داد که در آینده‌ای نزدیک می‌توانیم مولکول‌ها و اتم‌ها را به صورت مستقیم دستکاری کنیم [۱].

منظور از نانوذره، همانگونه که از نام آن مشخص است، ذراتی با ابعاد نانومتری در هر سه بعد می‌باشد. نانوذرات می‌توانند از مواد مختلفی، مانند نانوذرات فلزی و سرامیکی تشکیل شوند [۲،۳].

عنصر پایه دیگر، نانوکپسول است. همان طوری که از اسم آن مشخص است، کپسول‌هایی هستند که قطر نانومتری دارند و می‌توان مواد مورد نظر را درون آنها قرار داد و کپسوله کرد [۳،۴].

نانولوله‌های کربنی نیز جزء عناصر پایه در فناوری نانو به شمار می‌آیند. اگر صفحات گرافیت پیچیده شده و به شکل لوله در بیابند محصول ایجاد شده، به صورت نانولوله کربنی است. این نانولوله‌ها دارای اشکال و اندازه‌های مختلفی هستند و می‌توانند تک دیواره یا چند دیواره باشند [۵].

تحول دیگر این فناوری مربوط به ساخت نانوکریستال‌های نیم‌رسانا است که منجر به افزایش چشم‌گیر تعداد نانوذرات اکسید فلزی است.

## ۲.۱. نانوذرات

طبق تعریف، یک نانوذره به ذره‌ای گفته می‌شود که ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر داشته باشد [۶].

## ۳.۱. خواص نانوذرات

با گذر از میکرو ذرات به نانوذرات، خواص فیزیکی تغییر می‌کند که دو مورد مهم از آنها عبارتند از: افزایش نسبت سطح به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی [۷]. برخی از ویژگی‌های نانوذرات در جدول ۱-۲ به طور خلاصه آمده است:



جدول ۱: بیان برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانوذرات [۷].

مثال	خصوصیات
اثر کاتالیستی بهتر، به دلیل نسبت سطح به حجم بالاتر	کاتالیستی
افزایش هدایت الکتریکی در سرامیک‌ها و نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی، افزایش مقاومت الکتریکی در فلزات	الکتریکی
افزایش مغناطیس با اندازه بحرانی دانه‌ها، رفتار سوپر پارامغناطیس ذرات	مغناطیسی
خصوصیات فلوئورسنتی، افزایش اثر کوانتومی کریستال‌های نیمه‌هادی	نوری
افزایش نفوذ پذیری از بین حصارهای بیولوژیکی (غشاء و سد مغز خون و غیره) و بهبود زیست سازگاری	بیولوژیکی

### ۴.۱. روش‌های تهیه نانوذرات

برای تولید نانوذرات روش‌های بسیار متنوعی وجود دارد. این روش‌ها اساساً به سه گروه عمده

تقسیم می‌شوند که در این بخش به شرح هر یک از آنها پرداخته می‌شود.

#### ۱.۴.۱ چگالش از یک بخار<sup>۱</sup>: روش چگالش از یک بخار شامل تبخیر یک فلز جامد و سپس چگالش

سریع آن برای تشکیل خوشه‌های نانومتری است که به صورت پودر ته‌نشین می‌شوند. مهمترین مزیت

این روش میزان کم آلودگی است. در نهایت اندازه ذره با تغییر پارامترهایی نظیر دما و محیط گاز و

سرعت تبخیر کنترل می‌شود. روش تبخیر در خلاء بر روی مایعات روان و روش سیم انفجاری جزء

روش‌های چگالش از یک بخار محسوب می‌شود [۲].

<sup>۱</sup> Gas phase Condensation

**۲.۴.۱. ساخت به روش شیمیایی:** استفاده از روش سنتز شیمیایی شامل رشد نانوذرات در یک محیط مایع حاوی انواع واکنش‌گرها است. روش سل ژل نمونه چنین روشی است، در روش‌های شیمیایی اندازه نهایی ذره را می‌توان با توقف فرآیند هنگامی که اندازه مطلوب به دست آمد یا با انتخاب مواد شیمیایی تشکیل دهنده ذرات پایدار و توقف رشد در یک اندازه خاص کنترل نمود. این روش‌ها معمولاً کم‌هزینه و پرحجم هستند، اما آلودگی حاصل از مواد شیمیایی می‌تواند مشکل عمده‌ای باشد [۲].

**۳.۴.۱. فرآیندهای حالت جامد:** از روش فرایندهای جامد (آسیاب یا پودر کردن) می‌توان برای ایجاد نانوذرات استفاده نمود. خواص نانوذرات حاصل تحت تأثیر نوع ماده آسیاب‌کننده، زمان آسیاب و محیط اتمسفری آن قرار می‌گیرد. از این روش می‌توان برای تولید نانوذرات از موادی استفاده نمود که در دو روش قبلی به آسانی تولید نمی‌شوند [۲].

## ۵.۱. کاربردهای نانوذرات

همانطور که قبلاً بیان شد یکی از خواص مهم نانوذرات نسبت سطح به حجم بالای این مواد است. با استفاده از این خاصیت می‌توان کاتالیزورهای قدرتمندی را در ابعاد نانومتری تولید نمود. این نانوکاتالیزورها راندمان واکنش‌های شیمیایی را به شدت افزایش داده و همچنین به میزان چشمگیری از تولید مواد زائد در واکنش‌ها جلوگیری خواهند نمود. به کارگیری نانوذرات در تولید مواد دیگر

می‌تواند استحکام آنها را افزایش داده، یا وزن آنها را کم کند. همچنین مقاومت شیمیایی و حرارتی آنها را بالا برد و واکنش آنها را در برابر نور و تشعشعات دیگر تغییر دهد. بنابراین یکی از کاربردهایی که برای نانوذرات می‌توان متصور شد، استفاده از این مواد در تولید نانوکامپوزیت‌هاست. با استفاده از نانوذرات، نسبت استحکام به وزن مواد کامپوزیتی به شدت افزایش خواهد یافت [۸].

## ۶.۱. مقدمه‌ای بر مفاهیم مغناطیسی

واژه مغناطیس کلمه‌ای یونانی است که به بعضی سنگ‌های طبیعی اکسید آهن اطلاق می‌شد. این سنگ‌ها از این خاصیت برخوردارند که بر یکدیگر و بر ذرات آهن یا فولاد نیرو وارد می‌آورند. یونانیان باستان، بیش از ۲۵۰۰ سال پیش با پدیده‌ی آهنربایی آشنا بودند. تالس که اغلب از او به عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، ماده‌ی کانی مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) که آهن را می‌رباید، شناخت. این کانی بیشتر در مگنزی (ترکیه امروزی) یافت می‌شده است و نام مگنتیت نیز از همین اسم گرفته شده است. چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربا آشنایی داشتند و تکه‌هایی از این سنگ‌ها را به صورت قطب‌نماهای ساده در دریانوردی به کار می‌بردند.

اولین تحقیق علمی در مورد مغناطیس توسط ویلیام گیلبرت انجام شد که تصویر دقیقی از میدان مغناطیسی زمین ایجاد کرد و بسیاری از خرافات گذشته را از بین برد. سپس در سال ۱۸۲۵ اولین الکترومگنت به‌وسیله کشف بزرگ هانس کریستین اورستد ایجاد شد. اورستد دریافت که همواره در

فضای اطراف رساناهای حامل جریان یا ذرات باردار متحرک، میدان مغناطیسی پدید می‌آید [۹].

### ۱.۶.۱. میدان مغناطیسی

یکی از اساسی‌ترین مفاهیم در مغناطیس، میدان مغناطیسی ( $H$ ) می‌باشد. اثراتی که یک آهنربا در فضای اطراف خود ایجاد می‌کند و باعث جذب برخی از مواد می‌گردد را میدان مغناطیسی می‌گویند. میدان مغناطیسی را می‌توان به وسیله حرکت ذره باردار و یا توسط یک آهنربا ایجاد نمود.

### ۲.۶.۱. القای مغناطیسی<sup>۱</sup>

مشخصه هر میدان مغناطیسی کمیت فیزیکی به نام القای مغناطیسی ( $B$ ) می‌باشد. در سیستم MKS واحد القای مغناطیسی، وبر بر مترمربع ( $Wb/m^2$ ) می‌باشد، که تسلا ( $T$ ) نیز نامیده می‌شود.

### ۳.۶.۱. مغناطش<sup>۲</sup>

مجموع گشتاورهای دوقطبی مغناطیسی ذرات در واحد حجم جسم را مغناطش می‌گویند که معیار سنجش میزان مغناطیدگی یک جسم مغناطیسی است.

### ۴.۶.۱. گشتاور دوقطبی مغناطیسی<sup>۳</sup>

خواص مغناطیسی مواد نتیجه گشتاورهای دوقطبی مغناطیسی حاصل از الکترون‌هاست. هر الکترون در یک اتم دارای گشتاور دوقطبی مغناطیسی است، که از دو منبع ایجاد می‌شود، یکی مربوط به حرکت

<sup>۱</sup> Magnetic induction

<sup>۲</sup> Magnetization

<sup>۳</sup> Magnetic moment