دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در شیمی معدنی

عنوان:

تهیه، شناسایی و مطالعه نانو کریستال‌های اورتوفریت یتریم

استاد راهنما:

پروفسور مژگان خراسانی مطلق

استاد مشاور:

سونا نیرومند

تحقیق و نگارش:

متین مروجی راهزان

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

تیر ۱۳۹۰

تقدیم به:

اگر قابل تقدیم باشد: تقدیم به سنگ صبور حرفهایم پدر بزرگوارم، او که به من آموخت عقاب فاتح قله

های زندگی خود باشم قدرشناس محبت هایش.

تقدیم به چشمان منتظر مادر نازنینم که در دریای پر تلاطم و طوفانی ناملایمات زندگی کشتی امن من بود، برگ برگ

این تلاش ناچیز نثار قدومش.

تقدیم به همسر وفادارم، مهربان ترین و صبور ترین همراه، که با حضور سبزش یار را هم گردید و با صبوری اش در

دوران تحصیل مرا برای تمامی عمر شرمنده ساخت.

تقدیم به یگانه برادرم او که وجود نازنینش شادی بخش لحظه لحظه ایام من است. آرزومند آرزوهایشان.

سپاسگزاری

حمد و سپاس خداوندی را سزاست که توان تفکر و برگزیدن به ما عنایت کرد و در کوران راه، به لطف بیکرانش هدایتمان نمود تا که خود دریابیم و بیندیشیم و چگونگی گشودن رازهای زمین را فراگیریم.

در ابتدا از پدر و مادر مهربانم که در تمام مراحل زندگی راهنما و مشوق من بودند تشکر می‌کنم.

بر خود لازم می‌دانم از سرکار خانم دکتر مژگان خراسانی مطلق استاد راهنمای عزیزم که با فرزانگی و جهان‌دیدگی در طی این طریق، چراغ هدایتم بودند و با رهنمودهای فاضلانه و خالصانه خود، محور هدایتم شدند برای عمری سپاسگزار باشم.

با تشکر و سپاس از استاد مشاور گرامیم خانم سونا نیرومند که از راهنمایی‌های پرمایه‌شان بهره‌مند شدم.

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر میثم نوروزی فر که علاوه بر داوری این پایان نامه، همواره راهنما و راه گشای اینجانب در اتمام پایان نامه بوده‌اند.

همچنین از آقای دکتر حسن منصوری ترشیزی که این پایان نامه را داوری نمودند، قدردانی می‌کنم. از خانم دکتر حمیده سراوانی، نماینده محترم تحصیلات تکمیلی نیز سپاسگزارم.

از خانم پروین صفری دانشجوی دکتری از دانشگاه اراک که، خط به خط این پایان نامه را همراهم بودند صمیمانه تشکر می‌کنم و از درگاه خداوند برایشان آرزوی موفقیت و پیروزی در تمام مراحل زندگی را دارم.

همچنین از همسر گرامیم آقای بهرام آجرلو که همچون یک دوست صمیمی در این دوران کنار من بودند نهایت تشکر را دارم.

از دانشجویان دکترای آزمایشگاه، خانم‌ها نیرومند و خالقیان و اکرامی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده‌اند تشکر می‌کنم.

چکیده:

نانوکریستال‌های پروسکیتی $YFeO_3$ با ساختار ارتورومبیک، با استفاده از سه روش ساده و مؤثر شیمی تَر؛ هم‌رسوبی، هم‌رسوبی همراه با ماکروویو و هم‌رسوبی همراه با اولتراسونیک در حضور دو سورفاکتانت مختلف، تهیه شدند. مورفولوژی، پارامترهای شبکه و اندازه‌ی ذرات در این مواد، توسط تکنیک‌های طیف‌بینی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR)، پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف‌سنجی تفکیک انرژی (EDX) مورد مطالعه و شناسایی قرار گرفتند. خواص مغناطیسی یک نمونه توسط مغناطیس‌سنج ارتعاشی نمونه (VSM) در دمای اتاق اندازه‌گیری شد، که رفتار مغناطیسی ضعیفی را نشان می‌دهند. پروسکیت‌های سنتز شده با استفاده از سه روش، دارای فاز کریستالی نسبتاً خالصی از $YFeO_3$ بودند، تنها اندازه ذرات در آن‌ها متفاوت است. نانوذرات بدست آمده از همه روش‌ها بصورت کروی هستند. همچنین نتایج نشان می‌دهند که با تابش‌دهی امواج ماکروویو و ماوراء صوت می‌توان زمان تولید نانوذرات را بطور قابل ملاحظه‌ای کوتاه کرد.

کلمات کلیدی: اورتوفریت یتریم- هم‌رسوبی- هم‌رسوبی همراه با ماکروویو- هم‌رسوبی همراه با ماوراء صوت- نانوکریستال‌های اورتوفریت- سورفاکتانت

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۱-۱- مفهوم نانو ۳

۱-۱-۲- تاریخچه فناوری نانو ۳

۱-۲- نانوذرات ۴

۱-۲-۱- روش‌های تهیه نانو ذرات ۶

۱-۲-۲- متداول‌ترین نانوذرات ۷

۱-۲-۲-۱- نانوذرات نیمه‌رسانا (نقاط کوانتمی) ۷

۱-۲-۲-۲- نانوذرات سرامیکی ۸

۱-۲-۲-۳- نانوکامپوزیت‌های نانوذره‌ای سرامیکی ۸

۱-۲-۲-۴- نانوذرات فلزی ۸

۱-۲-۲-۵- نانوکامپوزیت‌های نانوذره‌ای فلزی ۹

۱-۲-۳- برخی ازکاربردهای فناوری نانو در زمینه‌های مختلف ۹

۱-۳- روش هم‌رسوبی در تهیه نانو ذرات ۹

۱-۳-۱- تئوری و ترمودینامیک روش هم‌رسوبی ۱۰

۱-۳-۲- مدل‌هایی برای شرح کمی فرایند هم‌رسوبی ۱۲

۱-۴- اولتراسونیک ۱۳

۱-۴-۱- حفره‌زایی ۱۴

۱-۴-۲- روش‌های تولید امواج فراصوت ۱۴

۱-۴-۳- نقش فراصوت در ایجاد مخلوط‌های کاملاً یکنواخت ۱۶
۱-۴-۴- نقش فراصوت در خالص‌سازی فلزات (کریستال شدن فلزات) ۱۷
۱-۴-۵- مهم‌ترین محدودیت روش فراصوت ۱۷
۱-۴-۶- چند مثال از سنتز نانو مواد به روش فراصوت ۱۷
۱-۴-۷- نقش فراصوت در سنتز اکسیدهای فلزی ۱۸
۱-۴-۸- برخی ازکاربردهای امواج فراصوت در پزشکی ۱۸
۱-۴-۹- خطرات فراصوت در پزشکی ۱۹
۱-۵- مایکروویو ۱۹
۱-۵-۱- تاریخچه ریز موج (مایکروویو) ۱۹
۱-۵-۲- تئوری ریز موج ۲۰
۱-۵-۳- گرمادهی ۲۰
۱-۵-۴- بخش دستگاهی، دستگاه ریز موج ۲۱
۱-۵-۵- چند مثال برای سنتز نانومواد به روش ریز موج ۲۲
۱-۵-۶- مزایای استفاده از ریز موج در واکنش‌ها ۲۳
۱-۶- بلور شناسی ۲۳
۱-۶-۱- تاریخچه بلور شناسی ۲۳
۱-۶-۲- بلور چیست؟ ۲۴
۱-۶-۳- همگنی چیست؟ ۲۵
۱-۶-۴- خواص مواد بلورین ۲۵
۱-۶-۵- سلول اولیه (واحد شبکه تبلور) ۲۶
۱-۶-۶- محورهای بلور شناسی ۲۶
۱-۶-۷- سیستم‌های تبلور ۲۶
۱-۶-۸- شبکه براوه ۲۹
۱-۶-۹- ساختار بلوری اکسیدهای مختلط ۳۲
۱-۶-۹-۱- پروسکیت ۳۲

۱-۶-۹-۲- ایلمنیت ۳۳
۱-۶-۹-۳- اسپینل ۳۴
۱-۷- کاربردهای اورتوفریت یتریم ($YFeO_3$) ۳۵
۱-۸- روش‌های گزارش شده در تهیه اورتوفریت یتریم ($YFeO_3$) ۳۶
۱-۹- هدف ۳۸
فصل دوم: بخش تجربی ۳۹
۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاه‌ها ۴۰
۲-۱-۱- مواد شیمیایی ۴۰
۲-۱-۲- دستگاه‌ها ۴۰
۲-۲- روش‌های تهیه نانواورتوفریت یتریم ($YFeO_3$) ۴۱
۲-۲-۱- تهیه نانواورتوفریت‌یتریم $YFeO_3$ (I) ۴۱
۲-۲-۲- تهیه نانواورتوفریت‌یتریم $YFeO_3$ (II) ۴۲
۲-۲-۳- تهیه نانواورتوفریت‌یتریم $YFeO_3$ (III) ۴۲
۲-۲-۴- تهیه نانواورتوفریت‌یتریم $YFeO_3$ (IV) ۴۴
۲-۲-۵- تهیه نانواورتوفریت یتریم $YFeO_3$ (V) ۴۴
۲-۲-۶- تهیه نانواورتوفریت یتریم $YFeO_3$ (VI) ۴۵
فصل سوم: مطالعه و شناسایی نانواورتوفریت‌های یتریم (I-VI) **۴۶**
مقدمه ۴۷
۳-۱- مطالعه طیف‌بینی زیر قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) ۴۷
۳-۱-۱- بررسی طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم I ۴۸
۳-۱-۲- بررسی طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم II ۵۲
۳-۱-۳- بررسی طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم III ۵۵
۳-۱-۴- بررسی طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم IV ۵۸
۳-۱-۵- بررسی طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم V ۶۲
۳-۱-۶- بررسی طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم VI ۶۵

۳-۲- مطالعه طیف XRD نانواورتوفریت‌های یتریم ۶۸
۳-۲-۱- بررسی طیف XRD نانواورتوفریت یتریم I ۷۲
۳-۲-۲- بررسی طیف XRD نانواورتوفریت لانتانیم II ۷۴
۳-۲-۲- بررسی طیف XRD نانواورتوفریت یتریم III ۷۶
۳-۲-۴- بررسی طیف XRD نانواورتوفریت یتریم IV ۷۸
۳-۲-۵- بررسی طیف XRD نانواورتوفریت یتریم V ۸۰
۳-۲-۶- بررسی طیف XRD نانواورتوفریت یتریم VI ۸۲
۳-۳- بررسی تصاویر SEM نانواورتوفریت‌های یتریم ۸۴
۳-۳-۱- بررسی تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم I ۸۷
۳-۳-۲- بررسی تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم II ۸۸
۳-۳-۳- بررسی تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم III ۸۹
۳-۳-۴- بررسی تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم IV ۹۰
۳-۳-۵- بررسی تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم V ۹۱
۳-۳-۶- بررسی تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم VI ۹۲
۳-۴- بررسی نتایج طیف‌سنجی تفکیک انرژی (EDS) ۹۳
۳-۴-۱- نتایج EDX نانواورتوفریت یتریم I ۹۶
۳-۴-۲- نتایج EDX نانواورتوفریت یتریم II و III ۹۷
۳-۴-۳- نتایج EDX نانواورتوفریت یتریم IV ۹۸
۳-۴-۴- نتایج EDX نانواورتوفریت یتریم V و VI ۹۹
۳-۵- مطالعه خواص مغناطیسی (VSM) ۱۰۰
۳-۵-۱- هیسترزیس یا پسماند مغناطیسی ۱۰۰
۳-۵-۲- نتایج VSM نانواورتوفریت یتریم (II) ۱۰۴
فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۱۰۵
۴-۱- مقدمه ۱۰۶
۴-۲- مقایسه روش‌های مختلف تهیه نانواورتوفریت یتریم ۱۰۷

۴-۳- مقایسه اندازه ذرات در روش‌های مختلف تهیه نانواورتوفریت یتریم ۱۰۸
۴-۴- مقایسه نتایج SEM ۱۱۰
۴-۵- مقایسه نتایج VSM ۱۱۰
مراجع ۱۱۱

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۱-۱- شبکه‌های براوه در سه بعد ۳۱

جدول ۲-۱. مواد شیمیایی بکار برده شده در آزمایشات ۴۰

جدول ۳-۱. مقایسه FT-IR نانواورتوفریت‌های یتریم (I-VI) ۶۸

جدول ۳-۲. اندازه ذرات نانواورتوفریت یتریم I ۷۲

جدول ۳-۳. اندازه ذرات نانواورتوفریت یتریم II ۷۴

جدول ۳-۴. اندازه ذرات نانواورتوفریت یتریم III ۷۶

جدول ۳-۵. اندازه ذرات نانواورتوفریت یتریم IV ۷۸

جدول ۳-۶. اندازه ذرات نانواورتوفریت یتریم V ۸۰

جدول ۳-۷. اندازه ذرات نانواورتوفریت یتریم VI ۸۲

جدول ۳-۸. درصد وزنی و درصد اتمی نانو ارتوفریت یتریم I ۹۶

جدول ۳-۹. درصد وزنی و درصد اتمی نانو ارتوفریت یتریم II ۹۷

جدول ۳-۱۰. درصد وزنی و درصد اتمی نانو ارتوفریت یتریم III ۹۷

جدول ۳-۱۱. درصد وزنی و درصد اتمی نانو ارتوفریت یتریم IV ۹۸

جدول ۳-۱۲. درصد وزنی و درصد اتمی نانو ارتوفریت یتریم V ۹۹

جدول ۳-۱۳. درصد وزنی و درصد اتمی نانو ارتوفریت یتریم VI ۹۹

جدول ۴-۱. مقایسه اندازه ذرات نانواورتوفریت‌های یتریم (I-VI) ۱۰۹

جدول ۴-۲ . مقایسه پارامترهای شبکه و میانگین اندازه ذرات نانواورتوفریت‌های یتریم ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱. ساختار پرووسکیت مکعبی ABO_3 ۳۲

شکل ۱-۲. ساختار $FeTio_3$ که در سیستم ایلمنیت متبلور می‌شود ۳۳

شکل ۱- ۳. ساختار $MgAl_2O_4$ که در سیستم اسپینل نرمال متبلور می‌شود ۳۴

شکل ۱- ۴. ساختار Fe_3O_4 که در سیستم اسپینل وارون متبلور می‌شود ۳۵

شکل ۱-۵. اورتوفریت یتریم $YFeO_3$ با تقارن اورتورومبیک ۳۸

شماتیک ۲-۱. تهیه نانواورتوفریت‌های یتریم I، II و III ۴۳

شماتیک ۲-۲. تهیه نانواورتوفریت یتریم IV،V و VI ۴۵

شکل ۳-۱. طیف FT-IR اکتانوئیک اسید ۴۹

شکل ۳-۲. طیف FT-IR پیش ماده (نمونه قبل از کوره) نانواورتوفریت یتریم I ۵۰

شکل ۳-۳. طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم I (نمونه بعد از کوره) ۵۰

شکل ۳-۴. طیف‌های FT-IR، a) اکتانوئیک اسید، b) پیش ماده، c) نانواورتوفریت یتریم I ۵۱

شکل ۳-۵. طیف FT-IR پیش ماده (نمونه قبل از کوره) نانواورتوفریت یتریم II ۵۳

شکل ۳-۶. طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم II (نمونه بعد از کوره) ۵۳

شکل ۳-۷. طیف‌های FT-IR، a) اکتانوئیک اسید، b) پیش ماده، c) نانواورتوفریت یتریم II ۵۴

شکل ۳-۸. طیف FT-IR پیش ماده (نمونه قبل از کوره) نانواورتوفریت یتریم III ۵۶

شکل ۳-۹. طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم III (نمونه بعد از کوره) ۵۶

شکل ۳-۱۰. طیف‌های FT-IR، a) اکتانوئیک اسید، b) پیش ماده، c) نانواورتوفریت یتریم III ۵۷

شکل ۳-۱۱. طیف FT-IR توئین ۲۰ ۵۹

شکل ۳-۱۲. طیف FT-IR پیش ماده (نمونه قبل از کوره) نانواورتوفریت یتریم IV ۶۰
شکل ۳-۱۳. طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم IV (نمونه بعد از کوره) ۶۰
شکل ۳-۱۴. طیف‌های FT-IR، a) توئین ۲۰، b) پیش ماده، c) نانواورتوفریت یتریم IV ۶۱
شکل ۳-۱۵. طیف FT-IR پیش ماده (نمونه قبل از کوره) نانواورتوفریت یتریم V ۶۳
شکل ۳-۱۶. طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم V (نمونه بعد از کوره) ۶۳
شکل ۳-۱۷. طیف‌های FT-IR، a) توئین ۲۰، b) پیش ماده، c) نانواورتوفریت یتریم V ۶۴
شکل ۳-۱۸. طیف FT-IR پیش ماده (نمونه قبل از کوره) نانواورتوفریت یتریم VI ۶۶
شکل ۳-۱۹. طیف FT-IR نانواورتوفریت یتریم VI (نمونه بعد از کوره) ۶۶
شکل ۳-۲۰. طیف‌های FT-IR، a) توئین ۲۰، b) پیش ماده، c) نانواورتوفریت یتریم VI ۶۷
شکل۳- ۲۱. الگوی تداخل سازنده ۶۹
شکل ۳-۲۲. یک الگوی طیف XRD ۷۰
شکل ۳-۲۳. طیف XRD نانواورتوفریت یتریم I ۷۳
شکل ۳-۲۴. طیف XRD نانواورتوفریت یتریم II ۷۵
شکل ۳-۲۵. طیف XRD نانواورتوفریت یتریم III ۷۷
شکل ۳-۲۶. طیف XRD نانواورتوفریت یتریم IV ۷۹
شکل ۳-۲۷. طیف XRD نانواورتوفریت یتریم V ۸۱
شکل ۳-۲۸. طیف XRD نانواورتوفریت یتریم VI ۸۳
شکل ۳- ۲۹. شمای یک میکروسکوپ الکترونی روبشی ۸۵
شکل ۳-۳۰. تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم I ۸۷
شکل ۳-۳۱. تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم II ۸۸
شکل ۳-۳۲. تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم III ۸۹
شکل ۳-۳۳. تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم IV ۹۰
شکل ۳-۳۴. تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم V ۹۱
شکل ۳-۳۵. تصویر SEM نانواورتوفریت یتریم VI ۹۲
شکل ۳-۳۶. نمونه‌ای از یک طیف EDX ۹۴

شکل ۳-۳۷. نمایش ترازهای متفاوت الکترونی ۹۵

شکل ۳-۳۸. تصویر EDX نانواورتوفریت یتریم I ۹۶

شکل ۳-۳۹. تصویر EDX نانواورتوفریت یتریم IV ۹۸

شکل ۳-۴۰. شمای یک دستگاه VSM ۱۰۰

شکل ۳-۴۱. رابطه بین شدت میدان مغناطیس و چگالی شار در مواد فرومغناطیس ۱۰۱

شکل ۳-۴۲. نمونه‌ای از حلقه هیسترزیس در مواد فرومغناطیس ۱۰۲

شکل ۳-۴۳. تاثیر بلوکهای میدانی در ایجاد پسماند مغناطیسی ۱۰۳

شکل ۳-۴۴. نمودار هیستریزیس نانواورتوفریت یتریم II ۱۰۴

شکل ۴-۱. طیف‌های XRD نانواورتوفریت‌های یتریم سنتز شده با اکتانوئیک اسید با روش ۱۰۷
a) هم‌رسوبی، b) ماکروویو، c) اولتراسونیک

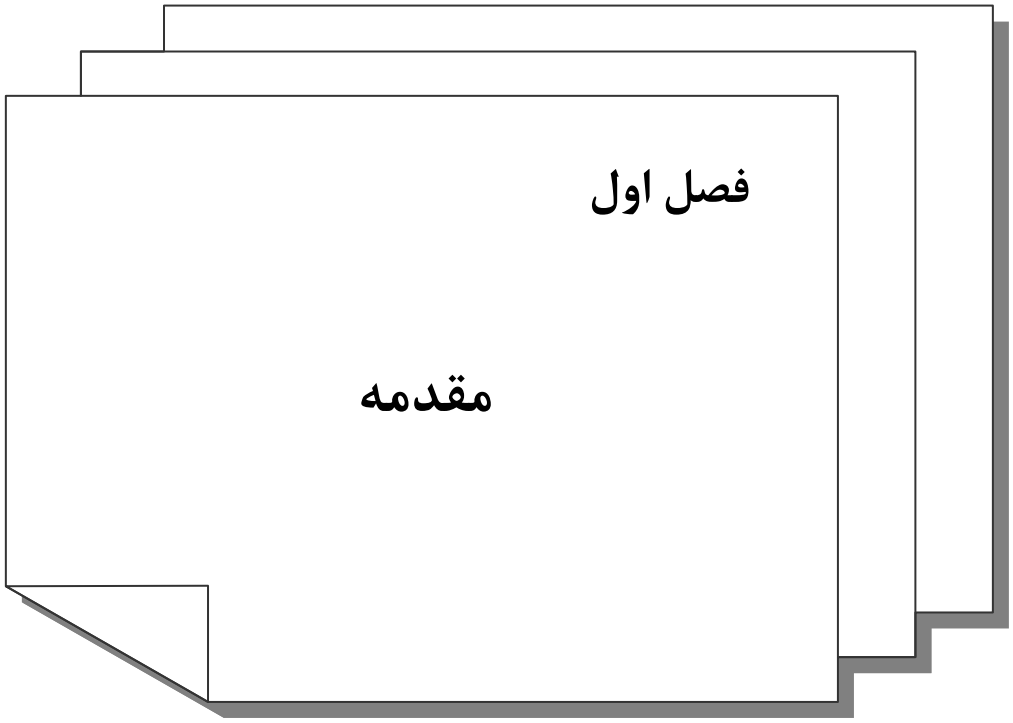
شکل ۴-۲. طیف‌های XRD نانواورتوفریت‌های یتریم سنتز شده با توئین ۲۰ a) هم‌رسوبی، ۱۰۸
b) ماکروویو، c) اولتراسونیک

فهرست علائم

علامت	نشانه
EDX	طیف‌سنجی تفکیک انرژی
FT-IR	طیف‌بینی زیر قرمز تبدیل فوریه
SEM	میکروسکوپ الکترونی روبشی
AFM	میکروسکوپ نیروی اتمی
XRD	پراش‌سنجی اشعه ایکس
h k l	اندیس میلر
PVA	پلی وینیل الکل
L (nm)	نانومتر
L (m)	متر
L (cm)	سانتی متر
m (g)	گرم
M (mol/lit)	مولار
P (W)	توان
AES	طیف سنجی الکترون اوژه
SEM	میکروسکوپ الکترونی روبشی
WDS	طیف سنجی تفکیک طول موج
EDS	طیف سنجی تفکیک انرژی
TEM	میکروسکوپ الکترونی عبوری
t (h)	ساعت

T (K)	کلوین
T ($^{\circ}$C)	درجه سانتی‌گراد
t (min)	دقیقه
V (ml)	میلی‌لیتر
v (rpm)	دور بر دقیقه
VSM	مغناطیس‌سنج ارتعاشی نمونه
At%	درصد اتمی
Wt%	درصد وزنی
EELS	طیف سنجی کاهش انرژی الکترون
Å	آنگستروم
λ	طول موج اشعه ایکس تابشی
θ	زاویه برخورد پرتو تابشی به صفحه اتمی
B	پهنای پیک در نصف بیشینه ارتفاع
t	اندازه متوسط بلور
d	فاصله بین صفحات کریستالی
n	عدد صحیح
υ (cm^{-1})	عدد موجی
a، b، c	پارامترهای شبکه
α، β، γ	زوایای بین برداری
x، y، z	محورهای مختصات
X	اشعه ایکس
Mw	تابش ماکروویو
R (Ω)	مقاومت
I (A)	جریان
λ (MHz)	مگا هرتز

λ (GHz)	گیگا هرتز
λ (KHz)	کیلو هرتز
P (atm)	فشار
S	فوق اشباعیت
C	غلظت جزء حل شونده در حالت اشباع
C_{eq}	غلظت جزء حل شونده در حالت تعادلی


فصل اول
مقدمه

۱-۱- مقدمه

انقلاب فناوری نانو با صراحت تمام شروع شده است و سرانجام تمام ابعاد زندگی ما را تحت تأثیر قرار خواهد داد. فناوری نانو به سرعت در بسیاری از جنبه‌های زندگی انسان در حال پیشرفت است و به نظر می‌رسد توسعه سریع فناوری‌ها و علوم مختلف از جمله فناوری اطلاعات، تولید انرژی، هوا فضا و دیگر علوم و فناوری‌ها را تحت تأثیر قرار دهد.

فناوری نانو در کوتاه مدت توانایی ایجاد کامپوزیت‌های سبک‌تر و مستحکم‌تر با خواصی نظیر هدایت الکتریکی، مقاومت بالا در برابر مواد شیمیایی، حرارت و همچنین امکان بهبود بازیافت یا افزایش مقاومت در برابر عبور گازها را دارا می‌باشد و در نتیجه بسیاری از صنایع مانند صنعت خودرو سازی و صنایع هوا و فضا را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

فناوری نانو با تأثیر بر صنایع مختلف، تحولات گوناگونی را در آن‌ها ایجاد خواهد کرد. در بخش ذخیره و توزیع انرژی، نانو ذرات، نانو لوله‌ها و دیگر محصولات نانو با افزایش بازده ذخیره انرژی، سرعت شارژ و تخلیه باتری‌ها، انقلابی را در صنعت تولید و ذخیره سازی انرژی به ارمغان خواهند آورد.

در صنایع هوا فضا انتظار می‌رود که نانو کامپوزیت‌ها با کاهش درصد وزن و در نتیجه کاهش مصرف سوخت تحولی عظیم در اقتصاد صنایع هوانوردی و هواپیماسازی به‌وجود آورند.

در حال حاضر، علم پزشکی نیز متأثر از فناوری نانو است. مهم‌ترین اثرات فناوری نانو در زمینه داروسازی، استفاده از مواد زیست سازگارتر در ساخت اندام‌های مصنوعی و استفاده از نانو سیالات در آنالیز و تشخیص سریع بیماری‌ها است.

صنایع الکترونیک نیز متأثر از فناوری نانو است. فناوری نانو در عرصه حافظه و ذخیره سازی داده‌ها و همچنین در بخش پردازنده‌ها با استفاده از نانو سیم‌ها و نانو لوله‌ها، تحولی شگرف در این صنعت ایجاد کرده است. ساخت مواد جدید با استفاده از ماشین‌های مولکولی موسوم به آراینده‌ها[۱] و همچنین آماده کردن این ماشین‌ها برای کپی برداری از خود از جمله ایده‌های مهم و چالش بر انگیز در کاربردهای بلند مدت فناوری نانو است [۱].

[۱] Assemblers

۱-۱-۱- مفهوم نانو

نانو از لغت یونانی Nanos به معنی کوچک مشتق شده است. نانو به معنی یک میلیاردم هر چیز است. همه جانداران از سلول‌های ریزی تشکیل شده‌اند که خود از واحدهایی در حد چند نانو متر مثل پروتئین‌ها، لیپیدها، اسید نوکلئیک‌ها، چربی‌ها و غیره تشکیل شده‌اند.

فناوری نانو و ساختارهای تولید شده از آن، سال‌هاست که در طبیعت وجود داشته است و در حال حاضر نیز ساختارهایی در مقیاس نانو در طبیعت شکل گرفته و می‌گیرد. فناوری نانو به فناوری اطلاق می‌شود که امکان ساخت و تولید مواد و ترکیبات مصنوعی در آزمایشگاه را برای انسان مقدور می‌سازد.

از آنجا که در مقیاس نانو خواص مواد تغییر می‌کند و باعث تولید مواد جدیدی با عملکرد بالاتر و خواص جدیدتر می‌گردد، فناوری نانو امکان دست‌کاری و آرایش دوباره اتم‌ها را در اختیار بشر قرار داده است تا بتواند با تغییر در چیدمان اتم‌ها علاوه بر امکان تولید مواد جدید با خواص دلخواه خود، موادی با ساختار ساده و ارزان تولید نماید [۱].

فناوری نانو که به فناوری مادون ریز نیز معروف است، در آینده‌ای نزدیک تمامی جنبه‌های زندگی بشر را تحت تأثیر قرار خواهد داد. همچنین در آینده‌ای نه چندان دور به کمک فناوری نانو، محصولاتی با خواص بهتر، مطلوب‌تر، دوام بیشتر و هزینه تولید و نگهداری کمتری تولید خواهد شد [۲].

۱-۱-۲- تاریخچه فناوری نانو

اولین نظریه‌ای که در زمینه فناوری نانو ارائه شده، متعلق به ریچارد فاینمن[۱] فیزیک‌دان آمریکایی است. نظریه پرهیاهوی وی در سال ۱۹۵۹ میلادی مربوط به کوچک نمودن بیست و نه جلد کتاب دایره المعارف بریتانیا و جای‌دادن آن در فضایی به اندازه نوک سوزن بود. او فضای نوک سوزن را بهتر از هر کسی می‌شناخت، چون فیزیک‌دان ذرات بنیادی بود. وی توانست با نوشتن کتاب‌های زیادی، نظریه‌های خود را به خوبی منتقل کند و با ارائه نظریه‌های خود مبنی بر استوار بودن بازار محصولات سال ۲۰۰۰ بر پایه اتم، جایزه نوبل فیزیک را در سال ۱۹۶۰ میلادی دریافت نماید [۱].

[۱] Richard Feynman

شخص دیگری به نام ماروین مینسکی[۱] نظریاتی در دهه هفتاد درباره امکان تولید وسایل کوچک ارائه داد و به پدر هوش مصنوعی شهرت یافت.

آقای دکتر اریک درکسلر[۲] در سال ۱۹۸۰ میلادی با نوشتن کتابی به‌نام ماشین تولید[۳] شهرت زیادی کسب نمود و به عنوان پدر علم فناوری نانو مشهور شد. او اولین شخصی بود که در سال ۱۹۹۱ میلادی دکترای فناوری نانو را از دانشگاه MIT آمریکا دریافت نمود و در سال ۱۹۹۶ میلادی مؤسسه فرسات[۴]، فناوری نانو آمریکا را تأسیس کرد که در حال حاضر، یکی از مؤسسه‌های بنام در تحقیقات فناوری نانو می‌باشد [۲].

۱-۲- نانوذرات

نانوذرات از ده‌ها یا صدها اتم یا مولکول با اندازه‌ها و مورفولوژی‌های مختلف (آموف، کریستالی، کروی شکل، سوزنی شکل و ...) ساخته شده‌اند. یک نانوذره، ذره‌ای است که ابعاد آن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. نانوذرات علاوه بر نوع فلزی، عایق‌ها و نیمه هادی‌ها، نانوذرات ترکیبی (نانو کامپوزیت) نظیر ساختارهای هسته-لایه را نیز دربر می‌گیرند. همچنین نانوکره‌ها، نانومیله‌ها، و نانوفنجان‌ها تعدادی از اشکال نانوذرات در نظر گرفته می‌شوند. نانوذرات در اندازه‌های کوچک، نانوخوشه به حساب می‌آیند. نانوبلورها و نقاط‌کوانتومی نیمه‌هادی نیز زیرمجموعه نانوذرات هستند. چنین نانوذراتی در کاربردهای بیوداروییی به عنوان حامل دارو و عوامل تصویربرداری استفاده می‌شوند [۳].

با گذر از میکرو ذرات به نانوذرات، با تغییر برخی از خواص فیزیکی روبه‌رو می‌شویم که دو مورد مهم از آن‌ها عبارتند از: افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی.

افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می‌دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتم‌های واقع در سطح ذره به رفتار اتم‌های درونی می‌شود. این پدیده بر خصوصیات ذره در حالت انزوا و بر تعاملات آن با دیگر مواد اثر می‌گذارد. افزایش سطح، واکنش‌پذیری نانوذرات را به شدت افزایش می‌دهد، زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم‌های موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در توده نمونه بسیار زیاد است، به گونه‌ای که این ذرات به شدت تمایل به آگلومره یا کلوخه‌ای شدن دارند. به عنوان مثال، نانوذرات

---

[۱] Marvin Minsky
[۲] Eric Drexler
[3] Engine of Creation
[4] Foresight