

هیات تحریریه:

دکتر علیرضا آقایی	پژوهشگاه مواد و انرژی
دکتر محمد رضوانی	دانشگاه تبریز
دکتر رسول صراف ماموری	دانشگاه تربیت مدرس
دکتر پروین عزیزاده	دانشگاه تربیت مدرس
دکتر حسین مولایی	شرکت اپرانا
دکتر علیرضا میرحبیبی	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر رحیم نقی زاده	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر علی محمد هادیان	دانشگاه تهران
دکتر عباس یوسفی	شرکت لعاب مشهد

گروه مشاوران:

دکتر علی اصغر بهنام قادر	پژوهشگاه مواد و انرژی
مهندس نادر خلیلی	فرآورده‌های دیرگداز مهر آریان فارس
مهندس سیروس روشنفکر فلاح	شرکت تجهیز مواد پیشگام
مهندس محمد روشنفکر فلاح	انجمن تولید کنندگان کاشی و سرامیک کشور
مهندس میر حسام الدین داعی نیایی	شرکت گل سرخ گستر آمل
مهندس علی زاویه	انجمن صنفی کارفرمایی صنعت مواد نسوز
مهندس حسین زجاجی	انجمن صنفی صنعت شیشه
مهندس محمود سالاریه	شرکت آرمیناز
دکتر آرمان صدقی	دانشگاه بین الملل امام خمینی
دکتر احمد صفری	دانشگاه ایالتی نیوجرسی
مهندس حسین عزیزیان	صنعت سیمان
دکتر مهران غفاری	شرکت اشکان پارت آفرین
دکتر عباس فاضلی	سازمان زمین شناسی کشور
دکتر کاووس فلامکی	دانشگاه امیرکبیر
مهندس عباسعلی قصابی	شرکت چینی زرین ایران
مهندس حسین قصابی	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر ابراهیم قاسمی	پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ
دکتر کاظم قنبری	دانشگاه شفیلد انگلستان
دکتر مهرداد کشمیری	دانشگاه بریتیش کلمبیا
دکتر علیرضا گنجی	شرکت معدنی و صنعتی سوراوچین عقیق
دکتر حمیدرضا نعمتی	شرکت لعابیران
دکتر امیر عباس نوربخش	دانشگاه آزاد



سال دهم، شماره پنجاه و ششم

زمستان ۱۳۹۷

ISSN: ۱۷۲۵-۳۲۵۱

« با درجه علمی ترویجی »

صاحب امتیاز: انجمن سرامیک ایران

مدیر مسئول: دکتر مسعود محبی

سر دبیر: دکتر علیرضا سوری

مدیر اجرایی: سعیده علیشاهی

گردآوری مطالب: محبوبه پیریایی

نشانی: تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده

مهندسی مواد و متالورژی، دفتر انجمن سرامیک ایران

صندوق پستی: تهران، ۱۱۱-۱۶۸۴۵

تلفن: ۷۷۸۹۹۳۹۹

دورنگار: ۷۷۸۹۹۳۹۹

پست الکترونیکی: info@jicers.ir

نشانی سایت اینترنتی: www.jicers.ir

طراحی، گرافیک و صفحه آرایی: تمام طرح ۷۷۲۰۹۲۲۸

اصلاح و خلاصه کردن مطالب با نظر مترجمان و نویسندگان انجام می‌شود. مسئولیت محتوای مقالات به عهده نویسندگان و مترجمان است. مطالب ارسالی برگردانده نمی‌شود.

تازه‌ها	
۱	اخبار انجمن سرامیک ایران
۱	جلسه کمیته علمی دوازدهمین کنگره سرامیک ایران
۲	گزارش دومین نمایشگاه بین‌المللی شیشه و صنایع وابسته
۶	اخبار شرکت‌ها و مراکز پژوهشی
۶	آغاز عملیات اجرایی نخستین واحد تولیدی سرامیک نانو و آنتی‌باکتریال در ایران
۶	بخش معدن سرزنده و فعال پیش می‌رود.
۸	مجوز جدید برای صنایع کاشی و سرامیک در یزد صادر نمی‌شود.
۸	رونق بازار سفال لالچین با افزایش قیمت دلار
۹	طراحی ساخت و تولید ماشین آلات خط تولید کاشی و سرامیک
۱۰	صنعت «کاشی و سرامیک» برای ۱۵ هزار غیربومی در میبد ایجاد اشتغال کرده است.
۱۱	چالش مواد اولیه برای کاشی و سرامیک
۱۴	اخبار علمی
۱۴	ابداع ماده جدید قوی‌تر برای پر کردن دندان‌ها
۱۵	ارائه راهبردی جدید برای تولید ساختارهای معماری شده
۱۶	ارائه‌ی نانوپوششی برای افزایش طول عمر ایمپلنت‌های پزشکی
۱۶	پنج تقاضای صنعتی نانویی برای دریافت راهکارهای فناورانه
۱۷	تولید نانوذرات برای استفاده در تجهیزات چاپ سه‌بعدی
۱۷	عرضه‌ی تجاری نسل سوم نانوپوشش‌های شفاف آنتی‌باکتریال
۱۸	ماده جدید دو بعدی (2D) با استفاده از نور به سرعت و با اطمینان آب را تصفیه می‌کند.
۱۹	مقالات پژوهشی
۱۹	بررسی اثر زمان فرآیند هیدروترمال بر مشخصات فازی، ریزساختار و خواص مغناطیسی ...
۲۵	مطالعه توپوگرافی و خواص ساختاری لایه‌های آمورف کربن نیکل با توزیع‌های متفاوت فلزی
۲۹	مقالات مروری
۲۹	مروری بر کاربردهای هیدروکسی آپاتیت در دارورسانی
۳۹	مروری بر نانوالیاف کامپوزیتی پلیمر/سرامیک زیستی الکترورسی شده جهت ترمیم بافت ...
۴۷	سنتز نانوپودرها با استفاده از تکنیک پلاسما
۶۶	معرفی پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی
۶۸	لیست اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران
۷۵	تقویم رویدادهای سرامیک

اخبار انجمن سرامیک ایران

جلسه کمیته علمی دوازدهمین کنگره سرامیک ایران

جلسه کمیته علمی دوازدهمین کنگره سرامیک ایران در روز شنبه ۱۳ بهمن ماه با حضور اعضای محترم کمیته علمی و هیات مدیره انجمن سرامیک ایران، به منظور تصمیم‌گیری نهایی در مورد مقالات دوازدهمین کنگره سرامیک ایران در دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی برگزار شد.



گزارش دومین نمایشگاه بین‌المللی شیشه و صنایع وابسته

۲۳ الی ۲۶ بهمن ماه ۱۳۹۷

محل دائمی نمایشگاه‌های بین‌المللی تهران

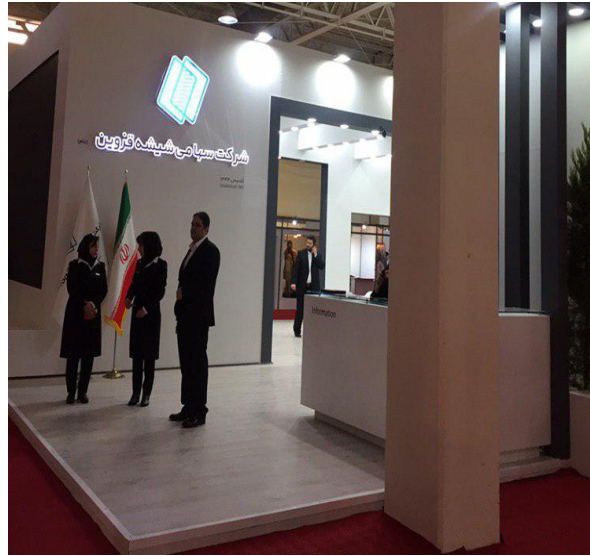
هدف از برگزاری نمایشگاه شیشه و صنایع وابسته، کمک به توسعه این صنعت و تدوین نقشه راه پیش روی صنعت شیشه کشور با بررسی وضعیت این صنعت در داخل کشور و مقایسه آن با کشورهای پیشرو در این حوزه می‌باشد.

برگزاری نمایشگاه بین‌المللی شیشه و صنایع وابسته می‌تواند پل ارتباطی بین بازرگانان، کارشناسان صنعت‌گران و محققین صنعت شیشه در ایران با یکدیگر و دیگر کشورهای جهان باشد. برگزاری این نمایشگاه تنها برای نمایش کالاها و انجام مذاکرات تجاری پیرامون آنها برگزار نمی‌شوند، بلکه اطلاعات گوناگون در زمینه قیمت‌های رقابتی در سطح جهانی، آخرین استانداردهای کیفی، آخرین پیشرفت‌های صنعتی، دستاوردهای پژوهش علمی و ایده‌های اقتصادی-تکنولوژی نیز در خلال برگزاری نمایشگاه‌ها مورد تبادل قرار می‌گیرند. به وجود آوردن زمینه مساعد جهت انجام ملاقات‌های صنعتی و اقتصادی بین بلندپایگان این صنعت، جهت ایجاد همکاری و تفاهم میان آنها، بیانگر بعد دیگری از فلسفه وجودی نمایشگاه بین‌المللی شیشه و صنایع وابسته می‌باشد، تا جایی که این نمایشگاه می‌تواند به صورت یکی از کارآمدترین ابزارها جهت گسترش و تعمیق مناسبات اقتصادی، بازرگانی و صنعتی در صنعت شیشه خاورمیانه باشد. برگزاری نمایشگاه بعنوان یکی از گام‌های مهم جهت تسریع در رسیدن به اهداف بلندمدت و نفوذ در بازارهای جدید و همچنین یافتن شرکای تجاری راه متداول و خوبی است.

دومین نمایشگاه بین‌المللی شیشه و صنایع وابسته در تاریخ ۲۳ الی ۲۶ بهمن ماه در محل نمایشگاه بین‌المللی تهران با حضور بیش از ۴۰ شرکت فعال در این زمینه برگزار شد.



در میان این شرکت‌ها، تعدادی از اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران از جمله شرکت شیشه قزوین و گروه کارخانجات شیشه اردکان نیز حضور داشتند.



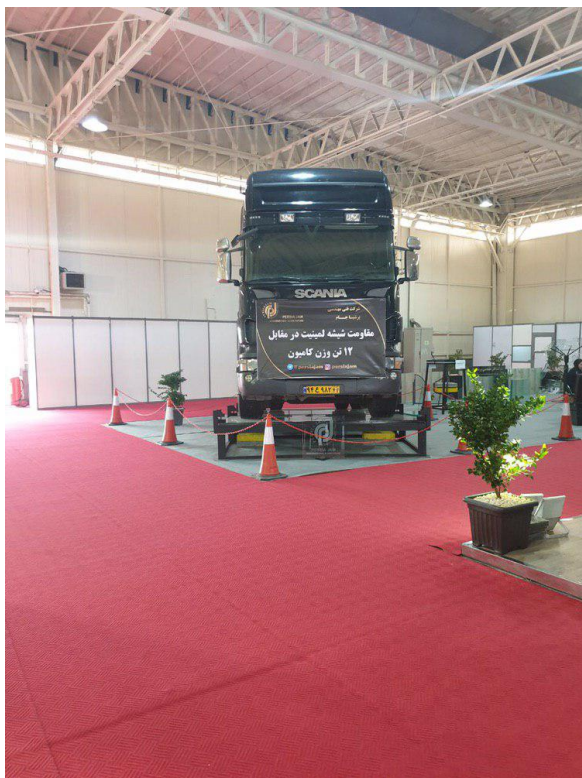
انجمن سرامیک ایران نیز در سالن ۸ و ۹ با ارائه فعالیت‌ها و انتشارات و همچنین اطلاع‌رسانی در مورد برگزاری دوازدهمین کنگره سرامیک ایران، حضوری فعال در این نمایشگاه داشت.



همزمان با برگزاری نمایشگاه، در غرفه شرکت ایمن شیشه سپهر، تعدادی کلاس‌های آموزشی با موضوعاتی از قبیل شیشه‌های دوجداره تحت خلأ، روش‌های آزمون شیشه‌های ساختمانی، مواد اولیه در فرمولاسیون شیشه و استفاده از مواد جایگزین، دستاوردهای جدید در شیشه‌های ساختمانی با فناوری پوشش و آشنایی با پارامترهای موثر در انتخاب شیشه‌های نما برگزار شد.



همچنین در روز آخر نمایشگاه، در غرفه شرکت پرشیا جام، مقاومت به ضربه و قابلیت تحمل بار شیشه لمینت مورد آزمایش قرار گرفت که با استقبال بازدیدکنندگان همراه بود.



اخبار شرکت‌ها و مراکز پژوهشی

آغاز عملیات اجرایی نخستین واحد تولیدی سرامیک نانو و آنتی باکتریال در ایران

همزمان با آغاز دهه پنجم انقلاب در مراسمی با حضور نماینده مردم ساوه و زرنديه در مجلس شورای اسلامی و فرماندار، و جمعی از مدیران استانی و شهرستانی عملیات اجرایی واحد تولیدی سرامیک نانو و آنتی باکتریال برای اولین بار در ایران در شهرک صنعتی غرق آباد از توابع ساوه آغاز شد.



مدیر عامل این واحد تولیدی در حاشیه کلنگ زنی این کارخانه در گفت‌وگو با خبرنگار ایسنا، اظهار کرد: در حال حاضر فناوری نانو در حوزه تولیدات کاشی و سرامیک پس از پخت این محصول قبل از بسته بندی به صورت لایه پوششی صورت می‌گرفت.

محمدرضا عقلی افزود: در این شرکت کاشی‌سازی به روش پودر خشک فناوری نانو و آنتی باکتریال به کاشی و سرامیک تولیدی قبل از پخت افزوده می‌شود که این کار برای اولین بار در ایران صورت می‌گیرد.

وی به مزیت این نوع تولید کاشی و سرامیک در ایران اشاره کرد و گفت: ماندگاری تولید این محصول با پوشش نانو و آنتی باکتریال حدود ۱۶ سال

است اما با استفاده از روشی که این شرکت اعمال خواهد کرد مدت ماندگاری و میزان استحکام محصول تولیدی تا بیش از ۵۰ سال افزایش خواهد یافت و یک محصول با کیفیت و ماندگار روانه بازار خواهد شد.

عقلی بیشترین بازار مصرف این نوع کاشی را در نقاطی که نیاز به ایزوله بالا نظیر اتاق‌های عمل دارد بیان کرد و گفت: در این شیوه تولید کاشی و سرامیک جذب نکردن آب و لکه‌پذیری تا حدود ۵۰ سال غیرممکن خواهد بود و عمر کاشی و سرامیک به اندازه عمر یک ساختمان خواهد بود.

وی بیان کرد: این واحد صنعتی با فناوری روز دنیا و ماشین‌آلاتی از کشورهای چین و ایتالیا در زمینی به مساحت ۲۳ هزار و ۵۰۰ متر مربع و زیربنای چهار و ۵۰۰ متر مربع با سرمایه‌گذاری ۳۸۰ میلیارد ریال و ایجاد اشتغال برای ۹۰ نفر به صورت مستقیم و ۴۵۰ نفر به صورت غیر مستقیم احداث خواهد شد.

وی تصریح کرد: استحکام کاشی و سرامیک و ماندگاری آن در این نوع فناوری موجب افزایش عمر ساختمان خواهد شد.

منبع: <https://www.isna.ir/news/97112613323>

بخش معدن سرزنده و فعال پیش می‌رود.

رئیس خانه معدن ضمن اعلام دستاوردهای بخش معدن و صنایع معدنی ایران در ۴۰ ساله اخیر در آستانه ۴۰ سالگی انقلاب اسلامی ایران اعلام کرد که به طور کلی بخش معدن طی این سال‌ها حرکت رو به جلو داشته و از بخش‌های موفق اقتصاد بوده است.

محمدرضا بهرامن - رئیس خانه معدن ایران - در گفت‌وگو با ایسنا، در رابطه با دستاوردهای ۴۰ ساله انقلاب اسلامی ایران در بخش معدن و صنایع معدنی اظهار کرد: چنانچه به طور کل از سال ۴۸ تا ۵۷ (۱۰ ساله قبل از انقلاب) را در نظر بگیریم، بخش معدن خود به خود حرکت‌ها و فرهنگ‌گذاری‌هایی داشته است. به طور مثال سرب و روی انگوران در همین دوران کار خود را در مباحث و سرمایه‌گذاری‌ها آغاز کرد.

وی به ترتیب میزان رشد صنایع معدنی ایران طی ۴۰ سال اخیر را به تفکیک بدین ترتیب تشریح کرد که در مباحث فولادی، در ابتدا ما تنها ذوب‌آهن را داشتیم اما بعد از سال ۵۷ عملاً نگاه‌ها و نگرش‌ها در بخش معدن اوج گرفت؛ بطوری که از سال‌های ۱۳۶۷ به بعد جهشی در بخش معدن کشور با برنامه‌ریزی‌های متولیان بخش معدن ایجاد شد و معدن حرکت اصلی خود را آغاز

کرد. امروزه در صنعت فولاد علاوه بر اینکه تأمین کننده کل نیاز داخل هستیم، بخش مازاد نیز به خارج از کشور صادر می‌شود. رئیس خانه معدن ایران با بیان اینکه بخش معدن در آن سال‌ها حدود ۱۲۰ میلیون تن تولید داشته است، اعلام کرد: در کل معادن کشور، امروز ارقام تولید به بیش از ۴۰۰ میلیون تن رسیده است.

بهرامن بیان کرد: در صنعت مس نیز حرکت‌های بزرگی انجام شده است. مس سرچشمه طی سال‌های پس از انقلاب فعال و بخش سرمایه‌گذاری و فرآوری آن به انتهای خود رسید. همچنین معادن بزرگی در اطراف مس چشمه به فعالیت و بهره‌وری رسیدند. امروز در بخش معدن مس در دنیا جزو کشورهای صاحب نام و جزو کشورهای هستیم که می‌توانیم در بازار مصرف با توجه به میزان تولیدی که داریم اثرگذار باشیم.

وی تصریح کرد: در معادن سنگ‌های تزئینی نیز جهش غیرمترقبه‌ای در کشور طی سال‌های ۶۶ به بعد آغاز شد که در بحث تکنولوژی‌های نو بود. امروز هرچند که در صادرات سنگ‌ها معدنی چندان موفق نبوده‌ایم اما یکی از چهار کشور بزرگ دنیا در معادن سنگ‌های تزئینی چه در ذخایر و چه در میزان تولید هستیم.

رئیس خانه معدن با یادآوری اینکه در بخش سرب و روی معادن بزرگ و جدیدی در کشور علاوه بر منطقه انگوران راه‌اندازی شده است، گفت: معدن سرب و روی مهدی‌آباد از بزرگترین معادن این حوزه است که جزو ذخایر بزرگ سرب و روی در دنیا و منطقه است. وی افزود: همچنین معادن سنگ آهن طی ۴۰ سال اخیر جهش غیرمترقبه‌ای داشته است. در حقیقت علی‌رغم اینکه قبل از انقلاب حتی در تأمین خوراک اولیه برای کارخانه ذوب آهن باید مواد اولیه را از خارج از کشور وارد می‌کردیم؛ اما امروز ظرفیت این معادن به ارقام بسیار بالایی رسیده است که یک ویژگی خاص در معادن سنگ آهن به حساب می‌آید.

بهرامن با یادآوری اینکه در صنایعی همچون سیمان حتی تا سال‌های ۸۴ هم واردکننده بودیم، اعلام کرد: امروز نه تنها به اندازه کافی برای مصرف داخلی سرمایه‌گذاری شده و در اختیار مصرف‌کننده داخلی برای پروژه‌های مختلف ساختمان، عمرانی و غیره قرار می‌گیرد، فضا برای صادرات نیز فراهم است. صنعت سیمان ما امروز ۸۴ میلیون تن تولید سیمان دارد با وجود اینکه تا حدود ده-دوازده سال قبل واردکننده سیمان بوده است اما امروز به عنوان یک کشور صادرکننده سیمان است.

رئیس خانه معدن ایران ادامه داد که در سنگ‌هایی همچون کاشی و سرامیک علاوه بر اینکه امروزه در معادن پرکننده‌اش (مواد اولیه) مصرف‌کننده خوبی هستیم، مازاد بسیار بالایی در تولید نیز داریم که ما را قادر می‌سازد صادرات خود را افزایش دهیم. وی تصریح کرد: در سایر معادن رنگین و منحصراً طلا جایگاه خوبی داریم. طی پنج-شش سال گذشته حرکت‌های خوبی در اکتشاف معادن طلا در کشور رخ داده که روز به روز بهتر نیز شده است. در سال گذشته هشت تن تولید داشته‌ایم که قطعاً طی سال‌های آینده با توجه به اکتشافاتی که در کل کشور خواهیم داشت و با توجه به فناوری‌هایی که در حین انجام است، دسترسی بیشتری خواهیم داشت.

بهرامن افزود: همچنین در معادن زغال سنگ نیز نسبت به گذشته شرایط بسیار بهتر شده است. هرچند در مقایسه با معادن زغال دنیا پروژه‌های چندان بالایی نداریم؛ اما حداقل تأمین کننده نیازهای داخلی کشور هستیم. باید توجه کرد که چنانچه بخواهیم صنعت فولاد را گسترش دهیم، نیاز به افزایش ذخایر زغال تا میزان دو برابر اکنون داریم.

رئیس خانه معدن ایران با تأکید بر اینکه در بخش اکتشافات در شرایط خوبی به سر می‌بریم، اظهار کرد: امروز به ذخایر عمقی با اعماق ۱۵۰۰ متر دسترسی داریم. طی ۱۰ سال گذشته حرکت‌هایی در حوزه اکتشافات در کشور راه افتاده که به دلیل پتانسیل‌های خاص این حوزه، به دلیل وجود منابع بسیار غنی در کشور و ایجاد ارزش افزوده است.

وی تصریح کرد: به طور کل بخش معدن بخشی بوده که حرکت رو به جلو داشته است. شاید با توجه به اینکه صنایع معدنی کشور همچون نفت سرمایه و ثروتی الهی است؛ انتظار داشتیم بهره بیشتری داشته باشیم اما می‌توانیم با برنامه‌های تعریف شده با استراتژی‌هایی هم در داخل و هم خارج از کشور خود را تطبیق داده و بر اساس آن تولیدات خود را افزایش دهیم. سپس بر اساس آن حرکت‌های سرمایه‌گذاری در بخش‌های مختلف معدن را عملیاتی کنیم.

بهرامن تأکید کرد: در بازار سرمایه، سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در بخش معدن طی ۵۵ سال گذشته تاکنون، حدود ۳۰ میلیارد دلار است که بخش عمده آن طی ۴۰ سال گذشته اتفاق افتاده است. حاصل این سرمایه‌گذاری‌ها این است که امروزه رقمی بیش از هشت و نیم میلیارد دلار تنها در بخش معدن صادرات داشته‌ایم.

وی افزود: در سال جاری علی‌رغم تمام مشکلاتی که از ابتدای سال وجود داشت، بخش معدن جزو بخش‌هایی بوده که حدود هفت میلیارد و ۲۰۰ میلیون دلار صادرات داشته است که نشان‌دهنده فعال و زنده بودن این بخش است.

منبع: <https://www.isna.ir/news/97111809989>

مجوز جدید برای صنایع کاشی و سرامیک در یزد صادر نمی‌شود.

علی زینی‌وند در گفتگو با خبرنگار مهر اظهار داشت: صنایعی نظیر کاشی و سرامیک هم به لحاظ آبخواهی بالا و هم به لحاظ آلاینده‌گی هوا و محیط زیست، می‌توانند برای استان یک آسیب به شمار روند بر این اساس مقرر شده تا مجوز جدیدی برای این صنعت در استان صادر نشود.



وی بیان کرد: البته اکنون شاهد بهره‌برداری از برخی واحدهای کاشی و سرامیک هستیم که این واحدها مجوز فعالیت خود را در گذشته و قبل از اتخاذ تصمیم عدم صدور مجوز جدید، دریافت کرده‌اند.

زینی‌وند خاطر نشان کرد: برخی افتتاحیه‌ها نیز مربوط به طرح توسعه صنایع کاشی و سرامیک است که با توجه به ظرفیت تولید قید شده در مجوز، امکان توسعه آنها وجود دارد.

معاون هماهنگی امور اقتصادی استاندار یزد تصریح کرد: تنها در

صورتی مجوز جدید برای این صنعت صادر می‌شود که با استفاده از تجهیزات مدرن و تکنولوژی روز دنیا، یا آبخواه نباشند و یا آلاینده‌گی نداشته باشند.

به گزارش مهر، استان یزد به ویژه شهرستان میبد، قطب تولید کاشی در کشور به شمار می‌رود و در حال حاضر ۴۵ درصد کاشی کشور در این استان تولید می‌شود.

بعد از میبد، شهرهای یزد، اشکذر و مهریز رتبه‌های بعدی در زمینه تولید کاشی در استان را دارند.

منبع: mehrnews.com/news/4547528

رونق بازار سفال لالجین با افزایش قیمت دلار

رئیس انجمن سفال و سرامیک شهر لالجین، گرانی دلار را عامل رونق تولیدات سفال دانست و گفت: در دو سال اخیر، به علت افزایش نرخ دلار، واردات محصولات سفالی و سرامیکی بسیار کاهش داشته و موجب افزایش میزان تولیدات داخلی شده است.



محمد سلیمی در گفت‌وگو با ایسنا اظهار کرد: امسال واردات محصولات به صفر رسیده و نسبت به سال‌های گذشته آمار قابل توجهی از تولیدات داشته‌ایم.

وی در خصوص صادرات خاک لالجین، تصریح کرد: در هر سال مقدار ۲۰ تن گل رس برای کشورهای اروپایی و آمریکایی صادر می‌کنیم.

وی ادامه داد: چندین سال پیش برای کوره‌های آجرپزی از خاک لالجین استفاده می‌شد که اکنون از جایگزین برای این امر استفاده می‌کنند.

محمدی با بیان اینکه کار تولید سفال و سرامیک دو مشکل اساسی دارد، ذکر کرد: اصلی‌ترین مشکل این حرفه، عرضه‌ی محصولات بدون شناسنامه است، هنگامی که یک اثر تاریخی بدون توضیح کاربرد، تاریخ ساخت، نام سازنده و نوع مواد استفاده شده، به فروش می‌رسد موجبات سوءاستفاده و کلاهبرداری را فراهم می‌کند.

وی افزود: تمام اجناس سفالی و سرامیکی با مواد یکسان در مغازه‌های مختلف با مبالغ متفاوت به فروش می‌رسد که علت این امر عدم شناسنامه دار بودن اجناس است.

وی با اشاره به اینکه روش تولید آثار به صورت سنتی و عدم استفاده از روش‌های دانش بنیان است، اعلام کرد: این موضوع باعث عدم رونق بازار صنایع دستی لالچین شده است، به خصوص که ما شهر جهانی هستیم بهره نبردن از روش‌های پیشرفته برای تولید آثار، ظاهر خوبی برای شهر ندارد.

محمدی در خصوص تأثیر رویداد ۲۰۱۸ در معرفی این شهر اظهار کرد: این اتفاق تغییر چشمگیری در لالچین ایجاد نکرد و در جهت معرفی این شهر جهانی بسیار کوتاهی شده است.

وی با اشاره به عدم همکاری و همیاری مسئولان، گفت: ما برای معرفی لالچین و رونق بازار خواستار تبلیغات گسترده هستیم که هیچ یک از مدیران استانی از این پیشنهاد استقبال نمی‌کنند در صورتی که انجام این امر، باعث تحولات چشمگیری خواهد شد. وی اظهار کرد: متأسفانه هیچ آماری از تعداد تولیدکنندگان و کارگاه‌ها در دست نداریم زیرا نظارت مستقیم و همه جانبه در این خصوص انجام نمی‌شود.

محمدی در خصوص برنامه‌های این شهرستان برای عید نوروز، اضافه کرد: تاکنون بخشنامه و دستوری برای این ایام صادر نشده است اما امیدواریم که در تصمیم‌گیری‌های خود رشد و پیشرفت لالچین مورد نظر قرار بگیرد.

منبع: <https://www.isna.ir/news/9>

طراحی ساخت و تولید ماشین آلات خط تولید کاشی و سرامیک

رئیس سازمان منطقه ویژه اقتصادی خراسان جنوبی گفت: تاکنون ۴۴ مورد سرمایه گذاری در بخش‌های مختلف منطقه ویژه اقتصادی انجام شده و برای اولین بار در کشور و خاورمیانه طراحی ساخت و تولید ماشین آلات خط تولید کاشی و سرامیک در این منطقه شکل گرفت.



به گزارش ایسنا منطقه خراسان جنوبی، مرتضی صفدری زاده، در نشست فعالان اقتصادی خراسان جنوبی اظهار کرد: خراسان جنوبی دارای منطقه ویژه اقتصادی است که برای اولین بار توسط بخش خصوصی ایجاد و اداره می‌شود. وی گفت: تاکنون ۴۴ مورد سرمایه گذاری در بخش‌های مختلف منطقه ویژه اقتصادی انجام شده و برای اولین بار در کشور و خاورمیانه طراحی ساخت و تولید ماشین آلات خط تولید کاشی و سرامیک در این منطقه شکل گرفت.

رئیس سازمان منطقه ویژه اقتصادی خراسان جنوبی افزود: خراسان جنوبی دارای ظرفیت و پتانسیل‌های بالایی و نیروی انسانی ارزشمندی است و معتمدیان استاندار خراسان جنوبی یکی از مدیران توانمند در استان است.

صفدری زاده تصریح کرد: اگر به دنبال الگوی توسعه برای استان هستیم نیاز به مدیر توانمند و ارزشمند در استان داریم که استاندار خراسان جنوبی فرصتی مناسب برای این استان است.

وی ادامه داد: معتمدیان استاندار خراسان جنوبی با ورود به استان ابتدا راه‌اندازی پروازهای آتا را در استان نهایی کردند.

رئیس سازمان منطقه ویژه اقتصادی خراسان جنوبی خاطر نشان کرد: مرز ماهیروید یک مرز بین‌المللی است و می‌تواند با امکانات موجود حداقل ۸۰۰ کامیون می‌توانند از آن عبور کنند.

صفدری‌زاده با بیان اینکه راهی جز توسعه برای استان نیست، اظهار کرد: با اختصاص ۲۰۰ میلیون دلار از صندوق ذخیره ارزی در

مدت سه ماه یا شش ماه می‌توان چرخ توسعه استان را به حرکت درآورد و امیدواریم این مبلغ و علاوه بر آن نیز ۱۰۰ میلیون دلار برای توسعه زیرساخت‌ها به استان اختصاص داده شود.

ساخت راه‌آهن توسعه اقتصاد خراسان جنوبی را در پی دارد

رئیس اتاق بازرگانی بیرجند با بیان اینکه ساخت راه آهن استان نیز به توسعه اقتصاد استان کمک می‌کند، تصریح کرد: همچنین انتظار این است که به خطوط هوایی استان کمک شود و پروازهای بیرجند به سمت سایر استان‌ها و کشورهای همسایه انجام شود. به گزارش ایسنا، محسن احتشام، شب گذشته ۲۰ اسفند، در نشست فعالان اقتصادی خراسان جنوبی اظهار کرد: خراسان جنوبی در کریدور شمال به جنوب قرار دارد اما یکی از استان‌های محروم در کشور است. وی گفت: تکمیل و تجهیز زیرساخت‌ها در استان می‌تواند انگیزه‌ای برای سرمایه‌گذاری سرمایه‌گذاران باشد و سبب رونق فضای کسب و کار شود.

رئیس اتاق بازرگانی بیرجند با بیان اینکه جاده‌های استان نیاز به کمک و عزم جدی دولت دارد، افزود: مرز ماهیرود نقش مهمی در توسعه صادرات استان و کالاهای اقتصاد مقاومتی دارد که امیدواریم جاده ماهیرود نیز به استانداردهای لازم برسد. احتشام با بیان اینکه ساخت راه آهن استان نیز به توسعه اقتصاد استان کمک می‌کند، تصریح کرد: همچنین انتظار این است که به خطوط هوایی استان کمک شود و پروازهای بیرجند به سمت سایر استان‌ها و کشورهای همسایه انجام شود. وی ادامه داد: هر چند برای گمرک ماهیرود سرمایه‌گذاری‌های انجام شده اما همچنان برای تجهیز و تکمیل گمرک ماهیرود نیاز به سرمایه‌گذاری بیشتر داریم و باید برای رونق اقتصادی در منطقه بودجه کافی اختصاص پیدا کند. رئیس اتاق بازرگانی بیرجند خاطرنشان کرد: بخش عظیمی از صنایع در استان کوچک و متوسط هستند که باید کمک‌های فنی و اعتباری به این صنایع اختصاص پیدا کند.

احتشام یادآور شد: ۵۰ هزار خانوار در استان از طریق زعفران، زرشک و عناب امرار معاش می‌کنند که نیاز به توجه بیشتر دارند.

منبع: <https://www.isna.ir/news/9>

صنعت «کاشی و سرامیک» برای ۱۵ هزار غیربومی در میبد ایجاد اشتغال کرده است.

فرماندار میبد با اشاره به تولید ۳۵ درصد کاشی و سرامیک کشور در میبد گفت: صنعت «کاشی و سرامیک» برای ۱۵ هزار غیربومی در میبد ایجاد اشتغال کرده است.

به گزارش خبرگزاری تسنیم از یزد، حسین فلاح پیش از ظهر در نشست خبری با خبرنگاران یزد که در ادامه نشست‌های خبری



فرمانداران به مناسبت اعلام دستاوردهای انقلاب اسلامی در استان یزد برگزار شد، با مقایسه وضع کشور در سال‌های ۵۷ نسبت به ۹۷ اظهار داشت: مهم‌ترین دستاور انقلاب اسلامی اعتماد مردم به نظام جمهوری اسلامی ایران است.

وی با بیان اینکه شهرستان میبد با ۱۰۳ هزار نفر جمعیت بعد از یزد بیشترین جمعیت را به خود اختصاص داده افزود: این شهرستان تولید ۳۵ درصد از کاشی و سرامیک کشور را به خود اختصاص داده و سبب به کارگیری ۱۵ هزار غیر بومی در میبد شده است.

فرماندار میبد با اشاره به نیاز ساخت ۱۱ مدرسه در سال خاطرنشان کرد: بنا بر نیازهای دانش‌آموزان با کمک آیت‌الله اعرافی امام جمعه شهرستان میبد، افق ۵ ساله لحاظ شد و با کمک مردم و خیرین موفق به ساخت این مدارس شده و تا سال پیش ۱۲ مدرسه در این شهرستان ساخته شد و دولت تجهیزات آن‌ها را فراهم ساخت.

فلاح با اشاره به چهلمین سالگرد پیروزی انقلاب اسلامی ادامه داد: در دهه فجر پیروزی انقلاب ۱۰۳ میلیارد ریال در بخش دولتی و ۱۷۰ میلیارد ریال در بخش دولتی اعتبار تعریف شده و ۴ واحد صنعتی و ۱۵ پروژه عمرانی افتتاح می‌شود. وی در ارتباط با فعالیت‌های مرتبط با زیرساخت‌های ورزشی میباید تصریح کرد: امسال در شهرستان میبد ۹ میلیارد و ۵۰۰ میلیون تومان در بحث زیرساخت‌های ورزشی هزینه شده و یک استخر سرپوشیده با بهترین امکانات در دهه فجر افتتاح می‌شود. فرماندار میبد در ارتباط با اشتغال‌زایی در میبد عنوان کرد: ۳۷۷ نفر با افتتاح پروژه‌های دهه فجر و شراکت بخش خصوصی مشغول به کار می‌شوند.

وی با اشاره به فعالیت ۲ مرکز علمیه و ۱۱ مرکز آموزش عالی در شهرستان میبد افزود: حدود ۶ هزار و ۵۰۰ دانش‌جو و ۲۰ هزار دانش‌آموز در این مراکز و رشته‌های تخصصی مشغول به تحصیل هستند.

فلاح به سرمایه‌گذاری چهار میلیاردی در بخش گردشگری در شهرستان میبد اشاره کرد و گفت: وجود ۱۴ بوم‌گردی، ساخت هتل پنج ستاره و مرمت تک بناهای میراثی، مهمترین کارهای انجام شده در این حوزه است.

منبع: <https://tn.ai/1931829>

چالش مواد اولیه برای کاشی و سرامیک

می‌متالز - بازار کاشی و سرامیک همراه با تحولات ارزی، سال پرتلاشی را از سر گذراند، این در حالی بود که مهم‌ترین چالش تولیدکنندگان این صنعت در امسال تهیه مواد اولیه بود.



به گزارش می‌متالز، مواد اولیه در این صنعت با افزایش ۲ تا ۴ برابری همراه شد و کاشی و سرامیک افزایش ۲ تا ۳ برابری را تجربه کرد اما موضوعی که تولیدکنندگان این صنف از آن گلایه‌مند بودند، صدور آیین‌نامه‌های مختلف و متناقض بود که کار را برای تولید و فروش و صادرات آنها محدود و سخت کرده بود.

قوانینی که تولید را فلج کرد.

درباره بازار کاشی و سرامیک، محمد روشنفکر، رئیس انجمن کاشی و سرامیک ایران عنوان کرد: امسال با توجه به سیاست‌هایی که دولت درپیش گرفت، سال خوبی برای تولیدکننده و بازار رقم نخورد، درحقیقت سیاست‌هایی که منجر به کاهش ارزش پول ملی در کشور شد، شرایط را نه تنها برای تولیدکنندگان کاشی و سرامیک که برای کل بازار و تولید سخت کرد. از آنجاکه ارزش پول ملی به یک‌سوم کاهش یافت، کارخانه‌ها را با کاهش نقدینگی روبه‌رو کرد.

وی افزود: از سوی دیگر تولیدکنندگان با انفجار نرخ مواد اولیه و با چالش تهیه مواد اولیه روبه‌رو شدند چراکه دولت به دلیل محدودیت‌هایی که در زمینه واردات اعمال کرد، سبب شد، کارخانه‌های کاشی و سرامیک با کمبود مواد اولیه روبه‌رو شوند.

روشنفکر در ادامه خاطر نشان کرد: از سوی دیگر مهم‌ترین مشکل امسال برای تولیدکنندگان، بخشنامه‌های گوناگونی بود که از سوی دولت یکی پس از دیگری صادر می‌شد و همدیگر را نقض می‌کردند که درنهایت سبب سردرگمی تولیدکننده شد.

وی ادامه داد: از ابتدای سال تولیدکنندگان قراردادهایی را با نرخ دلار به ثبات رسیده - حدود ۳۷۰۰ تا ۳۸۰۰ تومان - بسته بودند اما در ادامه سال، مجبور شدند تعهدات خود را با ارزی که هر روز در حال گران شدن بود، پاسخگو باشند و این موضوع آنها را متحمل ضررهای بسیاری کرد.

رئیس انجمن کاشی و سرامیک ایران در ادامه یادآور شد: یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که تولیدکنندگان با آن دست به گریبان هستند، چالش تهیه مواد اولیه است که همچنان این مشکل ادامه دارد و با وجود بخشنامه‌های سفت‌وسختی که بانک مرکزی برای واردات مواد اولیه و... اعلام می‌کند، شرایط را برای تولید بسیار سخت کرده است و این نگرانی وجود دارد که بسیاری از کارخانه‌ها تعطیل شوند و ریزش نیروی انسانی اتفاق بیفتد.

روشنفکر با توجه به چشم‌انداز سال آینده برای بازار کاشی و سرامیک عنوان کرد: با توجه به سیاست‌هایی که دولت درپیش گرفته است، دورنمای خوبی را نمی‌توان برای تولید در نظر گرفت. از آنجا که سیاست‌های دولت شفاف نیست، تدوین یک برنامه مناسب برای تولیدکنندگان همواره با چالش روبه‌رو است.

۳ دوره‌ای که پشت‌سر گذاشتیم.

همچنین درباره وضعیت بازار کاشی و سرامیک سینا گلکاری‌حق، فعال حوزه کاشی و سرامیک عنوان کرد: امسال ۳ دوره زمانی را در بازار صنعت کاشی و سرامیک سپری کردیم.

بازه زمانی نخست از ابتدای سال تا ماه چهارم بود که بازار با نوسان‌های بالایی همراه بود و قیمت‌ها سیر صعودی طی کردند، در این دوره افزایش قیمت‌ها به‌طور لحظه‌ای اتفاق می‌افتاد، بنابراین برای خرید و فروش مواد اولیه و کاشی و سرامیک نمی‌شد سیاست‌گذاری مناسبی درپیش گرفت همچنین قوانین گمرک و التهابات نرخ ارز کار بازار را سخت کرده بود.

گلکاری‌حق در ادامه خاطر نشان کرد: از ماه چهارم و پنجم سال به بعد، سیاست‌های ارزی ثابت‌تر شد، وضعیت بازار نیز ثبات بیشتری پیدا کرد تا اینکه در آبان به دلیل سقوط ریال و بی‌ارزش شدن پول ملی از یک‌سو و افزایش نیافتن هزینه‌های انرژی و حقوق و دستمزد از سوی دیگر، نرخ تمام‌شده کاشی و سرامیک کاهش یافت و سبب رقابتی شدن این کالا در بازارهای همسایه و منجر به صادرات در حجم بالا به کشورهای چینی، افغانستان، عراق و پاکستان شد.

هرچند صادرات به روسیه، قطر، عمان، ازبکستان و ترکمنستان نیز آغاز شد اما بخش عمده صادرات به ۳ کشور افغانستان، عراق و پاکستان اختصاص یافت و در این بازارها کاشی ایرانی جای کاشی‌های چینی و ترکیه‌ای را گرفت، البته این کشورها تا پیش از این کانال‌های مالی خود را با ایران داشتند و به شکل چمدانی و... با ریال، خرید و فروش انجام می‌شد. این روند صادرات تا ۱۳ آبان ادامه داشت.

وی درباره بازار داخل نیز عنوان کرد: در این بازه زمانی بازار داخل نیز بسیار خوب بود چراکه با افزایش قیمت‌ها مردم ترجیح می‌دادند پیش از گران شدن بیشتر، کالای خود را خریداری کنند تا خرید آنها مشمول افزایش نرخ بیشتری نشود. این فعال حوزه کاشی و سرامیک در ادامه عنوان کرد: از ۱۵ آبان تا هم‌اکنون که در انتهای سال قرار داریم به دلیل ثبات نرخ دلار، بازار کاشی و سرامیک دچار رکود نسبی شده است.

وی ادامه داد: البته اگر میزان فروش کاشی و سرامیک امسال را با سال گذشته به لحاظ مترائ در نظر بگیریم با کاهش تولید روبه‌رو خواهیم بود، هرچند امسال میزان فروش به لحاظ ریالی بیشتر از سال گذشته است و این موضوع از آنجا نشأت می‌گیرد که تورم و افزایش قیمت‌ها این افزایش فروش را رقم زده است.

گلکاری‌حق تصریح کرد: از سوی دیگر زمانی که نرخ دلار ثابت شد، واسطه‌هایی کالا را به عراق و افغانستان می‌بردند و سودهای خوبی از تفاوت دلار به ریال به دست می‌آوردند چراکه این کشورها در ازای صادرات، ریال به کارخانه‌ها پرداخت می‌کردند.

وی در ادامه افزود: با توجه به قانون پیمان‌سپاری ارزی و بازگشت صادرات به ریال در نیمه دوم سال نسبت به نیمه نخست، صادرات با کاهش روبه‌رو شد.

البته پس از آن قانونی وضع شد که صادرات زیر یک میلیون یورو را از بازگشت ارز معاف کردند که با این آیین‌نامه تا حدی دوباره صادرات رونق پیدا کرد.

این فعال حوزه کاشی و سرامیک گفت: در چند ماه گذشته شاهد ثبات نرخ دلار بوده‌ایم اما نرخ مواد اولیه همچنان روند صعودی دارد و به دلیل گران شدن حمل‌ونقل و کمبود مواد اولیه، همچنان نرخ این مواد در حال افزایش است.

گلکاری‌حق در پاسخ به این پرسش که چه موادی برای تولید کاشی و سرامیک وارد کشور می‌شود، عنوان کرد: برخی مواد مانند زیرکات زیرکونیوم یا رنگ‌های دیجیتال و... وارداتی هستند و به‌طور معمول فناوری آنها متعلق به چند کشور خاص است. به‌نظر می‌رسد صرفه اقتصادی نداشته باشد که کشورهای دیگر در این زمینه سرمایه‌گذاری کنند.

وی در پاسخ به این پرسش که در زمینه کاشی و سرامیک تا چه اندازه تقاضای واقعی در بازار شکل گرفته است، گفت: امسال در بازار داخلی شاهد افزایش تقاضای واقعی نبوده‌ایم. تقاضای واقعی زمانی شکل می‌گیرد که ساخت‌وساز رونق بگیرد و در زمینه کاشی و سرامیک یک تا ۲ سال طول می‌کشد که ساخت‌وساز به مرحله کاشی‌کاری برسد.

ایران می‌تواند جایگزین چین شود.

گلکاری‌حق افزود: در زمینه بازار خارج موضوع فرق دارد. به هر حال کشور عراق کالای خود را یا از چین یا از ایران می‌خرد که

ایران می‌تواند جای چین در بازار عراق را بگیرد و تقاضای خارجی را افزایش دهد. این فعال حوزه کاشی و سرامیک در پاسخ به این پرسش که قیمت‌های مواد اولیه و کاشی و سرامیک تا چه اندازه افزایش یافته است، گفت: قیمت‌های مواد اولیه حداقل ۲ تا ۴ برابر افزایش یافته است. البته اگر کارخانه‌ای مواد اولیه خود را از خارج وارد کند، پایه نرخ آن بر مبنای دلار محاسبه می‌شود. زمانی دلار ۳ هزار تومان بود و هم‌اکنون به ۱۳ هزار تومان رسیده است، از این رو اگر مواد اولیه به‌طور کامل خارجی باشد، قیمت‌ها بیش از ۴ برابر است اما محصول کاشی و سرامیک بین ۲ تا ۳ برابر افزایش نرخ یافته است. کلکاری حق ادامه داد: البته روند تولید کاشی و سرامیک امسال با مشکلات خاصی روبه‌رو بود چراکه کارخانه‌ها یک روز با کمبود مواد اولیه، یک روز با مشکل بسته‌بندی و روز دیگر با مشکل حمل‌ونقل روبه‌رو بودند که تمامی این موارد - به‌ویژه در نیمه نخست سال - سبب شد برخی کارخانه‌ها تعطیل شوند و این عوامل سبب کاهش میزان تولید در امسال شد. برای نمونه اگر یک کارخانه سال گذشته حدود ۶ میلیون مترمربع تولید داشته، امسال ۶ میلیون مترمربع تولید کرده است چراکه هر روز با یک کسری روبه‌رو بوده‌اند. وی در پاسخ به این پرسش که پیش‌بینی شما برای صنعت کاشی و سرامیک در سال آینده چیست، عنوان کرد: چشم‌انداز سال آینده بستگی به سیاست‌های ارزی و بانکی و عرضه مواد اولیه از سوی دولت دارد.

منبع: <https://www.me-metals.ir/News/NewsDetails.aspx?NID=30765>

اخبار علمی

ابداع ماده جدید قوی‌تر برای پر کردن دندان‌ها

محققان دانشگاه علوم و سلامت "اورگن (Oregon)" به ماده جدیدی برای پر کردن دندان‌ها دست یافته‌اند که قدرتمندتر از مواد قبلی است و همچنین طول عمر بیشتری دارد.



به گزارش ایسنا و به نقل از گیزمگ، وقتی یکی از دندان‌های شما پر می‌شود ممکن است تصور کنید که ماده‌ای که دندان شما با آن پر شده است تا همیشه عمر خواهد کرد. در حالی که مواد پر کردن دندان طول عمر محدودی دارند.

اکنون محققان دانشگاه اورگن یک ماده جدید دندانپزشکی و یک چسب جدید برای نگه داشتن آن داخل دندان ساخته‌اند که با استحکام بیشتر، عمر آن را طولانی‌تر از همیشه می‌کند.

ادعا می‌شود این ماده کامپوزیتی که توسط دانشمندان در دانشکده دندانپزشکی دانشگاه اورگن تولید شده است نسبت به مواد پر کننده رایج کنونی دو برابر مقاومت بیشتر در برابر شکستگی دارد. این ماده حاوی تیوراتان (thiourethane) است که ترکیبی است که معمولاً در پوشش‌های محافظ برای عرشه کشتی‌ها و خودروها استفاده می‌شود.

از سوی دیگر چسب جدید تولید شده نیز حاوی پلیمرهایی به نام (meth)acrylamides می‌باشد که پس از شش ماه آزمایش در یک محیط شبیه به محیط دهان مشخص شد که در مقایسه با استاندارد چسب‌های دندان‌های نسبت به آسیب‌های ناشی از آب، باکتری‌ها و آنزیم‌های دهان ۳۰ درصد مقاوم‌تر است.

پروفسور "کارم فیر" سرپرست این مطالعه گفت: امروزه طول عمر ترمیم‌های دندان‌های معمولاً هفت تا ۱۰ سال است. این مواد تحت فشار جویدن قرار می‌گیرند یا فضاهای خالی بین آنها و دندان ایجاد می‌شود که اجازه می‌دهد باکتری‌ها در آن نفوذ کنند و یک حفره جدید ایجاد شود.

وی افزود: مواد قوی‌تر دندانپزشکی به این معنی است که اغلب بیماران مجبور نیستند دندان‌های پر شده را ترمیم یا جایگزین کنند. این مواد نه تنها موجب صرفه‌جویی در هزینه و وقت می‌شود، بلکه مانع از مشکلات جدی و نیاز به درمان‌های گسترده‌تر می‌شود.

برای پر کردن دندان از مواد مختلفی نظیر آمالگام، کامپوزیت، سرامیک یا چینی موسوم به "پرسلن" و طلا استفاده می‌شود که هر کدام مزایا و معایب و طول عمر خاص خود را دارند.

آمالگام احتمالاً قدیمی‌ترین ماده‌ای است که برای پر کردن دندان به کار برده می‌شود و به دلیل رنگ نقره‌ای به سادگی قابل تشخیص است. آمالگام ترکیبی از چند فلز، از قبیل نقره، جیوه و قلع است. از آنجایی که جیوه موجود در آمالگام سمی دانسته می‌شود، این ماده اندک اندک در درمان به کار برده نمی‌شود.

به هر حال آمالگام هنوز یکی از ارزان‌ترین و مقاوم‌ترین مواد پر کردن دندان است که به دلیل تیره شدن رنگ فلز به مرور زمان طرفدار زیادی ندارد. به علاوه برای استفاده از آمالگام باید بخش سالم دندان نیز تراشیده شود تا بتوان ماده را به خوبی به دندان چسباند. همچنین چون آمالگام از فلز ساخته می‌شود، احتمال بروز حساسیت به سرما و گرما را نیز به دنبال دارد.

کامپوزیت ظاهری شبیه به دندان طبیعی ایجاد می‌کند و در صورت استفاده از آن لازم نیست بخش سالم دندان برای چسباندن آن تراشیده شود. کامپوزیت برخلاف فلز دچار خوردگی یا تغییر رنگ نمی‌شود. چسباندن این ماده به دندان آن را مقاوم‌تر می‌کند و انتخاب مناسبی برای ترمیم پوسیدگی‌های کوچک به شمار می‌آید.

اما نقطه ضعف کامپوزیت این است که برای ترمیم پوسیدگی‌های بزرگ مناسب نیست و هزینه پر کردن دندان با کامپوزیت بیشتر از آمالگام است. از این گذشته پر کردن دندان با کامپوزیت زمان بیشتری می‌برد و این ماده در برابر لک شدن با چای و قهوه آسیب‌پذیرتر است.

سرامیک یا چینی (پرسلن) ماده‌ای است که برخلاف آمالگام یا کامپوزیت به دندان چسبانده نمی‌شود. این ماده در لابراتوار دندانپزشکی به گونه‌ای تهیه می‌شود که به خوبی پوسیدگی را پوشش دهد. از آنجایی که این ماده ظاهری شبیه به دندان طبیعی را ایجاد می‌کند، پرکردگی قابل تشخیص نخواهد بود.

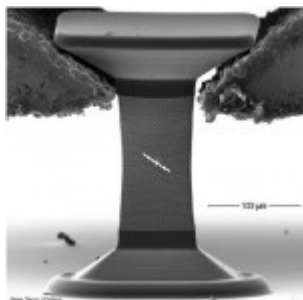
اما نقطه ضعف اصلی سرامیک این است که پر کردن با آن گران‌تر از پر کردن دندان با آمالگام یا کامپوزیت است و به دلیل ماهیت حجیم آن در مقایسه با پر کردن با آمالگام بخش بیشتری از دندان سالم باید تراشیده شود.

اما همان طور که می‌توانید حدس بزنید، طلا گران‌ترین ماده برای پر کردن دندان است و تنها زمانی به کار برده می‌شود که استحکام بسیار بالا مد نظر باشد. ترمیم طلایی مشابه ترمیم سرامیکی در لابراتوار آماده می‌شود و به افرادی پیشنهاد می‌شود که می‌خواهند پرکردگی مقاوم در برابر تغییر رنگ و خوردگی داشته باشند. طلا اجازه نمی‌دهد آب دهان، باکتری و ذرات غذا در سوراخ ناشی از پوسیدگی نفوذ کنند. معایب پر کردن با طلا آشکار است، این انتخاب هزینه سنگینی دارد و رنگ زرین آن کاملاً مشخص است.

منبع: <https://www.isna.ir/news/97121407442/>

ارائه راهبردی جدید برای تولید ساختارهای معماری شده

محققان مؤسسه فناوری کالیفرنیا با استفاده از واحدهای سازنده نانو و میکرومقیاس، مواد جدیدی ساختند که دارای ساختارهای



دوره‌ای بوده که به آنها مواد معماری شده گفته می‌شود. این مواد از خواص غیرمعمولی برخوردار هستند، برای مثال می‌توان ساختارهایی از جنس سرامیک اما سبک تولید کرد که شبیه به فوم هستند اما استحکام بالایی دارند.

این گروه تحقیقاتی نشان دادند که آسیب‌های مواد معماری شده در نقاطی که آنها در حین فشرده‌گی یا کشیده‌شدن متحمل می‌شوند را می‌توان با استفاده از مکانیک مستمر کلاسیک توضیح داد. در این روش، رفتار یک ماده به عنوان جرم مستمر به جای ذره مستقل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این یافته بر طبیعت دوگانه مواد معماری شده تأکید داشته به طوری که می‌توان این نوع مواد را هم به‌عنوان ذرات منفرد و هم یک ساختار جامع در نظر گرفت.

مواد معماری شده برای مهندسان بسیار جالب است چرا که خواصی کاملاً غیرمعمول دارند؛ هر چند که رفتار آنها را به سختی می‌توان پیش‌بینی کرد. تقریباً غیرممکن است که بتوان دریافت این مواد چگونه به استرس پاسخ می‌دهند مگر این که آنها را در آزمایشگاه سنتز کرد و مورد بررسی قرار داد.

ساخت این مواد معمولاً به صورت سعی و خطا انجام می‌شود. محققان به یک ساختار شبکه‌ای جدید فکر می‌کنند، سپس آن را می‌کشند یا می‌شکنند و در نهایت میزان استحکام این مواد مشخص می‌شود. این فرآیند منجر به کشف‌های جدید و جالبی شده‌است، پیش‌بینی این که چگونه این شبکه زیر فشار عکس‌العمل نشان می‌دهد به محققان کمک می‌کند تا بتوانند ماده‌ای با خواص از پیش تعیین شده را به سادگی بسازند.

محققان این پروژه، اکسید آلومینیم توخالی به ضخامت ۵۰ نانومتر را ساختند و سپس این شبکه را زیر فشار قرار داده و زمان مقاومت در برابر ترک خوردن را ثبت کردند. نتایج نشان داد که نسبت دانسیته به استحکام در این ساختار چهار برابر بیشتر از مواد دیگر است.

منبع: <http://news.nano.ir/65638/>

ارائه‌ی نانوپوششی برای افزایش طول عمر ایمپلنت‌های پزشکی

شرکت پیکوسان فناوری جدیدی ارائه کرده که با استفاده از آن می‌توان نانولامینیت روی ایمپلنت‌های پزشکی ایجاد کرد تا طول عمر این ایمپلنت‌ها در بدن افزایش یابد.

شرکت پیکوسان (Picosun) که در حوزه‌ی ساخت و فروش تجهیزات لایه‌نشانی اتمی (ALD) پیشرو است، اعلام کرد که موفق به ارائه‌ی روشی برای تولید کپسوله‌کردن زیست‌سازگار قطعات الکترونیکی در ایمپلنت‌ها شده‌است.

میکروایمپلنت‌های بی‌سیم که انرژی خود را تأمین کرده و از راه دور فرآیند حسگری را در بدن انجام می‌دهند، حوزه‌های نوظهوری هستند. برخی از کاربردهای این نوع ایمپلنت‌ها در بخش تحریک نرونی، تشخیص بیماری، شناسایی قند خون، تعیین فشار خون، اندازه‌گیری فشار درون جمجمه و ساخت چشم مصنوعی است.

این ادوات بسیار کوچک دوام بسیار زیادی در بدن دارند و از چند ماه تا چند سال در بدن فعال هستند. با توجه به محیط خورنده‌ی بدن انسان برای قطعات الکترونیکی، لازم است این قطعات حساس درون پوسته‌ای کپسوله شوند تا عمر بالاتری داشته باشند. همچنین این قطعات الکترونیکی نباید در بدن التهاب ایجاد کنند تا وجود ایمپلنت از سوی سیستم ایمنی بدن تحمل شود.

در روش‌های رایج از فلز تیتانیوم، سرامیک‌ها و مواد پلیمری نظیر پلی‌ایمیدها برای پوشش‌دهی ایمپلنت‌ها استفاده می‌شود. با این حال با کاهش ابعاد ایمپلنت‌ها، نیاز به پوشش‌های جدیدی بوده تا بتوان طول عمر ایمپلنت را افزایش داد.

لایه‌نشانی اتمی روشی ایده‌آل برای تولید این پوشش‌هاست، به طوری که از آن می‌توان برای ایجاد لایه‌ی میکرونی روی سطوح ایمپلنت‌ها استفاده کرد.

شرکت پیکوسان روشی ارائه کرده‌است که در آن از نانولامینیت برای پوشش‌دهی استفاده می‌شود. این کار منجر به افزایش طول عمر ایمپلنت‌ها به بیش از ۱۰ سال می‌شود. فرآیند نانولامینیت این شرکت قابلیت تولید انبوه داشته و می‌توان با هزینه‌ی پایین هزاران ایمپلنت را پوشش‌دهی کرد.

مشتریان حوزه‌ی پزشکی برای این فناوری، رو به افزایش بوده و رهیافت PicoMEDICAL™ می‌تواند پاسخگوی نیاز مشتریان این حوزه باشد. در حال حاضر شرکت‌های متعددی از این فناوری در فرآیندهای صنعتی خود استفاده می‌کنند. به همین دلیل پیکوسان دفترهای فروش مختلفی در کشورهای آسیایی، اروپایی و آمریکا دارد.

منبع: www.nano.ir

پنج تقاضای صنعتی نانویی برای دریافت راهکارهای فناورانه

پنج چالش صنعتی در مجمع اقتصاد فناوری‌نانو برای پژوهشگران و متخصصان حوزه فناوری‌نانو ارائه شد تا راهکارهای فناورانه برای حل این چالش‌ها در قالب رقابتی چالشی ارائه شود.



مجموعه چالش‌های فناوری و نوآوری ایران (آی چلنج) همزمان با ششمین مجمع اقتصاد فناوری‌نانو، پنج چالش در چهار شرکت را تحت عنوان ریورس پیچ (Reverse pitch) برگزار کرد. که در این رویداد فرصت‌های تحقیقاتی در قالب مسایل صنعتی به فناوران ارائه شد.

در این رویداد رنگانی مدیر واحد مهندسی شرکت ایران دلکو دو چالش ساخت جاذب هیدروکربن‌های نسوخته برای کاتالیست‌های خودرو و پوشش‌دهی رینگ سیل مبدل‌های کاتالیستی جهت افزایش دوام و جلوگیری از ایجاد صدا را مطرح کرد.

چالش بعدی ایجاد خواص خود تمیز شونده‌ی و آنتی باکتریال در کاشی سرامیک بود که توسط مدیر تحقیق و توسعه شرکت ایفا سرام ارایه شد.

دو مجموعه بعدی که مسایل فناورانه خود را برای یافتن راهکار مناسب بیان کردند پژوهشگاه نیرو با چالش بهبود عملکرد سیستم‌های خنک کننده نیرو گاهی به کمک نانو سیالات و شرکت نوین تیسفون از هلدینگ مرام با چالش تولید نانو پوشش‌های خود تمیز شونده برای استفاده در پنل‌های خورشیدی بود.

گفتنی است این چالش‌ها همراه با راهنمای شرکت در چالش، بیان مسئله و محدودیت‌های کار، دو هفته دیگر در سایت آی چلنج قرار خواهد گرفت و متقاضیان برای ارائه راهکار می‌توانند فرم ثبت نام را پر کرده و طرح اولیه خود را ارائه دهند که در نهایت در دو مرحله داوری و غربالگری، فناوران می‌توانند نمونه اولیه خود را با کمک شرکت و حمایت ستاد ویژه توسعه فناوری نانو تولید کنند. در داوری نهایی فناور برتر انتخاب شده و با سرمایه‌گذاری شرکت تجاری‌سازی خواهد شد.

منبع: www.nano.ir

تولید نانوذرات برای استفاده در تجهیزات چاپ سه‌بعدی

شرکت ایکس‌جت که با استفاده از نانوذرات مواد مربوط به چاپ سه‌بعدی تولید می‌کند، محصول جدیدی ارائه کرده‌است. همچنین همکاری مشترکی نیز با یکی از شرکت‌های ایتالیایی برای استفاده از این فناوری آغاز کرده‌است. ایکس‌جت (XJet) یکی از شرکت‌های تولیدکننده‌ی مواد و تجهیزات چاپ سه‌بعدی است. این شرکت اعلام کرد که مواد سرامیکی و ترکیبات پشتیبان قابل انحلال جدیدی به بازار عرضه کرده‌است. علاوه‌براین، ایکس‌جت وارد همکاری مشترکی با شرکت بیم‌آی‌تی شده‌است؛ شرکتی که در ایتالیا مواد افزودنی تولید می‌کند.

هانان گوتایت مدیرعامل شرکت ایکس‌جت می‌گوید: "ما بسیار خوشحالیم که همکاری مشترکی با شرکت بیم‌آی‌تی آغاز کرده‌ایم. این همکاری منجر به افزایش دامنه‌ی کاربرد محصولات ما می‌شود."

ایکس‌جت فناوری موسوم به NanoParticle Jetting (NPJ) دارد که در آن از نانوذرات صلب استفاده شده‌است. این نانوذرات درون سیالی قرار داده شده تا اطراف نانوذرات پوسته‌ای ایجاد شود. زمانی که این لایه تشکیل شد، سیال در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تبخیر شده و نانوذرات باقی می‌مانند. با استفاده از این راهبرد، جت‌ایکس مانع از ذوب شدن نانوذرات می‌شود. اخیراً این شرکت ماده‌ی سرامیکی رسانا موسوم به آلومینا تولید کرده‌است که مقاومت گرمایی و الکتریکی بالایی داشته و از نظر شیمیایی نیز پایدار است. این ماده به‌عنوان عایق الکتریکی و ماده‌ی پشتیبان عنصر گرمایی در صنعت به کار می‌رود. آلومینا در مقایسه با زیرکونیا و دیگر مواد سرامیکی که ایکس‌جت ارائه می‌دهد، استحکام کمتری دارد. به همین دلیل به اندازه‌ی زیرکونیوم دامنه‌ی استفاده از آن وسیع نیست.

براساس اظهارات مسئولان این شرکت، این آلومینای جدید خواص منحصر به فردی داشته و از مزایای مختلفی برخوردار است. علاوه‌بر آلومینا، ایکس‌جت یک ماده‌ی پشتیبان قابل انحلال تولید کرده که به سادگی با غوطه‌ور کردن مدل سه‌بعدی درون یک حمام شستشوی ثانویه، قابل پاک کردن است. این شستشوی ثانویه هیچ آسیبی به ساختار محصول نمی‌زند و کیفیت مدل سه‌بعدی را دستخوش تغییر نمی‌کند.

بیم‌آی‌تی یکی از شرکت‌های بزرگ چاپ سه‌بعدی در ایتالیا است که یکی از تجهیزات شرکت ایکس‌جت را خریداری کرده‌است. بیم‌آی‌تی با استفاده از این دستگاه به مشتریان خود خدمات قابل توجهی در بخش چاپ سه‌بعدی ارائه می‌دهد.

منبع: www.nano.ir

عرضه‌ی تجاری نسل سوم نانوپوشش‌های شفاف آنتی‌باکتریال

شرکت نانوکر، نسل سوم نانوپوشش‌های آنتی‌باکتریال خود را عرضه کرد. این نانوپوشش‌های شفاف قابلیت استفاده روی سطوح مختلف را دارند.

نانوکر دویچلند (Nano-Care Deutschland) یکی از شرکت‌های انشعاب‌یافته از مؤسسه‌ی مواد جدید لاینیز (INM) در آلمان است. این شرکت نسل سوم نانوپوشش‌های خود را تولید کرده‌است که می‌توان آن را روی سطوح مختلف قرار داد تا برای یک دوره‌ی زمانی هفت ماه تا چند سال، عفونت‌زدایی از سطح را انجام دهد.

با قرار دادن این نانوپوشش روی سطح می‌توان جرم‌های مختلف بیمارستانی را به شکل مؤثری از بین برد و در نهایت مانع از عفونت‌های قارچی، باکتریایی و مخمری در محیط‌های بیمارستانی شد. این فناوری می‌تواند برای حل مشکل پاتوژن‌های بیماری‌زا مورد استفاده قرار گیرد.

این نانوپوشش را می‌توان روی سطوح مختلف قرار داد تا خواص ضد میکروبی در آن سطح ایجاد شود. با اعمال این پوشش روی سطح، ناهمواری‌های نوک تیزی روی سطح به وجود می‌آید که به راحتی دیواره‌ی سلولی میکرواورگانیزم‌ها را از بین برده و موجب نابودی آن‌ها می‌شود؛ بدون این که با چشم غیرمسلح بتوان آن را دید.

نکته‌ی قابل توجه در این محصول آن است که نیاز به آموزش ندارد و مصرف کننده به سادگی می‌تواند از آن بهره‌مند شود. اولیور سونتاک، مدیرعامل شرکت نانوکر، می‌گوید: «در کنار کاربردهای پزشکی این فناوری، ما به دنبال استفاده از آن در زندگی روزمره هستیم. انتظار داریم که این نانوپوشش بتواند در تلفن همراه، صفحه‌های نمایشگر لمسی، صفحه کلیدها، ماوس کامپیوتر، فرمان خودرو، دستگیره‌ی در، درپوش توالت، کفش و محصولات ورزشی استفاده شود.» علاوه بر این، این نانوپوشش قابلیت استفاده در تجهیزات و دستگاه‌هایی نظیر خودپردازها، تجهیزات استخر و سونا و استودیوها را دارد.

شرکت نانوکر در سال ۲۰۰۰ از مؤسسه‌ی INM انشعاب یافته است تا تجاری‌سازی فناوری نانوپوشش‌های سرامیکی شفاف را سرعت بخشد تا از این نانوپوشش‌ها به‌عنوان جایگزین تفلون یا ترکیبات فلورکربن استفاده شود. در ابتدای کار تمرکز روی بازار داخلی بود، اما در ادامه محصولات خود به ۷۰ کشور مختلف صادر کرده‌است. نانوکر از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ به یکی از تأمین‌کنندگان فناوری برای صنایع خودروسازی، نساجی و مهندسی مکانیک تبدیل شده‌است.

منبع: www.nano.ir

ماده جدید دو بعدی (2D) با استفاده از نور به سرعت و با اطمینان آب را تصفیه می‌کند.

بیش از دو میلیارد نفر در سراسر جهان از آب آشامیدنی بی‌خطر برخوردار نیستند. امروزه مواد جدید سرامیکی یک روش کارآمد و سازگار با محیط زیست را ارائه می‌دهد تا آب را فقط با استفاده از نور خورشید تصفیه کند.

با استفاده از نور، نمونه اولیه "خام" می‌تواند آب آشامیدنی روزانه به اندازه کافی را برای چهار نفر در یک ساعت تصفیه کند. محققان در ۷ فوریه گزارش دادند که حین آزمایش‌ها، حدود ۱۰۰ درصد از باکتری‌ها در ۱۰ لیتر آب کشته شدند.

این ماده جدید، یک ورق دو بعدی گرافیتی کربن نیتريد، و نوعی ماده فوتوکاتالیست است: تحت تاثیر نور مواد اکسید کننده‌ای را ایجاد می‌کنند که میکروب‌ها را از بین می‌برد. این طراحی از آسیب‌های دیگر تکنولوژی مشابه جلوگیری می‌کند. موثرترین فوتوکاتالیست‌ها امروزه حاوی فلزات می‌باشند که خود ممکن است به عنوان آلاینده‌های سمی برسند. اما گروه یگر فوتوکاتالیست‌های غیر فلزی هستند، مانند ورق‌های دو بعدی که اندکی نسبت به فلزات کمتر الکترون‌ها را می‌توانند نگه دارند.

دانشمند علم مواد گوژی وانگ از دانشگاه تکنولوژی سیدنی و همکارانش ورق‌های بسیار نازک نیتريد کربن گرافیتی را ایجاد کرده و گروه‌های شیمیایی مشابه اسیدها و کتون‌ها را به آن اضافه کرده اند که الکترون‌ها را به سمت لبه‌های ورق جذب می‌کنند. در آنجا الکترون‌ها بر روی اتم‌های اکسیژن در آب می‌پزند تا مواد شیمیایی اکسیژنی حلال میکروب مانند پراکسید هیدروژن تولید کنند.

این طراحی منجر به تخریب ۹۹,۹۹۹۹ درصد از باکتری‌ها، از جمله E. coli شده است. کارایی این محصول مشابه بهترین فلزات فوتوکاتالیست ارزیابی شده است. این ماده سرامیکی جدید میکروب‌ها را سریع‌تر از بهترین فوتوکاتالیست‌های فلزی آزاد که در آن عملیات کشتن میکروب‌ها بیش‌تر از یک ساعت طول می‌کشد. در این ماده تنها در عرض ۳۰ دقیقه انجام می‌شود.

این تیم تحقیقاتی سپس نانو ورقه‌ها را سطح داخل کیسه‌های پلاستیکی متصل کرده‌اند، و در مدت یک ساعت ۱۰ لیتر آب را بخوبی تصفیه کردند.

وانگ می‌گوید: "انگیزه ما این بود که یک روش کارآمد برای استفاده از نور خورشید برای تولید آب برای مناطق توسعه نیافته یا دور افتاده بدون عرضه مرکزی آب تمیز داشته باشیم"، او اشاره کرد که بایستی این ماده حاوی ترکیب کربن و نیتروژن را ارزان‌تر تولید کنند. محققان قصد دارند با همکاری مهندسين طراحی را برای استفاده تجاری گسترش دهند.

منبع: t.me/lrCeC



Mortezaadibi.98@gmail.com

مهندس مرتضی ادیبی،
نویسنده‌ی اول مقاله، دانشگاه
علم و صنعت ایران

بررسی اثر زمان فرآیند هیدروترمال بر مشخصات فازی، ریزساختار و خواص مغناطیسی نانوذرات فریت کبالت سنتز شده به روش سل-ژل هیدروترمال

مرتضی ادیبی^۱، سید محمد میر کاظمی^۲، سمیه اعلم الهدی^۳

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده: نانوذرات فریت کبالت با استفاده از روش سل-ژل هیدروترمال سنتز شدند. در این پژوهش از اسید سیتریک به عنوان عامل کیلیت ساز با نسبت مولی اسید سیتریک به یون فلزی ۱/۵، استفاده شده است و اثر زمان‌های مختلف فرآیند هیدروترمال (۹، ۱۲ و ۱۸ ساعت) بر خواص نانوذرات سنتز شده مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی مشخصات فازی با استفاده از روش پراش اشعه ایکس (XRD) نشان می‌دهد نانوذرات فریت کبالت به صورت فریت کبالت تک فاز هستند. تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی گسیل میدان (FESEM) نشان می‌دهند نانوذرات سنتز شده به صورت کلوخه و با شکل نامنظم و توزیع اندازه ذرات باریک هستند. بررسی خواص مغناطیسی نانوذرات با استفاده از روش مغناطومتر نمونه لرزشی (VSM) نشان می‌دهد با افزایش زمان فرآیند هیدروترمال از ۹ به ۱۲ و ۱۸ ساعت به ترتیب، مغناطش اشباع نانوذرات ابتدا از ۴۸/۲ emu/g به ۴۵ emu/g کاهش و سپس به ۴۷ emu/g افزایش می‌یابد همچنین وادارندگی ذرات به ترتیب، از مقدار ۲۶۱ Oe به ۱۸۲ Oe و سپس ۸۰ Oe کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: فریت کبالت، سنتز نانوذرات، سل-ژل هیدروترمال.

۱- مقدمه

فریت‌های اسپینل ترکیبات اکسیدی مشتق شده از مگنتیت (Fe_3O_4) هستند که در این مواد کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند منیزیم، منگنز، نیکل، مس، کبالت، روی و کادمیم جایگزین یون دو ظرفیتی آهن می‌شوند. فریت کبالت یکی از اعضای این خانواده با ساختار اسپینل معکوس جزئی بوده و با مقدار وادارندگی ۵۴۰۰ Oe جزء دسته مواد نیمه سخت مغناطیس است. فرمول ساختاری این ماده به صورت $Co_8Fe_{1-\delta}[Co_{1-\delta}Fe_{1+\delta}]O_4$ نوشته می‌شود که δ دارای مقادیر $0.07 < \delta < 0.24$ است و از لحاظ مغناطیسی فریت کبالت دارای مغناطش متوسط است. نانوذرات فریت کبالت در کاربردهایی مانند سیال‌های مغناطیسی، کاتالیست‌ها، حسگرهای زیستی و تشخیص بیماری مورد استفاده قرار می‌گیرند. سل-ژل، میکرومولسیون، هم رسوبی، هیدروترمال و سل-ژل هیدروترمال از جمله روش‌های متداول برای سنتز نانوذرات فریت کبالت است [۱-۶].

سل-ژل روشی برای تهیه پلیمرهای غیرآلی یا مواد سرامیکی با استفاده از محلول‌ها است. در این روش ابتدا پیش ماده‌های مایع به سل و سپس به ساختاری شبکه‌ای به نام ژل، تبدیل می‌شوند. به طور مرسوم سل در اثر هیدرولیز و تراکم آکوکسیدهای فلزی ایجاد می‌شود. اما سل-ژل بر پایه آکوکسیدها دارای یک محدودیت بزرگ است، بسیاری از فلزات ترکیب آکوکسیدهای نداشته یا بسیار ناپایدارند. به این علت روش‌های جایگزین زیادی برپایه استفاده از محلول‌های آبی نمک‌های فلزی، گسترش داده شده‌اند. شیمی این روش‌ها بسیار متفاوت بوده اما هدف آن‌ها که تشکیل کنترل شده اکسیدهای فلزی یا ساختارهای سرامیکی از فاز محلول است، مشترک است.

یکی از روش‌های اصلی، استفاده از مولکول‌های کوچک که اغلب با عنوان عامل کی‌لیت ساز شناخته می‌شود، با هدف کنترل هیدرولیز آبی یون‌های فلزی، است. این مولکول‌های کوچک با تغییر در ثابت تعادل هیدرولیز یون‌های فلزی حل شده واکنش هیدرولیز را کنترل می‌کنند. در اثر عملیات حرارتی رسوب ایجاد شده از محلول نمک فلزی و عدم حضور عامل کی‌لیت ساز، اکسید فلزی (یا دیگر سرامیک‌ها) تشکیل می‌شوند اما نتیجه این کار بلورهای بزرگ یا آگریگیت بوده و مشخصاً شبیه به ذرات منظم و یا متخلخل به تشکیل شده از روش سل-ژل نیستند. برای جلوگیری از این موضوع، از مولکول‌های کوچک برای تشکیل کمپلکس‌های فلزی آبی پایدار (ژل) استفاده می‌شود [۷].

یکی از رایج‌ترین مولکول‌های کوچک آلی که در روش سل-ژل مورد استفاده قرار می‌گیرد، اسید سیتریک است. اسید سیتریک با نام علمی ۲-هیدروکسی-۳،۲،۱-تری کربوکسیلیک اسید، دارای ۳ بخش کربوکسیلیک اسید بوده و یک اسید ۳ پروتونی ضعیف است. محصول به دست آمده از فرآیند سل-ژل دارای ساختاری آمورف بوده و با استفاده از فرآیند کلسیناسیون از حالت آمورف به بلوری منتقل می‌شود. در طی فرآیند کلسیناسیون با افزایش دما و در اثر مکانیزم جوانه‌زنی و رشد فاز بلوری ایجاد می‌شود. فرآیند کلسیناسیون دارای معایبی مانند کلوخه‌ای شدن شدید، رشد افراطی دانه، کاهش سطح ویژه پودر و تغییر فاز در ماده است. در روش سل-ژل هیدروترمال فرآیند هیدروترمال به عنوان جایگزین فرآیند کلسیناسیون برای بلوری کردن مواد حاصل از فرآیند سل-ژل مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنتز سل-ژل هیدروترمال دارای مزیت‌های هر دو روش سل-ژل و هیدروترمال است [۱۰-۷].

Guoxi Xi و همکارانش [۱۱] در پژوهشی به بررسی اثر زمان فرآیند هیدروترمال سنتز نانوذرات فریت کبالت با استفاده از باتری‌های لیتیومی مصرف شده به روش سل-ژل هیدروترمال پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با افزایش زمان فرآیند هیدروترمال از ۲ به ۶ و ۱۲ ساعت، به ترتیب مقدار مغناطش اشباع ذرات ابتدا از $22/6 \text{ emu/g}$ به $76/5 \text{ emu/g}$ و $81/7 \text{ emu/g}$ افزایش یافته و سپس با افزایش زمان فرآیند به 24 ساعت مغناطش اشباع ذرات به $77/3 \text{ emu/g}$ کاهش می‌یابد. افزایش زمان فرآیند از ۲ به ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت اما به ترتیب باعث افزایش متوسط اندازه بلورک از $38/21$ ، $39/26$ ، $40/35$ و $42/43$ نانومتر می‌شود. همچنین در پژوهشی که توسط Mohamed Mokhtar Mohamed و همکارانش [۱۲] انجام شده نانوذرات فریت کبالت با استفاده از روش سل-ژل هیدروترمال سنتز شدند. نانوذرات سنتز شده در این پژوهش دارای متوسط اندازه بلورک، مغناطش اشباع و وادارندگی $5/88 \text{ nm}$ ، 37 emu/g و $49/9 \text{ Oe}$ بودند. بررسی‌ها نشان می‌دهند تا به حال پژوهشی به بررسی اثر زمان فرآیند هیدروترمال در سنتز فریت کبالت به روش سل-ژل هیدروترمال در نسبت اسید سیتریک به یون فلزی $1/5$ نپرداخته است و در این پژوهش اثر مدت زمان فرآیند هیدروترمال بر سنتز نانوذرات فریت کبالت با استفاده از روش سل-ژل هیدروترمال در نسبت اسید سیتریک به یون فلزی $1/5$ مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش نیترات آهن ۹ آبه ($(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} - \text{Merck } 103883)$)، نیترات کبالت ۶ آبه ($(\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{Merck } 102536)$)، اسید سیتریک یک آبه ($(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O} - \text{Merck } 100242)$) و هیدروکسید سدیم ($\text{NaOH} - \text{Merck } 106482$) هستند. برای سنتز نانو ذرات فریت کبالت ابتدا $0/873$ گرم نیترات کبالت ۶ آبه ($0/003$ مول) و $2/423$ گرم نیترات آهن ۹ آبه ($0/006$ مول) به صورت جداگانه در ۷ میلی لیتر آب دیونیزه حل می‌شوند. سپس $0/946$ گرم و $1/891$ گرم اسید سیتریک به صورت جداگانه در آب دیونیزه حل شده و به ترتیب به محلول‌های نیترات کبالت و نیترات آهن اضافه شده و به مدت ۲ ساعت هم زده می‌شوند. سپس دو محلول باهم مخلوط شده و برای ۳ ساعت هم زده می‌شوند. در ادامه با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم pH به ۱۲ رسانده شده و در مرحله بعد پیش ماده به دست آمده در ظرف از جنس استیل با جداره تفلون در دمای 180°C به مدت ۹، ۱۲ و ۱۸ ساعت تحت عملیات هیدروترمال قرار می‌گیرد. پودر سنتز شده سپس با استفاده از آب یون زدایی شده شست و شو داده می‌شود تا به pH به مقدار خنثی برسد و در انتها پودر سنتز شده در دمای 110°C به مدت ۳ ساعت خشک می‌شود.

۳- مشخصه‌یابی

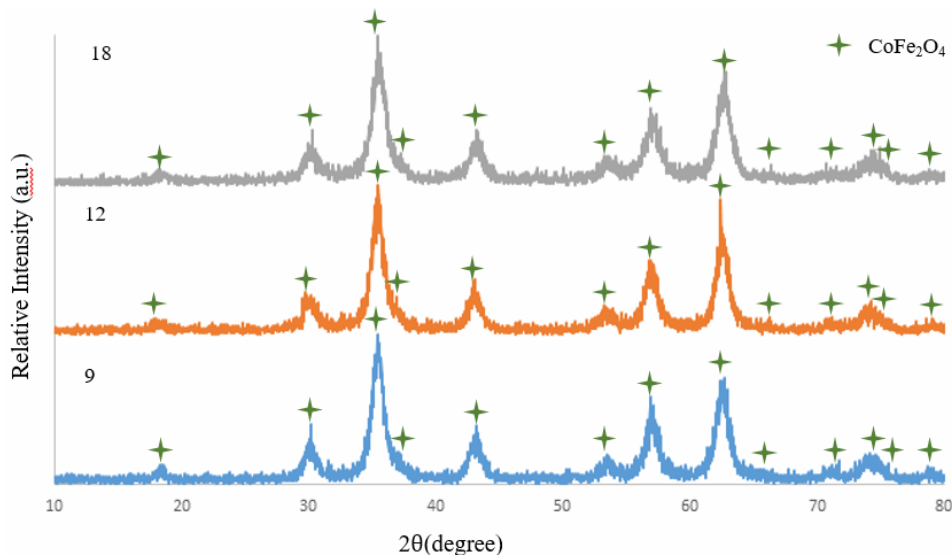
بررسی و مطالعات فازی پودرهای سنتز شده با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) ساخت شرکت Rigaku مدل Ultima IV مجهز به تولید کننده پرتو $\text{CuK}\alpha$ با طول موج $1/54$ آنگستروم، ولتاژ 40 کیلوولت و جریان 40 میلی‌آمپر با فاصله زاویه $0/02$ درجه و زمان 1 ثانیه در هر $0/06$ درجه انجام شده است. متوسط اندازه بلورک با استفاده از رابطه شرر محاسبه می‌شود.

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

که در این رابطه D متوسط اندازه بلورک و θ ، β ، K و λ به ترتیب زاویه پراش، عرض پیک در نصف ارتفاع، ثابت و طول موج پرتو ایکس هستند. مطالعات ریزساختاری و بررسی مورفولوژی ذرات سنتز شده نیز با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان ساخت شرکت Tescan و مدل Mirall با ولتاژ اعمالی 15 کیلوولت استفاده شده است. خواص مغناطیسی نانو ذرات سنتز شده با استفاده از دستگاه مغناطومتر نمونه لرزشی (VSM) ساخت شرکت مغناطیس دقیق کویر مدل MDK6 در دمای اتاق و تحت میدان 1 تسلا انجام شد.

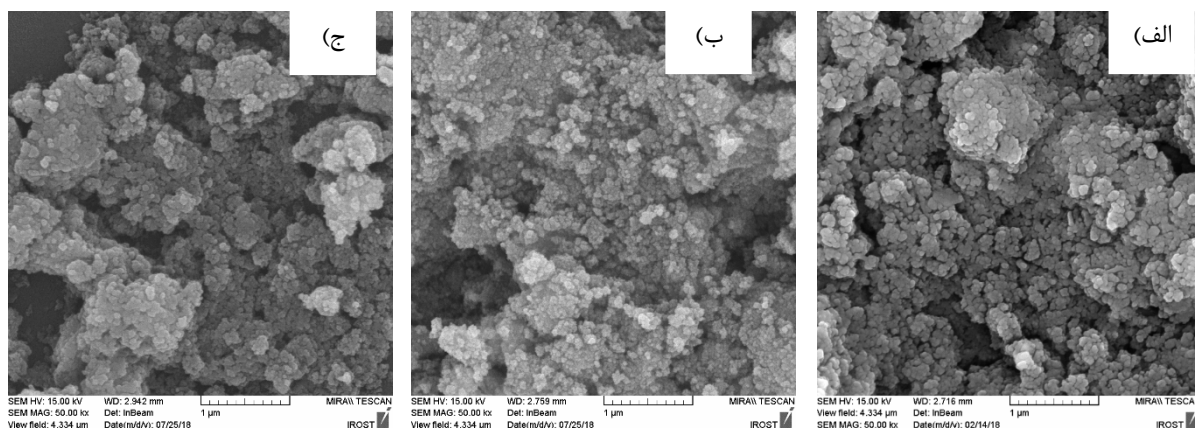
۴- نتایج و بحث

در شکل ۱ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های سنتز شده در مدت زمان 9 ، 12 و 18 ساعت نشان داده شده است. نتیجه به دست آمده نشان می‌دهد همه نمونه‌ها به صورت تک فاز از فریت کبالت با ساختار مکعبی (Cobalt Iron Oxide 00-022-1086) هستند. با استفاده از رابطه شرر متوسط اندازه بلورک‌های نانوذرات فریت کبالت محاسبه شدند. متوسط اندازه بلورک‌ها برای نمونه‌های سنتز شده در زمان‌های 9 ، 12 و 18 ساعت به ترتیب $7/3$ ، $7/1$ و $7/3$ nm هستند. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند متوسط اندازه بلورک‌ها تقریباً ثابت باقی مانده‌اند.



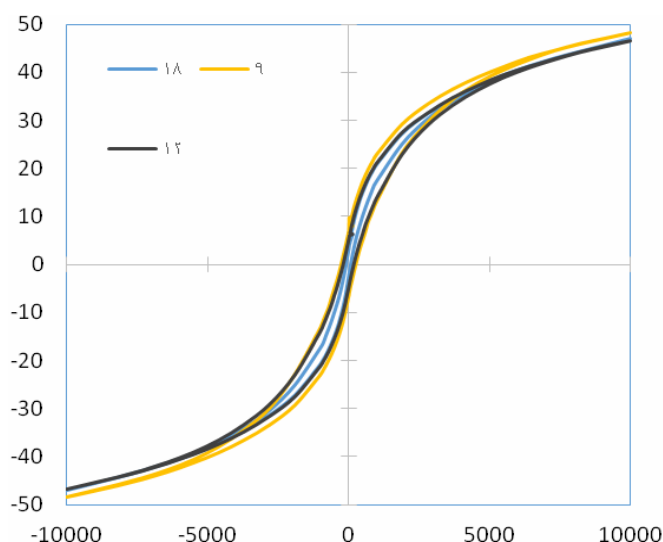
شکل ۱- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های سنتز شده در زمان‌های 9 ، 12 و 18 ساعت

در شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی گسیل میدان نانوذرات سنتز شده نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، نانوذرات سنتز شده به صورت کلوخه‌ای و با شکل نامنظم هستند. نانوذرات سنتز شده همچنین دارای ابعاد نزدیک به هم و توزیع اندازه ذرات باریک هستند.



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی گسیل میدان نانوذرات فریت کبالت سنتز شده به روش سل-ژل هیدروترمال به مدت (الف) ۹ (ب) ۱۲ (ج) ۱۸ ساعت فرآیند هیدروترمال

در شکل ۳ نتایج آزمون مغناطومتري نمونه لرزشی نانوذرات سنتز شده نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند نانوذرات سنتز شده در مدت زمان ۹ ساعت دارای مقداری مغناطش اشباع و وادارندگی نسبت به نمونه‌های سنتز شده در ۱۲ و ۱۸ ساعت هستند.



شکل ۳- نتایج آزمون مغناطومتري نانوذرات فریت کبالت سنتز شده به روش سل-ژل هیدروترمال در زمان‌های ۹، ۱۲ و ۱۸ ساعت

در جدول ۱ خواص مغناطیسی نانوذرات سنتز شده نشان داده شده است. مقادیر وادارندگی مغناطیسی مشاهده شده برای نمونه‌های سنتز شده در زمان‌های ۹، ۱۲ و ۱۸ ساعت به ترتیب برابر 261 Oe ، 182 Oe و 80 Oe است. حداکثر مقدار وادارندگی مغناطیسی فریت کبالت در ذرات این ماده با اندازه 25 nm گزارش شده که حدود 1215 Oe بوده است [۱۳]. مقادیر پایین وادارندگی مغناطیسی مشاهده شده در این نمونه‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت اندازه ذرات سنتز شده با اندازه بحرانی ذره جهت داشتن حداکثر وادارندگی باشد. یکی دیگر از عواملی که بر مقدار وادارندگی تاثیر گذار است، کرنش آزاد شده در ساختمان بلوری است. منبع این کرنش می‌تواند تغییرات توزیع کاتیون‌ها در مکان‌های تتراهدرال و اکتاهدرال در ساختمان فریت کبالت باشد. این تغییرات توزیع به شرایط سنتز و اندازه ذرات مرتبط است [۱۴]. همچنین مقدار مغناطش اشباع گزارش شده برای بالک فریت کبالت $80-90 \text{ emu/g}$ [۱۵]، [۱۶] و این کمیّت برای نانو ذرات با اندازه $15-12 \text{ nm}$ ، $59-55 \text{ emu/g}$ گزارش شده است [۱۳]. مقادیر مغناطش اشباع مشاهده شده در نمونه‌های سنتز شده در ۹، ۱۲ و ۱۸ به ترتیب برابر 48 ، 45 و 47 emu/g بوده است. مقدار کم مغناطش اشباع مشاهده شده در این نمونه‌ها می‌تواند ناشی از تبلور کم نمونه‌ها باشد.

به علاوه نتایج به دست آمده نشان می‌دهند افزایش زمان فرآیند هیدروترمال از ۹ به ۱۲ ساعت، منجر به کاهش مغناطش اشباع و وادارندگی ذرات و افزایش زمان از ۱۲ به ۱۸ ساعت باعث افزایش مغناطش اشباع و کاهش وادارندگی می‌شود. در پژوهشی که توسط S. Jovanic و همکارانش [۱۷] انجام شد مشاهده گردید با افزایش زمان فرآیند هیدروترمال اندازه ذرات و همچنین مقدار مغناطش اشباع کاهش پیدا می‌کند. آن‌ها دلیلی برای این پدیده پیدا نکرده‌اند. اما اساساً ذرات مغناطیسی در سطح خود دارای لایه‌ای غیرمغناطیسی با اسپین‌های غیر هم‌جهت نسبت به اتم‌های مرکزی و همچنین عیوبی مانند جای خالی اتمی، پیوندهای گسسته و بینظمی در شبکه هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهند این گونه اثرات سطحی منجر به ایجاد نوعی ناهمسانگردی مغناطیسی به نام ناهمسانگردی سطحی و در نتیجه افزایش ناهمسانگردی مغناطیسی کل می‌شوند [۱۸]. بنابراین می‌توان این گونه فرض کرد که افزایش زمان فرآیند هیدروترمال باعث انحلال سطحی ذرات و در نتیجه از بین رفتن عیوب سطحی و در نتیجه کاهش ناهمسانگردی سطحی ذرات و کاهش وادارندگی شود. همچنین از بین رفتن این عیوب می‌تواند باعث افزایش مغناطش ذرات نیز شود، موضوعی که در افزایش زمان از ۱۲ به ۱۸ ساعت دیده می‌شود. از طرفی این موضوع می‌تواند همچنین به علت عواملی مانند تغییرات توزیع کاتیون‌ها در ساختمان فریت کبالت و همچنین به دلیل تشکیل فازهای ثانویه با افزایش زمان فرآیند هیدروترمال، مانند مگنتیت باشد.

جدول ۱- تغییرات خواص مغناطیسی با زمان در نمونه‌های سنتز شده در ۹، ۱۲ و ۱۸ ساعت

مغناطش باقی مانده (emu/g)	وادارندگی (Oe)	مغناطش اشباع (emu/g)	زمان فرآیند (ساعت)
۶/۶	۲۶۱	۴۸/۲	۹
۵	۱۸۲	۴۵	۱۲
۲/۸	۸۰	۴۷	۱۸

۵- نتیجه گیری

نانوذرات تک فاز فریت کبالت با استفاده از روش سل-ژل هیدروترمال در نسبت اسید سیتریک به یون فلزی ۱/۵ در مدت زمان های فرآیند هیدروترمال ۹، ۱۲ و ۱۸ ساعت سنتز شدند. نانو ذرات سنتز شده به صورت تکفاز فریت کبالت، مورفولوژی نامنظم و کلوخای بودند. نتایج آزمون VSM نشان می‌دهند نانوذرات سنتز شده در زمان ۹ ساعت با مغناطش اشباع ۴۸/۲ emu/g و وادارندگی ۲۶۱ Oe دارای میزان مغناطش اشباع و وادارندگی بیشتری نسبت به نمونه‌های سنتز شده در زمان‌های ۱۲ و ۱۸ هستند. همچنین نتایج به دست آمده نشان می‌دهند افزایش زمان فرآیند هیدروترمال از ۱۲ به ۱۸ ساعت منجر به افزایش مغناطش اشباع از ۴۵ emu/g به ۴۷ و کاهش وادارندگی از ۱۸۲ Oe به ۸۰ می‌شود. که این موضوع می‌تواند ناشی از عواملی مانند انحلال سطحی ذرات، تغییر در توزیع کاتیونی یا تشکیل فازهای ثانویه باشد.

مراجع

- [1] M. S. Sodha and N. C. Srivastava, *Microwave propagation in ferrimagnetics*. New York: Springer, 1981.
- [2] D. S. Mathew and R.-S. Juang, "An overview of the structure and magnetism of spinel ferrite nanoparticles and their synthesis in microemulsions," *Chem. Eng. J.*, vol. 129, no. 1, pp. 51-65, 2007.
- [3] Q. Song, "Size and Shape Controlled Synthesis and Superparamagnetic Properties of Spinel Ferrites Nanocrystals," *Georgia Institute of Technology*, 2005.
- [4] S. Jauhar, J. Kaur, A. Goyal, and S. Singhal, "Tuning the properties of cobalt ferrite: a road towards diverse applications," *Rsc Adv.*, vol. 6, no. 100, pp. 97694-97719, 2016.
- [5] L. Ajroudi, S. Villain, V. Madigou, N. Mliki, and C. Leroux, "Synthesis and microstructure of cobalt ferrite nanoparticles," *J. Cryst. Growth*, vol. 312, no. 16-17, pp. 2465-2471, 2010.
- [6] J.-G. Lee, J. Y. Park, and C. S. Kim, "Growth of ultra-fine cobalt ferrite particles by a sol-gel method and their magnetic properties," *J. Mater. Sci.*, vol. 33, no. 15, pp. 3965-3968, 1998.
- [7] A. E. Danks, S. R. Hall, and Z. Schnepp, "The evolution of 'sol-gel' chemistry as a technique for materials synthesis," *Mater. Horizons*, vol. 3, no. 2, pp. 91-112, 2016.
- [8] A. Apelblat, *Citric Acid*. Springer, 2014.
- [9] L. M. Fang et al., "Synthesis and characteristics of Fe 3+-doped SnO 2 nanoparticles via sol-gel-calcination or sol-gel-hydrothermal route," *J. Alloys Compd.*, vol. 454, no. 1, pp. 261-267, 2008.

- [10] L. Hou, Y.-D. Hou, X.-M. Song, M.-K. Zhu, H. Wang, and H. Yan, "Sol-gel-hydrothermal synthesis and sintering of $K_0.5Bi_{0.5}TiO_3$ nanowires," *Mater. Res. Bull.* 41, vol. 41, pp. 1330–1336, 2006.
- [11] L. Yao, Y. Xi, G. Xi, and Y. Feng, "Synthesis of cobalt ferrite with enhanced magnetostriction properties by the sol-gel-hydrothermal route using spent Li-ion battery," *J. Alloys Compd.*, vol. 680, pp. 73–79, 2016.
- [12] I. Ibrahim, I. O. Ali, T. M. Salama, A. A. Bahgat, and M. M. Mohamed, "Synthesis of magnetically recyclable spinel ferrite (MFe_2O_4 , $M=Zn, Co, Mn$) nanocrystals engineered by sol gel-hydrothermal technology: High catalytic performances for nitroarenes reduction," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 181, no. Supplement C, pp. 389–402, 2016.
- [13] B. G. Toksha, S. E. Shirsath, S. M. Patange, and K. M. Jadhav, "Structural investigations and magnetic properties of cobalt ferrite nanoparticles prepared by sol-gel auto combustion method," *Solid State Commun.*, vol. 147, no. 11–12, pp. 479–483, 2008.
- [14] M. Jalalian, S. M. Mirkazemi, and S. Alamolhoda, "The effect of poly vinyl alcohol (PVA) surfactant on phase formation and magnetic properties of hydrothermally synthesized $CoFe_2O_4$ nanoparticles," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 419, pp. 363–367, 2016.
- [15] V. Marnani et al., "Studying the effect of Zn-substitution on the magnetic and hyperthermic properties of cobalt ferrite nanoparticles," *Nanoscale*, vol. 8, no. 19, pp. 10124–10137, 2016.
- [16] U. Kurtan, R. Topkaya, A. Baykal, and M. S. Toprak, "Temperature dependent magnetic properties of $CoFe_2O_4/CTAB$ nanocomposite synthesized by sol-gel auto-combustion technique," *Ceram. Int.*, vol. 39, no. 6, pp. 6551–6558, 2013.
- [17] S. Jovanović, M. Spreitzer, M. Otoničar, J.-H. Jeon, and D. Suvorov, "pH control of magnetic properties in precipitation-hydrothermal-derived $CoFe_2O_4$," *J. Alloys Compd.*, vol. 589, pp. 271–277, 2014.
- [18] B. Issa, I. M. Obaidat, B. A. Albiss, and Y. Haik, "Magnetic nanoparticles: surface effects and properties related to biomedicine applications," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 14, no. 11, pp. 21266–21305, 2013.

مطالعه توپوگرافی و خواص ساختاری لایه‌های آمورف کربن نیکل با توزیع‌های متفاوت فلزی

نسترن آساره، ولی دلوجی

دانشگاه ملایر، دانشکده علوم، گروه فیزیک

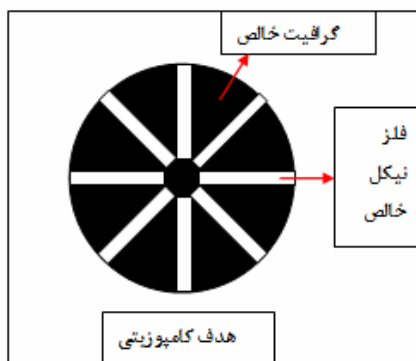
چکیده: در این مقاله خواص ساختاری لایه‌های آمورف کربن نیکل ساخته شده از هدف‌های گرافیتی با مقادیر مختلف نیکل از ۱/۸۷ تا ۴/۶۴ درصد مورد مطالعه قرار می‌گیرند. توپوگرافی در لایه‌های انباشت شده در ۱/۷۸، ۳/۲۱ و ۴/۶۴ درصد دارای یک افت و خیزی حول یک نانومتر ولی در لایه‌های انباشت شده در ۳/۹۲ درصد دارای افت و خیزی حول ۲۰ پیکومتر است. لایه‌های انباشت شده در ۳/۹۲ درصد دارای کمترین مقدار سد پتانسیل در حدود ۰/۰۰۳۱ الکترون ولت است. این لایه‌ها همچنین دارای کمترین مقدار اندازه عرضی نانوذرات در حدود ۴۰ نانومتر هستند. انباشت لایه‌ها دارای یک فرآیند گذار غیرفلز-فلز در ۳/۹۲ درصد است.

۱- مقدمه

امروزه نانومواد نقش مهمی در شاخه‌های مختلف علوم مانند مواد، مهندسی و پزشکی ایفا می‌کنند [۱ و ۲]. یکی از پرکاربردترین مطالعات ساختاری لایه‌های نازک از مواد، تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از تصاویر AFM است. مطالعه توپوگرافی سطح لایه‌ها و ارتباط آن با خواص الکتریکی لایه‌ها می‌تواند در بهبود عملکرد آنها مفید باشد. مقدار زبری سطح لایه‌ها در کیفیت و نوع کاربرد لایه‌ها می‌تواند نقش بسزایی داشته‌باشد [۳]. لایه‌های آمورف کربن تزریق شده با فلزات دارای کاربردهای فراوانی در علوم پزشکی، الکترونیک، مکانیک و اپتیک هستند [۴، ۵]. در کار حاضر تاثیر محتوا و توزیع نانوذرات نیکل درون لایه‌های ساخته شده روی توپوگرافی سطح و مقدار انرژی سد پتانسیل تولید شده در بین نانوذرات درون لایه‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲- روش تهیه لایه‌ها

لایه‌های آمورف کربن فلز روی زیر لایه‌های شیشه‌ای توسط روش کندوپاش مغناطیسی با فرکانس رادیویی ساخته می‌شوند. تیکه‌هایی از نیکل خالص روی هدف گرافیتی خالص با طولی در حدود ۴۰ میلی‌متر چسپیده می‌شوند. درصد سطحی این تیکه‌ها روی هدف‌ها به ترتیب ۱/۷۸، ۳/۲۱، ۳/۹۲ و ۴/۶۴ درصد بودند. فشار پایه محفظه کندوپاش ۵-۲×۱۰ میلی‌بار و فشار کاری در حدود ۲-۲×۱۰ میلی‌بار در نظر گرفته شدند.

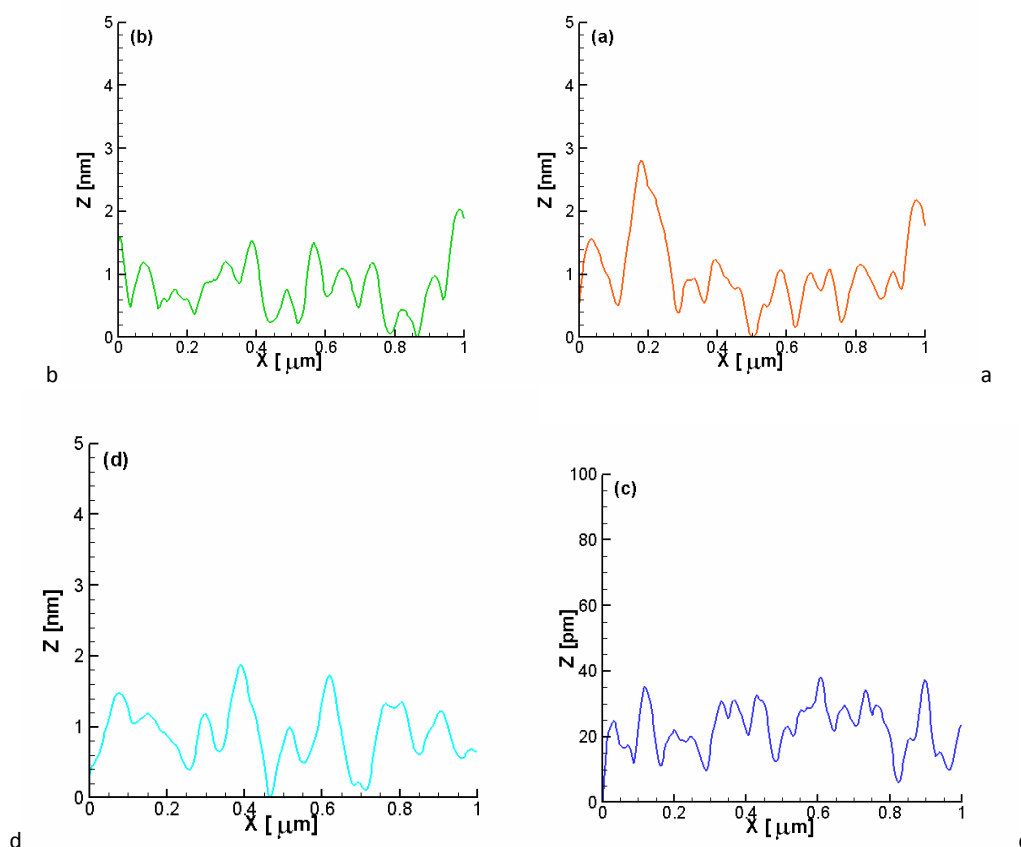


شکل ۱- تصویر شماتیکی هدف کامپوزیتی گرافیت و نیکل.

لایه‌ها در مدت زمان یک‌سان ۳ دقیقه و توان ۴۰۰ وات انباشت شدند. فاصله هدف تا زیر لایه ۶۰ میلی‌متر بود. تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی برای مشخصه‌یابی مورفولوژی لایه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. محتوای نیکل موجود در لایه‌ها توسط مطالعات پراکندگی انرژی اشعه ایکس EDAX انجام شد. تصویر هندسه هدف شامل گرافیت و نیکل به صورت شماتیکی در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

شکل های ۲ (a)، (b)، (c) و (d) به ترتیب تغییرات ارتفاع Z نانوذرات روی سطح را نسبت به محور X برای لایه های انباشت شده در نسبت های سطحی مختلف نیکل ۱/۷۸، ۳/۲۱، ۳/۹۲ و ۴/۶۴ نشان می دهد. نظر به اینکه اندازه روبش روی سطح لایه ها توسط دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی AFM در حدود ۱×۱ میکرومتر مربع است بنابراین حداکثر مقدار عددی روی محور X ها همان یک میکرومتر است. تغییرات ارتفاع در روی سطح روبش شده لایه ها نشان می دهد که لایه ها در ۳/۹۲ درصد یک تغییر فاز شدید بدست می آورند به طوری که لایه های انباشت شده در ۳/۹۲ درصد حول ۲۰ پیکومتر که در حدود ۰/۰۰۱ حالت های دیگر است و نشان می دهد که لایه ها در این حالت اولاً خیلی هموار هستند و ثانیاً می توانند دارای یک تغییر فاز باشند.

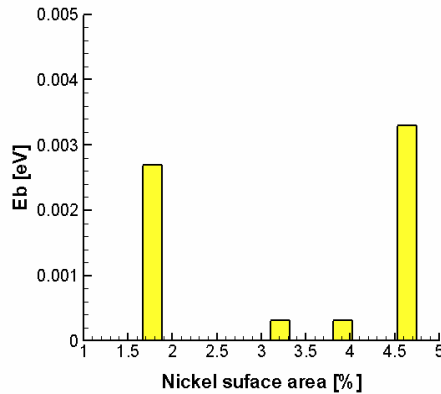


شکل ۱- تغییرات ارتفاع Z نانوذرات روی سطح بر حسب محور X برای لایه های انباشت شده در نسبت های سطحی مختلف نیکل (a) ۱/۷۸، (b) ۳/۲۱، (c) ۳/۹۲، (d) ۴/۶۴ درصد.

سدهای پتانسیل ایجاد شده توسط نواحی عایق بین نانوذرات فلزی دارای یک مقدار انرژی هستند که توسط رابطه زیر بدست می آید:

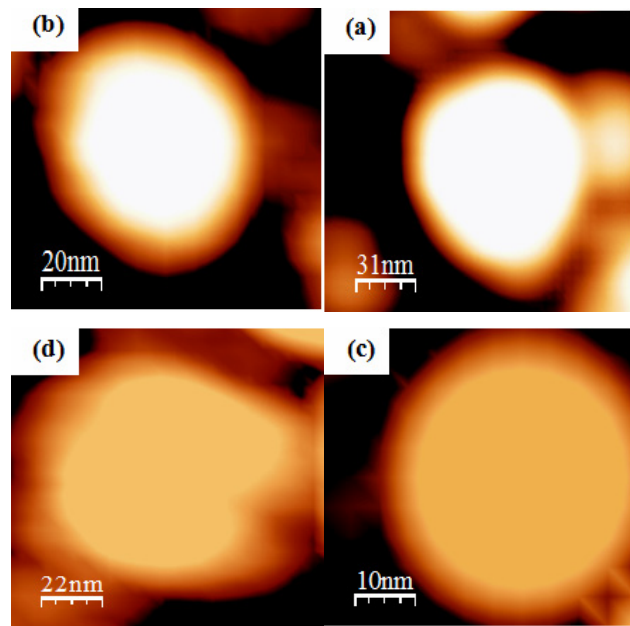
$$E_b = \alpha^2 h^2 / 4\pi^2 m^*$$

که در این رابطه α عکس طول جایگزیدگی بین مراکز پرش حامل هاست و h ثابت پلانک و m^* جرم موثر حامل هاست. شکل ۳ تغییرات انرژی سدهای پتانسیل بین نانوذرات روی سطح را نسبت به نسبت های سطحی مختلف نیکل ۱/۷۸، ۳/۲۱، ۳/۹۲ و ۴/۶۴ نشان می دهد. همچنانکه در این شکل مشاهده می شود این مقدار انرژی از لایه های انباشت شده در ۱/۷۸ درصد تا لایه های انباشت شده در ۳/۹۲ درصد کاهش می یابد و به مقدار کمینه ۰/۰۰۳۱ الکترون ولت می رسد و در لایه های انباشت شده در ۴/۶۴ درصد به حدود ۰/۰۰۳۳ الکترون ولت می رسد که خود نشان دهنده همان تغییر فاز ایجاد شده در لایه های انباشت شده در ۳/۹۲ درصد است. بررسی های بیشتر نشان می دهد که یک فرایند گذار از غیر فلزی به فلزی در لایه های انباشت شده در ۳/۹۲ درصد و یک فرایند گذار فلزی به غیر فلزی در لایه های انباشت شده در ۴/۶۴ درصد اتفاق می افتد.



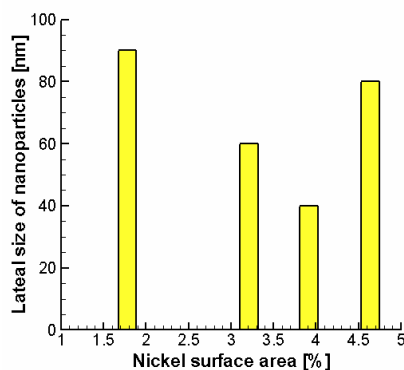
شکل ۲- تغییرات انرژی سدهای تانسیل بین نانوذرات روی سطح برای لایه‌های انباشت شده در نسبت‌های سطحی مختلف نیکل ۱/۷۸، ۳/۲۱، ۳/۹۲ و ۴/۶۴ درصد.

شکل ۴ (a)، (b)، (c) و (d) به ترتیب تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی AFM نانوذرات روی سطح لایه‌ها را در نسبت‌های سطحی مختلف نیکل ۱/۷۸، ۳/۲۱، ۳/۹۲ و ۴/۶۴ نشان می‌دهد. توسط این تصاویر می‌توان اندازه عرضی نانوذرات روی سطح را تخمین زد. این مقادیر برای لایه‌های انباشت شده در نسبت‌های سطحی مختلف نیکل ۱/۷۸، ۳/۲۱، ۳/۹۲ و ۴/۶۴ به ترتیب در حدود ۹۰، ۶۰، ۴۰ و ۸۰ نانومتر است. بنابراین تا ۳/۹۲ درصد تغییرات اندازه عرضی نانوذرات روی سطح لایه‌ها به صورت کاهشی و آن طرف ۳/۹۲ درصد این تغییرات به صورت افزایشی است. این مقادیر اندازه‌ها ارتباط مستقیمی به مقادیر انرژی سد پتانسیل بین نانوذرات فلزی دارد. بنابراین کوچک بودن نانوذرات فلزی این امکان را به وجود می‌آورد که تعداد بیشتری از آنها به طوری در کنار هم قرار گیرند که مقدار ضخامت عایق بین آنها به کمترین مقدار خود برسد در نتیجه لایه‌ها به فاز فلزی نزدیک می‌شوند.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی AFM نانوذرات روی سطح لایه‌ها را در نسبت‌های سطحی مختلف نیکل ۱/۷۸ (a) ۳/۲۱ (b) ۳/۹۲ (c) ۴/۶۴ (d) درصد.

تغییرات اندازه عرضی نانوذرات روی سطح لایه‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنانکه در بالا اشاره شد برای لایه‌های انباشت شده تا ۳/۹۲ درصد این تغییرات کاهشی و برای لایه‌های انباشت شده از ۳/۹۲ تا ۴/۶۴ درصد این تغییرات افزایشی است.



شکل ۴- تغییرات اندازه عرضی نانوذرات روی سطح لایه‌ها برای لایه‌های انباشت شده در نسبت‌های سطحی مختلف نیکل ۱/۷۸، ۳/۲۱، ۳/۹۲ و ۴/۶۴ درصد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله خواص ساختاری لایه‌های آمورف کربن نیکل ساخته شده با استفاده از روش کندوپاش با تاکید بر توپوگرافی سطح و مقادیر انرژی سد پتانسیل ایجاد شده بین نانوذرات فلزی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. توپوگرافی سطح لایه‌ها از ۱/۷۸ تا ۳/۹۲ درصد کاهش یافت سپس از ۳/۹۲ تا ۴/۶۴ درصد افزایش یافت. لایه‌های انباشت شده در ۳/۹۲ درصد دارای کمترین اندازه عرضی در حدود ۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان دادند که فرآیند رشد لایه‌ها ممکن است دارای گذار از حالت غیرفلز به فلز و یا برعکس باشند.

مراجع

- [1] L. Dejam, S.M. Elahi, H.H. Nazari, H. Elahi, S. Solaymani, A. Ghaderi, J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 27 (2016) 685.
- [2] S. Talu, M. Bramowicz, S. Kulesza, A. Shafiekhani, A. Ghaderi, F. Mashayekhi, & S. Solaymani, Ind. Eng. Chem. Res. 54(33), (2015) 8212.
- [3] S. Talu, S. Stach, T. Ghodselahi, A. Ghaderi, S. Solaymani, A. Boochani, & Z. Garczyk, J. Phys.Chem.B.119(17), (2015) 5662.
- [4] V. Dalouji, S.M. Elahi, A. Ghaderi, S. Solaymani, Chin. Phys. Lett. 33 (5) (2016) 057203.
- [5] V. Dalouji, S. Elahi, S. Solaymani, A. Ghaderi, H. Elahi, Appl. Phys. A 122 (5) (2016) 541.

مروری بر کاربردهای هیدروکسی آپاتیت در دارورسانی

ملیحه یعقوبی^۱، فاطمه عسجدی^۲

^۱ گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی، دانشگاه زنجان

^۲ گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه زنجان



asjodi@znu.ac.ir

دکتر فاطمه عسجدی،
نویسنده‌ی مسئول مقاله، عضو
هیات علمی دانشگاه زنجان

چکیده: هیدروکسی آپاتیت (HAP) با فرمول شیمیایی $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ یکی از انواع کلسیم فسفات‌ها است که بافت سخت بدن انسان و سایر پستانداران از آن تشکیل شده است. به بیان دقیق‌تر ۶۰-۷۰٪ وزنی استخوان از هیدروکسی آپاتیت تشکیل شده است. در بین نانوذرات سرامیکی هیدروکسی آپاتیت با داشتن خواصی نظیر استئوکانداکتیویته و زیست سازگاری بالا، انحلال پذیری کم در محیط‌های زیستی و پایداری در pH خنثی و بازی و انحلال در محیط‌های اسیدی قابلیت بالایی در کاربردهای زیستی و پزشکی دارد. در این مقاله مروری بر مطالعات انجام شده از کاربرد این ترکیب در حوزه دارورسانی انجام شده است. هیدروکسی آپاتیت به صورت خالص و به شکل کامپوزیت برای این هدف استفاده شده است. ساختارهای مختلف شامل هیدروکسی آپاتیت به همراه مثال‌های متنوع از پژوهش‌های انجام شده در این حوزه در این مقاله بررسی شده است. **کلمات کلیدی:** هیدروکسی آپاتیت، دارورسانی، ساختار هسته-پوسته، کامپوزیت.

۱- مقدمه

برای دارورسانی هدفمند نیاز به کوچک کردن سیستم دارورسانی در حدی است که اندازه سیستم دارورسانی از سلول هدف کوچکتر شود. نانوساختارهای متعددی برای دارورسانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جمله آن‌ها می‌توان به نانوساختارهای لیپوزوم، نانوساختارهای پلیمری، نانوساختارهای بر پایه اسید نوکلئیک، نانوساختارهای کربنی، نانوساختارهای بر پایه دارو و نانوساختارهای سرامیکی اشاره کرد. نانوساختارهای سرامیکی به واسطه پایداری و عدم انحلال و خواص مکانیکی مناسب پتانسیل بالایی در این کاربرد دارند. در بین انواع نانوساختارهای سرامیکی کلسیم فسفات‌ها پتانسیل بالایی برای دارورسانی دارند. نانوساختارهای کلسیم فسفاتی در مقایسه با نانوذرات فلزی تنوع بیشتری دارند [۱]. ضمن اینکه نانوذرات فلزی زیست تجزیه‌پذیری نامشخص دارند. هیدروکسی آپاتیت (HAP) با فرمول شیمیایی $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ یکی از انواع کلسیم فسفات‌ها است که بافت سخت بدن انسان و سایر پستانداران از آن تشکیل شده است و به بیان دقیق‌تر ۶۰-۷۰٪ وزنی استخوان از هیدروکسی آپاتیت، ۱۰-۲۰٪ وزنی از آب و سایر بخش‌های استخوان شامل کلاژن و سایر ترکیب‌های آلی است. هیدروکسی آپاتیت موجود در بخش معدنی استخوان شامل یون‌هایی مانند فلوراید، سدیم و منیزیم است. توجه و تحقیقات درباره این ترکیب در دو دهه اخیر در حیطه پزشکی افزایش بسیاری یافته است. ویژگی‌های منحصر به فردی نظیر استئوکانداکتیویته^۱ و زیست سازگاری بالا پتانسیل استفاده از این ماده به عنوان ماده مورد استفاده در سیمان‌های استخوانی، داربست‌های استخوانی و ایمپلنت‌هایی که در معرض تحمل بار هستند، ماده مورد استفاده در پوشش‌دهی ایمپلنت‌ها، دارورسانی و رسانش سایر مولکول‌های زیستی را بسیار افزایش داده است. علاوه بر این انحلال‌پذیری کم هیدروکسی آپاتیت در محیط‌های زیستی، توانایی کنترل تخلخل، سطح ویژه و عوامل سطحی ویژگی‌های مناسب دیگری هستند که می‌تواند کاربرد آپاتیت به عنوان حامل دارویی از طریق تزریق یا عمل جراحی را افزایش دهد. هیدروکسی آپاتیت در دارورسانی به بخش‌های آسیب دیده استخوان و نیز بخش‌های

¹ osteoconductivity

سرطانی مورد استفاده قرار گرفته است. سرعت بسیار پایین تجزیه هیدروکسی آپاتیت در محیط‌های خنثی و بازی باعث ورود تدریجی و با سرعت کم دارو به بدن می‌شود [۲].

در عمل انواع مولکول‌ها و داروها به جز مولکول‌های کوچک هیدروفیل می‌توانند بر روی هیدروکسی آپاتیت بارگذاری شوند. اجزای کوچک هیدروفیل با آب اطراف شسته شده و از هیدروکسی آپاتیت جدا می‌شوند. با سنتز ساختارهای چند لایه می‌توان چند نوع دارو روی آپاتیت بارگذاری کرد [۱]. نکته مهم در این مورد این است که عمده‌ترین کاربرد هیدروکسی آپاتیت در دارورسانی مربوط به رسانش دارو به بخش‌های آسیب دیده استخوان می‌باشد. البته در سال‌های اخیر استفاده از آن در دارورسانی به سلول‌های سرطانی نیز مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات اخیر نشان داده است که غلظت بالای هیدروکسی آپاتیت می‌تواند خواص پروآپتوس و ضدتکثیر بر روی سلول‌های سرطانی داشته باشد. به خصوص می‌تواند روی پایداری متابولیسی سلول‌های سرطانی مشخصی مانند هپاتوما و سرطان کولون و ملانوما تاثیر بگذارد [۳]. دلیل کاهش سرعت تکثیر سلول‌ها در حضور هیدروکسی آپاتیت غلظت بالای یون‌های کلسیم گزارش شده است. یون‌های کلسیم باعث تحریک سیگنال اپتوتیک بین سلولی می‌شود که این موضوع منجر به جایگزینی سلول‌های پیر، آسیب دیده و تخریب شده می‌گردد [۳].

۲- ساختارهای شامل هیدروکسی آپاتیت در دارورسانی

۲-۱- نانوذرات هیدروکسی آپاتیت

نانوذرات هیدروکسی آپاتیت با کنترل تخلخل‌ها می‌تواند ترکیب مناسبی برای بارگذاری دارو و استفاده در دارورسانی باشد. این ساختار برای داروهای متعدد، آنتی بیوتیک، پروتئین و آنزیم بررسی شده است. نانوذرات هیدروکسی آپاتیت با کنترل تخلخل‌ها می‌تواند ترکیب مناسبی برای بارگذاری دارو و استفاده در دارورسانی باشد. این ساختار برای داروهای متعدد، آنتی بیوتیک، پروتئین و آنزیم بررسی شده است.

گرانوله‌های هیدروکسی آپاتیت با حفرات فراوان به عنوان حامل مناسبی برای آنتی بیوتیک‌ها معرفی شده است که در درمان بیماری پیوره به کار گرفته می‌شوند. این حامل دارو توسط تزریق به محل عفونت وارد می‌شود. در حضور هیدروکسی آپاتیت حامل آنتی بیوتیک، تقسیم و رشد سلولی بهبود پیدا کرده است. رهایش تدریجی دارو، خواص استوکنداکتیو و قابلیت باز جزیی و پتانسیل آن به عنوان پرکننده استخوان این سیستم را برای این نوع درمان‌ها بسیار مناسب می‌کند [۴]. نانوذرات هیدروکسی آپاتیت برای رسانش داروی دوکسوروبیسین^۱ برای بیماری کارسینوم سلول‌های استخوانی نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مطلوبی به دست آمده که عوارض جانبی دارورسانی غیر هدفمند را ندارد [۵]. در پژوهش دیگری از هیدروکسی آپاتیت متخلخل انباشته شده با جنتامایسن در دو حالت زینتر شده و نشده به عنوان داربست استخوانی استفاده شد. حفره‌های موجود در هیدروکسی آپاتیت با عملیات زینتر درشت‌تر شده و شرایط بهتری را برای دارورسانی فراهم می‌کند. نتایج آزمایشات خارج از بدن، مناسب بودن این سیستم برای دارورسانی را تأیید کرد [۶].

۲-۲- هیدروکسی آپاتیت آلائیده شده با عناصر دیگر

به دلیل ساختار ویژه آپاتیت‌ها، که انعطاف‌پذیر و پایدار هستند، این کانی قادر به پذیرفتن یون‌های دیگر به صورت جانشین و نیز جای خالی است. محل یون فسفات نمی‌تواند به صورت جای خالی قرار بگیرد ولی کلسیم می‌تواند با ایجاد جای خالی از ساختار جدا شود. ساختار هیدروکسی آپاتیت قادر است دو جای خالی کلسیم به ازای ده محل کلسیم را بدون به هم ریختن ساختار تحمل کند [۷]. این جانشینی‌ها می‌توانند به صورت نامطلوب در طی فراوری هیدروکسی آپاتیت، به ساختار آن تحمیل شوند و یا به صورت خودخواسته به شبکه اتمی وارد شوند. کلسیم می‌تواند به مقادیر گوناگون توسط کاتیون‌های دیگر با ظرفیت‌ها و شعاع‌های گوناگون جایگزین شود. در بین انواع کاتیون‌ها، یون باریم، منیزیم و استرانسیم جایگزینی بیشتری دارند. جایگزینی یون‌های سه ظرفیتی آلومینیم و آهن و یون ۴ ظرفیتی تیتانیم [۸، ۹] نیز در مطالعات بررسی شده است. جایگزینی کبالت با دو روش تعویض یونی و افزودن در هنگام سنتز تأیید شده است [۱۰]. جایگزینی در محدوده‌های گوناگون برای یون‌های گوناگون

¹ Doxorubicin

امکان پذیر است. برخی یون‌ها مانند سرب [۱۱] و استرانسیم [۱۲] می‌توانند به طور کامل جایگزین کلسیم شوند بدون اینکه ساختار بلوری آپاتیت از بین برود و برخی یون‌ها مانند روی تا ۱ درصد مولی جایگزین می‌شوند [۱۳]. در مورد برخی عناصر مانند عناصر نادر خاکی [۱۴] و عناصر با ظرفیت بالا مانند اورانیم [۱۵] این جایگزینی به چند ppm می‌رسد. جایگزینی‌ها باعث تغییر در برخی خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی شده و قابلیت هیدروکسی آپاتیت را برای کاربردهای ویژه‌ای افزایش می‌دهد. در حوزه دارورسانی نیز می‌توان با وارد کردن عناصر مختلف خواص هیدروکسی آپاتیت را در جهت بهبود دارورسانی تغییر داد. در جدول ۱ برخی از این جایگزینی‌ها جمع آوری شده است. روش‌های مختلفی برای تهیه هیدروکسی آپاتیت الاییده شده با عناصر مختلف به کار برده می‌شود که تهیه این ساختارها در دمای اتاق با روش هم‌رسوبی معمول‌ترین روش‌ها است. افزودن عناصر لومینسانس به ساختار آپاتیت باعث ویژگی‌های مختلفی می‌شود که مهمترین آن قدرت پیگیری حامل دارو در داخل بدن است. رنگ‌های آلی که در هیدروکسی آپاتیت لومینسانس بارگذاری شده است در شیمی‌درمانی و در سلول‌های عروقی انسان به صورت خارج از بدن مورد آزمایش قرار گرفته است.

جدول ۱- هیدروکسی آپاتیت آلییده شده با سایر عناصر که در حوزه دارورسانی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

عنصر مورد استفاده برای الاییدن	داروی مورد بررسی	توضیحات بیشتر
یورویوم (Eu)	ایوپروفن	بعد از بارگیری دارو ترکیب همچنان با تابش UV خاصیت لومینسانسی خود را حفظ کرده و شدت تابش لومینسانس با رهایش دارو تغییر می‌کند و این ویژگی باعث سهولت پیگیری رهایش دارو می‌شود [۱۶].
یورویوم (Eu) و تربیم (Tb)	ایوپروفن	این عناصر در ساختار هیدروکسی آپاتیت حاوی فلئور و استرانسیم وارد شدند. این ترکیب حتی بعد از بارگیری دارو تشعشعات قابل شناسایی ساطع می‌کند که باعث سهولت پیگیری ترکیب می‌شود [۱۷].
یورویوم (Eu) و گادولینیم (Gd)	ایوپروفن	این ترکیب در کنار پلیمر آمفلیک و به صورت کامپوزیت مورد استفاده قرار گرفته است و ظرفیت جذب داروی بالای را از خود نشان داده است. دارو در مدت طولانی حدود ۸۰ روز به تدریج آزاد شد [۱۸].
آهن (Fe)	۵- فلوروراسیل و آموکسی سیلین ^۱	سرعت رهایش دارو با افزایش غلظت آهن افزایش می‌یابد. با افزودن آنتی بیوتیک به ترکیب مغناطیس اشباع و باقیمانده افزایش می‌یابد [۱۹].
آهن (Fe)	نورفلوکسازین ^۲	افزایش جذب دارو با وارد کردن آهن به ساختار گزارش شده است [۲۰].
نیودیمیوم (Nd)	۴- استیل سالیسیلیک اسید ^۳	هیدروکسی آپاتیت الاییده شده با نیودیمیوم با اسید الگینیک ^۴ اصلاح شده و پاسخ حساس به اسیدیته آن تشدید شده و برای دارورسانی به روده بزرگ از طریق خوراکی مورد آزمایش موفقیت آمیز قرار گرفته است [۲۱].
روی (Zn)	دکسوروبیسیسین ^۵	هیدروکسی آپاتیت آلییده شده با یک درصد مولی روی به عنوان ترکیب بهینه برای کاربردهای زیستی معرفی شد [۲۲].
نقره (Ag)	لیدوکائین هیدروکلرید ^۶	هیدروکسی آپاتیت الاییده شده با نقره با الگینات و چیتوسان به صورت کامپوزیت به عنوان داربست استخوانی مورد استفاده قرار گرفت. خواص آنتی باکتریال حاصل از نقره تا یک سال و رهایش تدریجی دارو تا دو هفته تأیید شد [۲۳].

¹ 5- Fluorouracil

² norfloxacin

³ 4 acetyl salicylic acid

⁴ Alginate acid

⁵ Doxorubicin

⁶ lidocaine hydrochloride

۲-۳- کامپوزیت‌های هیدروکسی‌آپاتیت

با وجود تمام ویژگی‌های مناسب هیدروکسی‌آپاتیت سختی ذاتی این ترکیب، شکنندگی، تخلخل‌های غیر یکنواخت و روش‌های اندک شکل دادن محدودیت‌هایی برای استفاده از این ترکیب در دارورسانی به وجود آورده است [۲۴]. روش‌های مختلفی برای غلبه بر این محدودیت‌ها وجود دارد که مناسب‌ترین روش استفاده از کامپوزیت‌های حاوی این ترکیب می‌باشد. این کامپوزیت‌ها می‌توانند به صورت مخلوط یکنواخت از دو ماده به کار برده شوند و یا با ساختار مشخص و منظمی ساخته شوند. هر دو مورد در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۳-۱- کامپوزیت‌های مخلوط هیدروکسی‌آپاتیت

کامپوزیت‌های آپاتیتی در سال‌های اخیر برای دارورسانی به بخش‌های آسیب‌دیده استخوان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از موارد مهم که هیدروکسی‌آپاتیت می‌تواند در درمان آن بسیار مفید باشد، عفونت مزمن استخوان است. استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها به روش معمول و غیرموضعی عوارض جانبی نظیر سمیت کبد را دارد. برای اجتناب از این عوارض دارورسانی موضعی در این زمینه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر از دو نوع حامل دارو در این موارد استفاده می‌شود. حامل‌های تجزیه‌ناپذیر مانند پلی‌متیل متاکریلات^۱ و حامل‌های تجزیه‌پذیر مانند هیدروکسی‌آپاتیت، چیتوسان. استفاده از پلی‌متیل متاکریلات گرچه نتایج خوبی در بر دارد ولی نیاز به عمل جراحی مجدد برای خارج کردن آن از بدن یکی از مشکلات آن است. از سوی دیگر به دلیل بالا بودن دمای پلیمریزاسیون این پلیمر تنها از داروهایی که تحمل دمای بالا را دارند می‌توان استفاده کرد. از آنجا که هیدروکسی‌آپاتیت ترکیبی شناخته شده و بسیار مفید در ساخت داربست‌های استخوانی است، استفاده از آن در ساخت داربست‌های حامل آنتی‌بیوتیک دو هدف دارورسانی و بستر مناسب برای رشد استخوان را فراهم می‌کند. پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است که به چند مورد از آن‌ها در این قسمت اشاره می‌شود.

در مطالعه دیگری کامپوزیت هیدروکسی‌آپاتیت، نانولوله کربنی و مگنتیت بارگذاری شده با داروی کلادرنات^۲ تهیه شده و تاثیر ممانعت‌کنندگی این کامپوزیت بر روی استئوکلاست تأیید شد [۲].

رفتار کامپوزیت هیدروکسی‌آپاتیت پاریس پلاستر و چیتوسان و داروهای جنتامایسن^۳، فسفومیسین^۴، ایمپینم^۵، آمفوتریسین B^۶ مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌های خارج از بدن زیست‌سازگاری و مناسب بودن این ترکیب برای دارورسانی را تأیید کرده است [۲۵].

کامپوزیت هیدروکسی‌آپاتیت با پلیمر پلی‌کاپرولاکتون^۷ به عنوان پوشش برای داربست هیدروکسی‌آپاتیتی مورد استفاده قرار گرفته و از داروی تتراسایکلین هیدروکلرید به عنوان داروی نمونه برای بررسی دارورسانی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از کامپوزیت علاوه بر بهبود خواص مکانیکی، ظرفیت جذب دارو را نیز افزایش می‌دهد. با افزایش نسبت HAP/PCL آهنگ تجزیه زیستی افزایش می‌یابد. در دو روز اول حدود ۲۰-۳۰٪ دارو آزاد شده که به خصوص به وجود داروهای آزاد روی سطح کامپوزیت نسبت داده شده است. پس از آن دارو در طی زمان طولانی رها شده و سرعت رهایش دارو با انحلال پوشش کامپوزیتی کنترل می‌شود [۲۶].

۲-۳-۲- ساختار پوسته-هسته

ساختارهای هسته-پوسته متعددی شامل هیدروکسی‌آپاتیت در زمینه دارورسانی استفاده شده است که در برخی از این ترکیبات هیدروکسی‌آپاتیت نقش هسته دارد و در برخی دیگر هیدروکسی‌آپاتیت به عنوان پوسته و پوشش در آن‌ها به کار برده می‌شود. مهم‌ترین این ساختارها در این مقاله مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند. یکی از چالش‌های استفاده از این ساختارها روش تهیه خاص و در مواردی هزینه بر آن است.

¹ Poly(methyl methacrylate) (PMMA)

² clodronate

³ gentamicin

⁴ fosfomycin

⁵ imipenem

⁶ amphotericin B

⁷ Polycaprolactone (PCL)

الف) هیدروکسی آپاتیت با پوسته پلیمری:

انواع مختلفی از پلیمرها با داشتن خواص مناسب زیستی در کاربردهای زیست پزشکی بسیار مورد توجه هستند. ولی نداشتن خواص مکانیکی مناسب محدودیتی برای کاربرد آنها به وجود می‌آورد. تهیه ساختارهای با هسته سرامیکی و پوسته پلیمری این محدودیت را از بین می‌برد و در ضمن ظرفیت جذب دارو را نیز افزایش می‌دهد. در سال‌های اخیر، مطالعات بسیار زیادی بر این موضوع متمرکز شده‌اند که چند نمونه در این قسمت آورده شده است.

پلیمر چیتوسان به عنوان پوسته برای هسته هیدروکسی آپاتیت مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های متعددی مانند هم رسوبی، روش امولسیون چندتایی برای تهیه این ساختار به کار گرفته شده است. نتایج نشان داد این ساختار در بازبازی استخوان و نیز دارورسانی قابل استفاده است [۲۷].

پلیمر پلی وینیل الکل^۱ با داشتن خواصی مانند زیست سازگاری، زیست چسبندگی^۲ و غیر سمی بودن به عنوان پلیمر بسیار مناسبی برای کاربردهای زیستی معرفی شده است. پلی اتیلن گلیکول^۳ با تشکیل چلات با یون‌های کلسیم موجود در ساختار هیدروکسی آپاتیت نیز کاندیدای مناسبی برای استفاده به عنوان پوششی برای نانوذرات هیدروکسی آپاتیت می‌باشد. در پژوهشی با استفاده از روش هم‌رسوبی دو پلیمر پلی وینیل الکل و پلی اتیلن گلیکول به صورت هم‌زمان به عنوان پوشش روی آپاتیت استفاده شده است [۲۴]. مراحل انجام کار به صورت خلاصه افزودن محلول دو پلیمر در آب بر روی محلول حاوی کلسیم و سپس افزودن محلول حاوی فسفات و پیرسازی و جداسازی ذرات بود. برای بررسی خاصیت جذب دارو از داروی نمونه اسکولوفناک^۴ استفاده شد. استفاده از پلیمرها در ساختار پوسته ثابت دی الکتریک هیدروکسی آپاتیت را کاهش داد [۲۴].

از پلیمر گام اکازی^۵ نیز به عنوان پوشش هیدروکسی آپاتیت برای داروی نارینگنین^۶ استفاده شده و مطالعات روی کلیه میمون نتایج مطلوبی حاصل شده است. نتایج نشان‌دهنده تقسیم سلولی بالا و پایداری بالا در نمونه حاوی ترکیب حامل دارو می‌باشد [۲۸].

ساختار دیگری که در این دسته‌بندی قرار می‌گیرد هیدروکسی آپاتیت پوشش داده شده با لیپوزوم است. این ساختار علاوه بر کاربرد در ایمپلنت‌های استخوانی پتانسیل بالایی در دارورسانی به سلول‌های سرطانی نیز دارد. چرا که هیدروکسی آپاتیت پوشش داده شده با لیپوزوم می‌تواند به راحتی با اندوسیتوز^۷ سلول‌های سرطانی وارد این سلول‌ها بشود. چرا که این سلول‌ها توانایی جذب انوسایتک داروهای پوشیده شده با یک لایه لیپید را دارند. در پژوهشی که چو^۸ و همکارانش انجام دادند از وزیکول‌های تک لایه لیپوزوم که از لیسیتین سویا تهیه شده بود به عنوان میکروراکتور برای تهیه هیدروکسی آپاتیت استفاده کردند. نانوکامپوزیت به دست آمده ساختار هسته-پوسته داشت و رسوب داخل لیپوزوم‌ها از چندین نانومیل هیدروکسی آپاتیتی با بلورینگی پایین تشکیل شده بود اندازه این نانومیل‌ها کوچکتر از نانومیل‌های آپاتیتی تهیه شده در غیاب لیپوزوم بودند [۷].

در پژوهش دیگری از هیدروکسی آپاتیت به عنوان هسته و از الگینات به عنوان پوسته استفاده شد. در تجزیه در pH پایین ویژگی بود که توسط هیدروکسی آپاتیت در این کامپوزیت ایجاد شده بود. الگینات نیز علاوه بر داشتن زیست‌سازگاری بالا گروه‌های سطحی COOH را برای جذب دارو داشت. داروی مورد استفاده رنگ رودامین^۹ بود که در مرحله سنتز در ساختار انباشته شده بود. با کاهش pH رهایش دارو افزایش یافت. بعد از گذشت زمان ۸ ساعت رهایش دارو در pH ۷/۴، ۲/۵۳ برابر pH ۲ است که این ویژگی به انحلال هسته هیدروکسی آپاتیت در pH پایین نسبت داده شده است [۲۹].

پلی لاکتید به همراه گلی کولید^{۱۰} به عنوان پوسته بر روی هیدروکسی آپاتیت نیز مورد آزمایش قرار گرفته است. این ترکیب به راحتی با ترکیبات فلورسنت نشانه‌گذاری می‌شود و این ویژگی برای ردیابی این ترکیب بسیار مهم است. داروی به کار رفته

¹ Polyvinyl alcohol(PVA)

² bioadhesive

³ Polyethylene Glycol(PEG)

⁴ aceclofenac (AF)

⁵ gum-acacia

⁶ naringenin

⁷ endocytosis

⁸ Chu

⁹ Rhodamine 6G

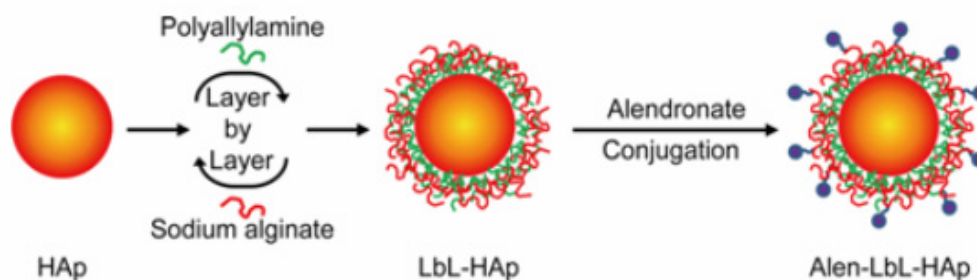
¹⁰ Poly(d,l-lactide-co-glycolide)

در مطالعه مذکور کلیندامیسین^۱ می‌باشد. این ترکیب برای دارورسانی در بخش‌های عفونی استخوان مفید معرفی شده است. تجزیه تدریجی پلیمرها هم باعث آزاد شدن تدریجی دارو و هم باعث چسبندگی کامپوزیت به استخوان^۲ بعد از دوره درمان می‌شود. دارو به صورت یکنواخت بر روی این ساختار بارگیری می‌شود و این ویژگی برای افزایش بازده دارورسانی بسیار مهم است [۳۰].

ساختارهای چند لایه با ویژگی‌های منحصر به فرد نیز تهیه و آزمایش شده‌اند. برای مثال پوشش نانومتری پلیمر حاوی سیلیکا بر روی هیدروکسی‌آپاتیت آلاینده شده با عناصر فلورسنت (Eu^{3+} و Y^{3+}) و پوشش داده شده با پلیمر تهیه و شناسایی شده است. برای افزایش نشر فلورسنت ساختار هیدروکسی‌آپاتیت تهیه شده با روش هم رسوبی تحت عملیات هیدروترمال قرار گرفت. نانوذرات به دست آمده سپس با تترااتیل ارتوسیلیکات پوشش داده شدند. نتایج نشان داد تشکیل لایه سیلیکا شدت تابش فلورسنت را دو برابر کرد. هیدروکسی‌آپاتیت فلورسنت ماده بسیار کاربردی در علم پزشکی به شمار می‌رود [۳۱].

نانوذرات هیدروکسی‌آپاتیت تغییر سطحی داده شده توسط اسیدفولیک اصلاح شده با پلی اتیلن گلیکول برای رسانش داروی پکلی تکسل^۳ مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج بسیار مطلوبی به دست آمده است. این دارو یک داروی ضد سرطان بوده و نتایج این مطالعه می‌تواند بسیار مفید باشد [۳۲].

الندرونات دارویی برای درمان پوکی استخوان است و خاصیت بازجذبی استخوان را افزایش می‌دهد. ترکیب خواص استئوکاندکتیویتی هیدروکسی‌آپاتیت و خواص درمانی این دارو با تهیه ترکیب لایه لایه هیدروکسی‌آپاتیت و نشان دادن این دارو روی این ساختار حاصل می‌شود (شکل ۱). در این حالت ظرفیت جذب هیدروکسی‌آپاتیت افزایش می‌یابد [۳۳].



شکل ۱- هیدروکسی‌آپاتیت چند لایه و اتصال داروی الندرونات بر روی آن [۳۳]

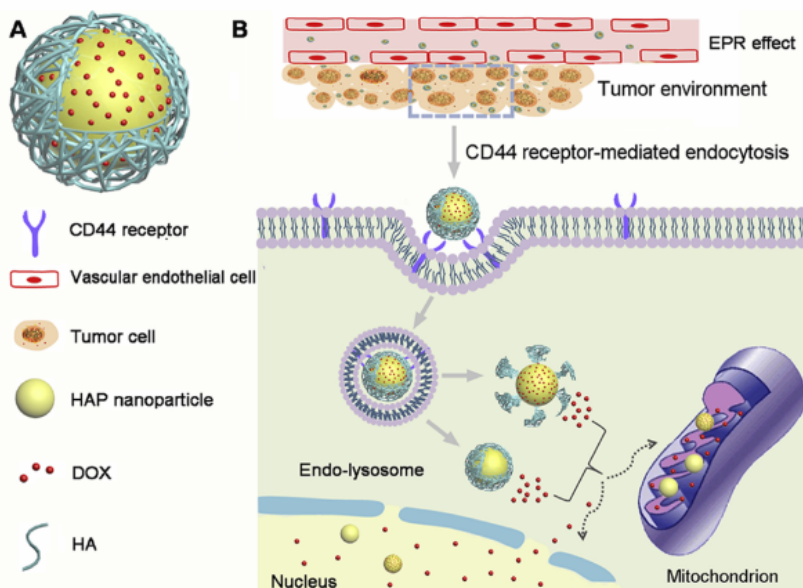
در پژوهشی سیستم دارورسانی بر پایه هیدروکسی‌آپاتیت برای رسانش داروی دوکسوروبیسین به میتوکندری و هسته سلول‌های تومور طراحی شده است. در این پژوهش برای غلبه بر محدودیت‌هایی مانند سرعت انحلال کم، سرعت بارگیری کم دارو و به هم چسبیدن ذرات هیدروکسی‌آپاتیت پوششی از هیالارونیک اسید^۴ بر روی هیدروکسی‌آپاتیت ایجاد شد. پیوند این دو از نوع کووالانسی می‌باشد. زیست سازگاری و قدرت انتخاب و رهایش مناسب از ویژگی‌های این سیستم است. با استفاده از این سیستم بازده ضد توموری داروی رسانده شده بیشتر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است این سیستم رسانش دارو به تومورهای کبد را با مکانیزم افزایش نفوذپذیری و دوام آن^۵ و طبیعت آب‌دوست هیالارونیک اسید افزایش می‌دهد. رهایش دارو با خواص حساس به pH هیدروکسی‌آپاتیت تسهیل می‌شود [۳۴].

¹ clindamycin
² osteointegration

³ paclitaxel

⁴ hyaluronic acid (HA)

⁵ enhanced permeability and retention effect (EPR effect)



شکل ۲- (a) ساختار سیستم مورد استفاده برای دارورسانی (b) مکانیزم رسانش دارو به هسته و میتوکندری [۳۴]

(ب) نانوذرات مغناطیسی با پوشش هیدروکسی آپاتیت:

یکی از مهم‌ترین ساختارهای هسته پوسته شامل هیدروکسی آپاتیت را ذرات مغناطیسی با پوسته هیدروکسی آپاتیت تشکیل می‌دهد. نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن وقتی به اندازه‌ای بسیار کوچک (زیر ده نانومتر) ساخته شوند، دارای خاصیت سوپراپارامغناطیسی خواهند شد. بدین معنی که هر ذره شامل یک حوزه مغناطیسی می‌باشد. این ذرات در حضور میدان خارجی خاصیت مغناطیسی داشته و با حذف آن این خاصیت را از دست می‌دهند و بعد از حذف میدان خارجی هیچ هیستریزس باقی مانده‌ای نخواهند داشت. این ویژگی مانع آگلومره شدن این ذرات شده و باعث تفوق این نانوذرات نسبت به سایر نانوذرات مغناطیسی می‌گردد. این ذرات در حوزه زیستی دارای کاربردهای منحصر به فردی هستند. ماده مورد استفاده در دارورسانی و ژن‌رسانی، ماده مورد استفاده برای افزایش کنتراست تصاویر حاصل از تصویربرداری رزونانس مغناطیسی^۱ و نیز استفاده در هایپرترمی سلول‌های سرطانی از جمله این کاربردها است. با این حال موانعی مانند دسترسی ضعیف به سلول هدف، ایمنی‌زایی^۲ ناخواسته بر سر راه کاربرد این ذرات وجود دارد. پوشش‌دهی سطح آن‌ها یکی از پربازده‌ترین روش‌ها برای رفع این چالش‌ها است و هیدروکسی آپاتیت یکی از بهترین گزینه‌ها برای ایجاد پوشش و تهیه ساختار هسته-پوسته است. این ترکیب جز معدنی اصلی استخوان بوده و تاثیر این ذرات در از بین بردن [۳۵] و ممانعت از تکثیر سلول‌های سرطانی شناخته شده است. بهبود خواص ذرات مغناطیسی چون افزایش پایداری، تجزیه زیستی و مقابله با سمیت آنها از دیگر محاسن پوشش‌دهی سطوح ذرات مغناطیسی توسط این ترکیب است. هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی برای درمان سرطان استخوان با روش القای مغناطیسی هایپرترمی و بهبود تشکیل استخوان استفاده می‌شود [۳۶]. به علاوه این ترکیب باعث افزایش فعالیت استئوبلاستی می‌شود [۳۷]. روش‌های متعددی برای تهیه این ساختار استفاده شده است. سل-ژل یکی از روش‌های تهیه این ساختارها است و انجام واکنش‌ها در دمای پایین و ارزان بودن از ویژگی‌های مثبت این روش است. از سوی دیگر زمان طولانی این فرایند مانعی برای صنعتی شدن این روش است. ذرات تهیه شده با این روش برای بلوری شدن نیاز به عملیات حرارتی دارند [۳۵]. روش خشک کردن پاششی روشی با صرفه اقتصادی برای تهیه پوشش روی ذرات مغناطیسی است [۳۶]. در این روش ذرات مغناطیسی به محلول نترات کلسیم افزوده شدند و سپس محلول دی آمونیوم هیدروژن فسفات به سوسپانسیون اضافه شد و با تنظیم pH شرایط رسوب هیدروکسی آپاتیت روی نانوذرات مغناطیسی فراهم شده و سوسپانسیون بعد از پیرسازی با خشک کن پاششی خشک شد. نتایج آنالیزها تشکیل ساختار هسته پوسته آپاتیت و نانوذرات مغناطیسی را تأیید کردند [۳۶].

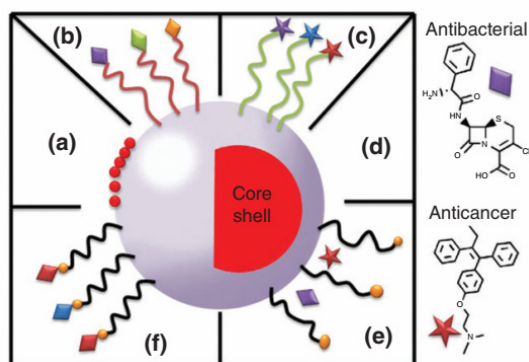
¹ magnetic resonance imaging (MRI)

² immunogenicity

در تهیه این ساختار باید به این موضوع دقت کرد که ایجاد پوسته سرامیکی می‌تواند خاصیت هسته را از سوپرپارا مغناطیس به پارامغناطیس تغییر دهد. این ساختار در ساخت داربست‌های استخوانی مغناطیسی استفاده شده است. در آسیب‌دیدگی‌های با سطح زیاد محکم کردن داربست در محل آن یکی از چالش‌های این مواد محسوب می‌شود. در این حالت می‌توان داربست را با پین‌های مغناطیسی در محل خود محکم کرد تا از تغییر مکان‌های میکرومتری جلوگیری شود. تحقیقات نشان داده که این ترکیب سرعت تشکیل دوباره بافت را افزایش می‌دهند [۳۷]. علاوه بر تمام موارد ذکر شده گاهی از ترکیبی از این ساختارها در اهداف دارورسانی استفاده می‌شود. برای مثال از کامپوزیت تشکیل شده از نانوذرات مغناطیسی هیدروکسی آپاتیت و پلیمر کلاژن در ساخت داربست استخوانی استفاده شده است [۳۷].

۳- اتصال دارو به هیدروکسی آپاتیت

اتصال دارو به سطح نانوذرات می‌تواند با ایجاد پیوند کوالانسی یا پیوندهای فیزیکی انجام شود (شکل ۳). برای ایجاد پیوند کوالانسی مولکول‌های دارو باید مستقیماً با گروه‌های هیدروکسیل یا آمینواسید پلیمرهای پوشش داده شده روی سطح هیدروکسی آپاتیت پیوند برقرار کنند. علاوه بر این می‌توان با استفاده از گروه‌های پیوندی بین دارو و نانوذرات اتصال ایجاد کرد. در این روش علاوه بر افزایش ظرفیت بارگیری دارو پیوندهای ویژه بیشتری ایجاد شده و عملکرد دارو حفظ شده و بازده آن افزایش می‌یابد. ایجاد پیوند فیزیکی با نیروهای واندروالس، آب‌گریزی و آب‌دوستی نیز می‌تواند باعث اتصال دارو به زمینه شوند. جدول ۲ چند مورد از انواع داروهایی که نوع اتصالشان به سطح هیدروکسی آپاتیت بررسی شده است را نشان می‌دهد [۳۸].



شکل ۳- الف) پوشش سطح هیدروکسی آپاتیت با نانوذرات، ب) برهمکنش فیزیکی آنتی بیوتیک‌ها،

ج) برهمکنش فیزیکی داروهای ضد سرطان د) ساختار هسته-پوسته مغناطیسی، ه) اتصال غیر کوالانسی، و) اتصال کوالانسی داروها [۳۸]

جدول ۲- نوع اتصال داروهای مختلف بر روی هیدروکسی آپاتیت [۳۸]

نام داروی مورد بررسی	نوع اتصال	نوع هیدروکسی آپاتیت مورد استفاده
دوکسوروبیسین ^۱	پیوند کوالانسی	هیدروکسی آپاتیت مزوپو
رالوکسیفن ^۲	پیوند کوالانسی	هیدروکسی آپاتیت پوشش داده شده با تری اتوکسی سیلان
افلوکساسین ^۳	پیوند کوالانسی	کامپوزیت با سیکلودکسترین ^۴
ایبوپروفن	پیوند هیدروژنی	هیدروکسی آپاتیت
سدیم آمپوسیلین	واندروالس	هیدروکسی آپاتیت
وانکومیسین ^۵		هیدروکسی آپاتیت و هیدروکسی آپاتیت پوشش داده شده با PCL

¹ Doxorubicin (DOX)

² Raloxifene

³ Ofloxacin

⁴ β -cyclodextrin (β -CD)

⁵ Vancomycin

۴- نتیجه گیری

بررسی مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد هیدروکسی آپاتیت در دارورسانی هدفمند نشان داد که این ترکیب با داشتن خواص مناسب برای کاربرد در دارورسانی به بخش‌های استخوانی و نیز سلول‌های سرطانی بسیار مناسب است. برای غلبه بر برخی محدودیت‌های این ماده از تغییر ساختار آن با وارد کردن عناصر مختلف به ساختار و نیز استفاده از آن به صورت کامپوزیت استفاده می‌شود. وارد کردن عناصر مختلف به ساختار هیدروکسی آپاتیت علاوه بر تغییر برخی خواص آن می‌تواند خواص جدیدی نظیر فوتولومینسانس بودن و مغناطیسی بودن را به آن ببخشد. مطالعات مختلف بر روی انواع کامپوزیت‌ها با ساختارهای مختلف قابلیت کاربرد این ماده در این حوزه را تأیید می‌کند. چالش‌های پیش رو در این کاربرد هم وجود دارد که از جمله آن می‌توان محدودیت بارگذاری داروهای محلول در آب بر روی هیدروکسی آپاتیت را نام برد.

مراجع

- [1] Habraken W, Habibovic P, Epple M, Bohner M. "Calcium phosphates in biomedical applications: materials for the future?". *Materials Today*, Vol. 19, pp. 69-87, 2016.
- [2] Thomas S C, Harshita, Mishra P K, Talegaonkar S. "Ceramic Nanoparticles: Fabrication Methods and Applications in Drug Delivery". *Current pharmaceutical design*, Vol. 21, pp. 6165-88, 2015.
- [3] Xu J, Xu P, Li Z-G, Huang J, Yang Z. Oxidative stress and apoptosis induced by hydroxyapatite nanoparticles in C6 cells 2012.
- [4] Ferraz M P, Mateus A Y, Sousa J C, Monteiro F J. "Nanohydroxyapatite microspheres as delivery system for antibiotics: release kinetics, antimicrobial activity, and interaction with osteoblasts". *Journal of biomedical materials research Part A*, Vol. 81, pp. 994-1004, 2007.
- [5] Kundu B, Ghosh D, Sinha M K, Sen P S, Balla V K, Das N, et al. "Doxorubicin-intercalated nano-hydroxyapatite drug-delivery system for liver cancer: An animal model". *Ceramics International*, Vol. 39, pp. 9557-66, 2013.
- [6] Rogers-Foy J M, Powers D L, Brosnan D A, Barefoot S F, Friedman R J, LaBerge M. "Hydroxyapatite composites designed for antibiotic drug delivery and bone reconstruction: a caprine model". *Journal of investigative surgery : the official journal of the Academy of Surgical Research*, Vol. 12, pp. 263-75, 1999.
- [7] Chu M, Liu G. Preparation and characterization of hydroxyapatite/liposome core-shell nanocomposites 2005.
- [8] Asjadi F, Salahi E, Mobasherpour I. "Removal of Reactive Red 141 Dye from Aqueous Solution by Titanium Hydroxyapatite Pellets". *Journal of Dispersion Science and Technology*, Vol. 37, pp. 14-22, 2016.
- [9] Asjadi F, Salahi E, Mobasherpour I. "Titanium and Fluoride Co-substitution in Hydroxyl Apatite ". *Advanced Ceramics Progress*, Vol. 1, pp. 18-23, 2015.
- [10] Kramer E, Itzkowitz E, Wei M. "Synthesis and characterization of cobalt-substituted hydroxyapatite powders". *Ceramics International*, Vol. 40, pp. 13471-80, 2014.
- [11] Tudorache F, Petrila I, Popa K, Catargiu A M. "Electrical properties and humidity sensor characteristics of lead hydroxyapatite material". *Applied Surface Science*, Vol. 303, pp. 175-9, 2014.
- [12] Bigi A, Boanini E, Capuccini C, Gazzano M. "Strontium-substituted hydroxyapatite nanocrystals". *Inorganica Chimica Acta*, Vol. 360, pp. 1009-16, 2007.
- [13] Hu W, Ma J, Wang J, Zhang S. "Fine structure study on low concentration zinc substituted hydroxyapatite nanoparticles". *Materials Science and Engineering: C*, Vol. 32, pp. 2404-10, 2012.
- [14] Klemme S, John T, Wessels M, Kusebauch C, Berndt J, Rohrbach A, et al. "Synthesis of trace element bearing single crystals of Chlor-Apatite (Ca₅(PO₄)₃Cl) using the flux growth method". *Chemistry Central Journal*, Vol. 7, pp. 56-, 2013.
- [15] Luo Y, Hughes J M, Rakovan J, Pan Y. "Site preference of U and Th in Cl, F, and Sr apatites". *American Mineralogist*, Vol. 94, pp. 345-51, 2009.
- [16] Yang P, Quan Z, Li C, Kang X, Lian H, Lin J. "Bioactive, luminescent and mesoporous europium-doped hydroxyapatite as a drug carrier". *Biomaterials*, Vol. 29, pp. 4341-7, 2008.
- [17] Niu N, Wang D, Huang S, Li C, He F, Gai S, et al. "Controlled synthesis of luminescent F-substituted strontium hydroxyapatite with hierarchical structures for drug delivery". *CrystEngComm*, Vol. 14, pp. 1744-52, 2012.
- [18] Chen F, Huang P, Zhu Y J, Wu J, Cui D X. "Multifunctional Eu³⁺/Gd³⁺ dual-doped calcium phosphate vesicle-like nanospheres for sustained drug release and imaging". *Biomaterials*, Vol. 33, pp. 6447-55, 2012.
- [19] Chandra V S, Baskar G, Suganthi R V, Elayaraja K, Joshy M I, Beaula W S, et al. "Blood compatibility of iron-doped nanosize hydroxyapatite and its drug release". *ACS applied materials & interfaces*, Vol. 4, pp. 1200-10, 2012.
- [20] Pramod N J, Pramod P J, Sambhaji R B. "Synthesis, characterization and in vitro drug delivery of nanostructured Fe-doped hydroxyapatite bioceramics". *Der Chemica Sinica*, Vol. 6, pp. 28-36, 2015.
- [21] Victor S P, Paul W, Vineeth V M, Komeri R, Jayabalan M, Sharma C P. "Neodymium doped hydroxyapatite theranostic nanoplatforams for colon specific drug delivery applications". *Colloids and surfaces B*,

- Biointerfaces, Vol. 145, pp. 539-47, 2016.
- [22] Kim H, Mondal S, Bharathiraja S, Manivasagan P, Moorthy M S, Oh J. "Optimized Zn-doped hydroxyapatite/doxorubicin bioceramics system for efficient drug delivery and tissue engineering application". *Ceramics International*, Vol. 44, pp. 6062-71, 2018.
- [23] Dubnika A, Loca D, Rudovica V, Parekh M B, Berzina-Cimdina L. "Functionalized silver doped hydroxyapatite scaffolds for controlled simultaneous silver ion and drug delivery". *Ceramics International*, Vol. 43, pp. 3698-705, 2017.
- [24] Manna A, Pramanik S, Abu osman N A. "Synthesis and Morphological and Frequency Dependent Electrical Characterizations on Hydroxyapatite-Poly(Ethylene Glycol)-Polyvinyl Alcohol Co-Polymer Core-Shell Nanoparticles as Improved Drug Carrier". *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, Vol. 4, pp. 119-26, 2016.
- [25] Krisanapiboon A, Buranapanitkit B, Oungbho K. "Biocompatibility of hydroxyapatite composite as a local drug delivery system". *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)*, Vol. 14, pp. 315-8, 2006.
- [26] Kim H-W, Knowles J C, Kim H-E. "Hydroxyapatite/poly(ϵ -caprolactone) composite coatings on hydroxyapatite porous bone scaffold for drug delivery". *Biomaterials*, Vol. 25, pp. 1279-87, 2004.
- [27] Li X, Chen X, Li S, Peng Z. "Synthesis and characterization of core-shell hydroxyapatite/chitosan biocomposite nanospheres". *Journal of Wuhan University of Technology-Mater Sci Ed*, Vol. 25, pp. 252-6, 2010.
- [28] Padmanabhan V P, Kulandaivelu R, Nellaiappan S N T S. "New core-shell hydroxyapatite/Gum-Acacia nanocomposites for drug delivery and tissue engineering applications". *Materials Science and Engineering: C*, Vol. 92, pp. 685-93, 2018.
- [29] Liang Y-H, Liu C-H, Liao S-H, Lin Y-Y, Tang H-W, Liu S-Y, et al. Co-Synthesis of Cargo-Loaded Hydroxyapatite/Alginate Core-Shell Nanoparticles (HAP@Alg) as pH-Responsive Nanovehicles by a Pre-gel Method 2012.
- [30] Vukomanović M, Zavašnik-Bergant T, Bračko I, Škapin S D, Ignjatović N, Radmilović V, et al. "Poly(d,l-lactide-co-glycolide)/hydroxyapatite core-shell nanospheres. Part 3: Properties of hydroxyapatite nano-rods and investigation of a distribution of the drug within the composite". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 87, pp. 226-35, 2011.
- [31] Neumeier M, Hails L A, Davis S A, Mann S, Epple M. "Synthesis of fluorescent core-shell hydroxyapatite nanoparticles". *Journal of Materials Chemistry*, Vol. 21, pp. 1250-4, 2011.
- [32] Venkatasubbu G D, Ramasamy S, Avadhani G S, Ramakrishnan V, Kumar J. "Surface modification and paclitaxel drug delivery of folic acid modified polyethylene glycol functionalized hydroxyapatite nanoparticles". *Powder Technology*, Vol. 235, pp. 437-42, 2013.
- [33] Hwang S-J, Lee J-S, Ryu T-K, Kang R-H, Jeong K-Y, Jun D-R, et al. "Alendronate-modified hydroxyapatite nanoparticles for bone-specific dual delivery of drug and bone mineral". *Macromolecular Research*, Vol. 24, pp. 623-8, 2016.
- [34] Xiong H, Du S, Ni J, Zhou J, Yao J. "Mitochondria and nuclei dual-targeted heterogeneous hydroxyapatite nanoparticles for enhancing therapeutic efficacy of doxorubicin". *Biomaterials*, Vol. 94, pp. 70-83, 2016.
- [35] Yusoff A H M, Salimi M N, Jamlos M F. "Synthesis of Superparamagnetic Hydroxyapatite Core-Shell Nanostructure by a Rapid Sol-Gel Route". *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, Vol. 15, pp. 121-6, 2017.
- [36] Donadel K, Felisberto M D, Laranjeira M C. "Preparation and characterization of hydroxyapatite-coated iron oxide particles by spray-drying technique". *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, Vol. 81, pp. 179-86, 2009.
- [37] Mondal S, Manivasagan P, Bharathiraja S, Santha Moorthy M, Kim H H, Seo H, et al. "Magnetic hydroxyapatite: a promising multifunctional platform for nanomedicine application". *International journal of nanomedicine*, Vol. 12, pp. 8389-410, 2017.
- [38] Mondal S, Dorozhkin S V, Pal U. "Recent progress on fabrication and drug delivery applications of nanostructured hydroxyapatite". *Wiley interdisciplinary reviews Nanomedicine and nanobiotechnology*, Vol. 10, pp. e1504, 2018.



مهندس میلاد انگورج تقوی، نویسنده‌ی اول مقاله، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده مواد و صنایع

Milad.a.taghavi133@gmail.com

مروری بر نانوالیاف کامپوزیتی پلیمر/سرامیک زیستی الکترورسی شده جهت ترمیم بافت استخوان

میلاد انگورج تقوی^۱، سید محمود ربیعی^۲، محسن جهانشاهی^۳، فاطمه نصیری^۴

^۱ کارشناسی ارشد مواد و متالورژی، دانشکده مواد و صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

^۲ دانشیار دانشکده مواد و صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

^۳ استاد دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

^۴ دکترای مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

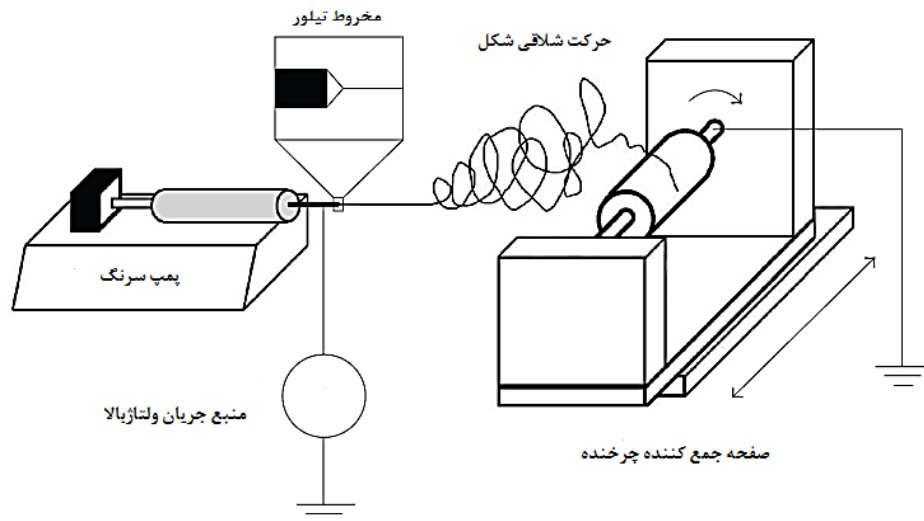
چکیده: در سال‌های اخیر تولید نانوالیاف با بهره‌گیری از روش الکترورسی توجه بسیاری از مجامع علمی را برای ترمیم و بازسازی دائمی بافت استخوان بدون حضور ایمپلنت به خود جلب کرده است. با توجه به ساختار استخوان طبیعی که تلفیقی از خاصیت انعطاف پذیری و استحکام است استفاده از بایومواد کامپوزیتی پلیمر-سرامیک داریستی مناسب برای بهبود و بازسازی بافت استخوان است. طیف وسیعی از مواد زیستی از جمله پلیمرهای طبیعی- سنتزی، سرامیک‌های معدنی، شیشه‌های زیستی و شیشه سرامیک‌ها برای ترمیم بافت استخوان وجود دارد که ادغام آنها به صورت کامپوزیتی نتایج مطلوبی را به همراه دارد. **کلمات کلیدی:** نانو الیاف، الکترورسی، بایومواد، مهندسی بافت استخوان.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر نانوالیاف در صنعت پزشکی پتانسیل بالایی را به خود اختصاص داده است به گونه‌ای که حدود ۲/۳ کاربرد نانوالیاف در صنعت پزشکی برای ترمیم و بهبود بافت‌های آسیب دیده و یا از دست رفته می‌باشد [۱]. در مهندسی بافت نیاز به طراحی یک داربست سه بعدی متخلخل و بهم پیوسته، زیست سازگار، زیست تخریب پذیر و غیرسمی است که بتواند شرایط افزایش چسبندگی سلول‌ها، مهاجرت سلولی، تکثیر، تمایز و در نهایت رشد و جایگزینی بافت جدید را فراهم بکند [۲،۳]. ساختمان طبیعی استخوان تلفیقی از پلیمر و سرامیک می‌باشد لذا کامپوزیت سرامیک- پلیمر داربست ایده آل برای مهندسی بافت استخوان است. استفاده از روش الکترورسی برای ساخت داربست با اهداف مهندسی بافت به دلیل ساده و ارزان بودن فرایند، انعطاف پذیری بالا (اندازه حفرات و قطر الیاف برای تکثیر سلول قابل تغییر) و قابلیت صنعتی سازی توجه بیشتری را برای تحقیقات به خود اختصاص داده است [۴،۵]. به همین منظور در این مقاله به ارائه مروری بر مطالعات انجام شده بر نانوالیاف کامپوزیتی پلیمر-سرامیک زیستی الکترورسی شده در جهت ترمیم بافت استخوان پرداخته شده است.

۲- دستگاه الکترورسی

دستگاه الکترورسی به طور ساده شامل سرنگ متصل به پمپ، سوزن، صفحه جمع کننده و منبع جریان ولتاژ بالا است [۶]. هنگامی که به پیستون سرنگ نیرو وارد می‌شود سیال داخل سرنگ از درون سوزن حرکت کرده و میدان الکتریکی حاصل از منبع ولتاژ بالا بین نوک سوزن و صفحه جمع کننده ایجاد می‌شود. هنگام افزایش ولتاژ نیروی دافعه بر کشش سطحی غلبه کرده سپس قطره‌ای کشیده به نام مخروط تیلور در نوک سوزن شکل گرفته و هم زمان تبخیر حلال صورت گرفته و جریانی پایدار به صورت چرخشی و شلاقی شکل به سمت صفحه جمع کننده حرکت می‌کند. در نهایت نانوالیاف بروی صفحه جمع کننده برجای می‌گردد [۶-۹].



شکل ۱- نمایی ساده از دستگاه الکتروروسی [۶]

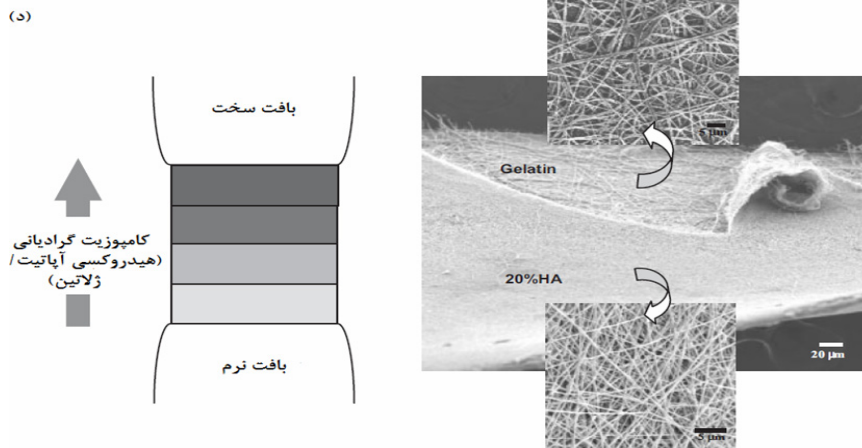
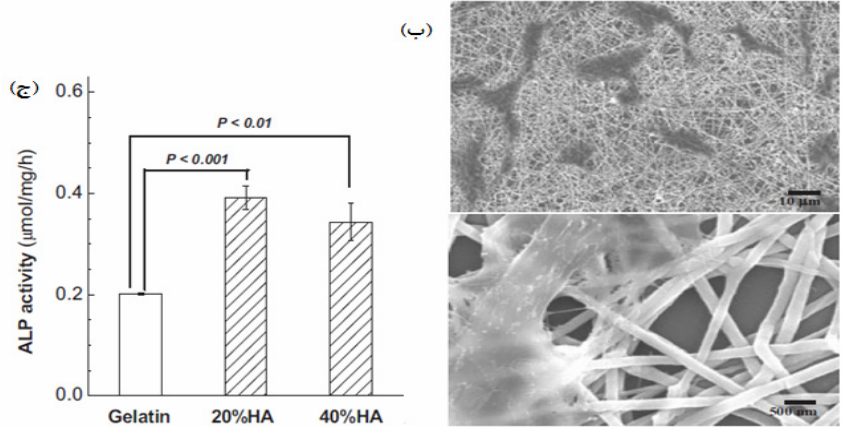
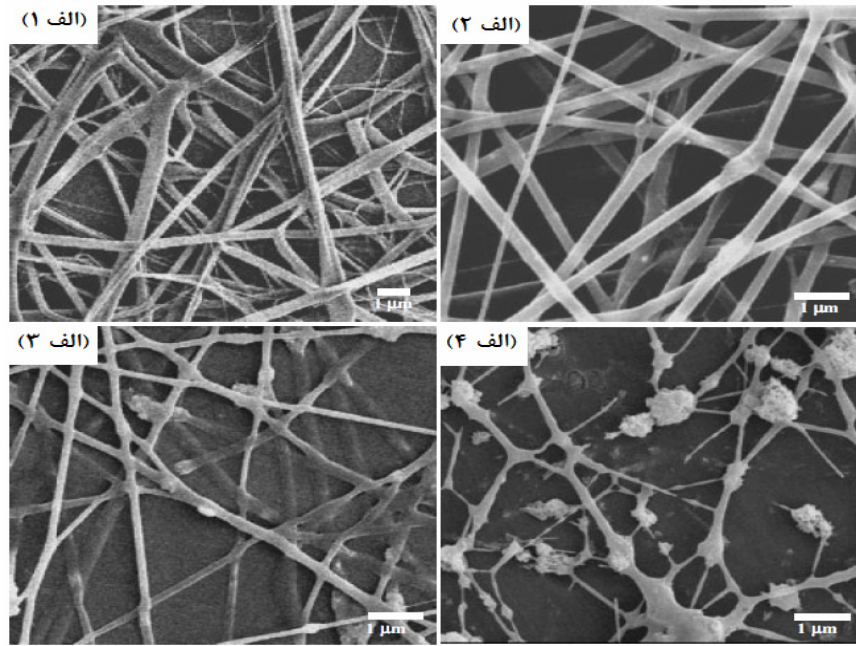
۳- مروری بر پژوهش‌های انجام شده با روش الکتروروسی برای ترمیم بافت استخوان

نانو الیاف کامپوزیتی به دلیل خواص زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری بالا و خواص مکانیکی مطلوب مشابه ماتریس خارج سلولی (ECM) عمل کرده و شرایط مناسب برای مهاجرت سلولی، چسبندگی، تکثیر و در نهایت رشد و جایگزینی بافت جدید را فراهم می‌کند. در این تحقیق به مطالعه مروری و پژوهش‌های صورت گرفته بر تعدادی از کامپوزیت‌های پلیمر-سرامیک پرداخته می‌شود.

۳-۱- ژلاتین / هیدروکسی آپاتیت

ژلاتین به دلیل زیست‌سازگاری بالا، زیست تخریب‌پذیری، افزایش چسبندگی، مهاجرت، تکثیر و تمایز سلولی به عنوان یک داربست مهندسی بافت استفاده می‌شود ولی خواص مکانیکی پایین ژلاتین کاربرد آن‌ها را در مهندسی بافت استخوان محدود می‌کند [۱۰-۱۲]. بایوسرامیک هیدروکسی آپاتیت بسیار شبیه به ساختار معدنی استخوان است و پیوند مستقیم با استخوان برقرار می‌سازد [۱۳، ۱۴]. کیم و همکاران در سال ۲۰۰۵ به مطالعه کامپوزیت ژلاتین/هیدروکسی آپاتیت پرداختند. داربست‌های نانولیفی مطلوبی را از طریق کامپوزیت ژلاتین/هیدروکسی آپاتیت در حلال مناسب ۱، ۱، ۱، ۳، ۳، ۳-هگزا فلورور-۲-پروپانول^۱ تهیه کردند. الکتروروسی موفق و نانوالیاف یکنواخت در کامپوزیت با غلظت ۲۰٪ هیدروکسی آپاتیت مشاهده کردند (شکل ۲-الف). همچنین در کامپوزیت با غلظت ۴۰٪ هیدروکسی آپاتیت، نانوالیاف یکنواخت ولی همراه با گره ظاهر شده است (شکل ۲-الف ۳). با افزایش غلظت هیدروکسی آپاتیت عدم یکنواختی و گره در ساختار نانوالیاف مشاهده شده است (شکل ۲-الف ۴). رشد مطلوب و گسترش سلول استخوانی به وضوح در شکل ۲-ب نشان داده شده است و فعالیت آکالین فسفاتاز (ALP) در الیاف کامپوزیتی ژلاتین/هیدروکسی آپاتیت در مقایسه با ژلاتین به مراتب بیشتر است و این افزایش در نانو کامپوزیت ۲۰٪ هیدروکسی آپاتیت بیش تر ظاهر شده است (شکل ۲-ج). پیشنهاد شد که از این کامپوزیت بتوان بعنوان کامپوزیت گرادینانی برای ترمیم بافت نرم/سخت به طور مثال در دندان استفاده کرد (شکل ۲-د) [۱۵].

^۱ 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanol (HFP)

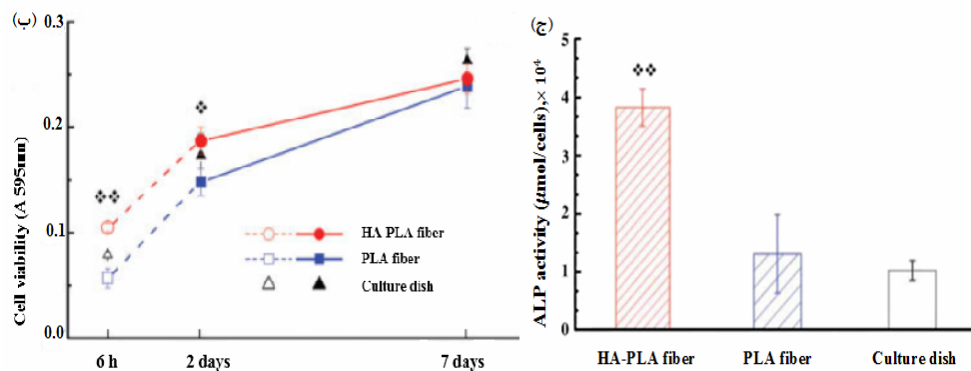
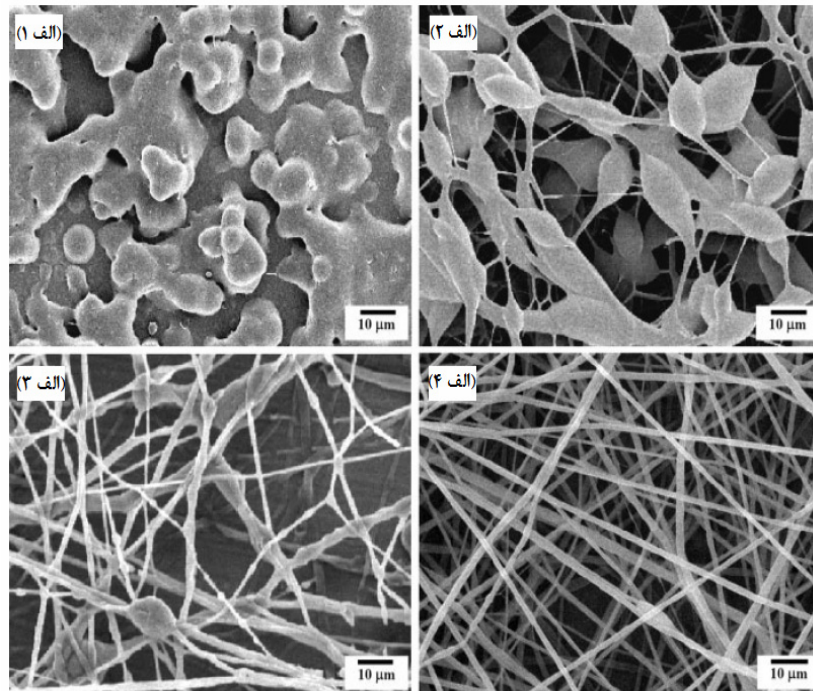


شکل ۲- (الف ۱-۴) میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)^۱ مورفولوژی الیاف کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت-ژلاتین الکترورسی شده: (الف) ژلاتین تنها، (الف ۲) ۲۰٪ هیدروکسی آپاتیت (الف ۳) ۴۰٪ هیدروکسی آپاتیت (الف ۴) ۶۰٪ هیدروکسی آپاتیت-ژلاتین. میکروگراف الکترونی رشد سلولی در نانوالیاف ۲۰٪ هیدروکسی آپاتیت بعد از ۳ روز کشت با دو مقیاس ۱۰ و ۵۰ میکرومتر (ب). فعالیت آلکالین فسفاتاز بعد از ۷ روز کشت (ج) تصویر و شماتیکی از کامپوزیت گرادینتی بین ژلاتین و هیدروکسی آپاتیت برای ترمیم بافت سخت/نرم (د) [۱۵].

¹ Field-emission SEM

۳-۲- پلی ال لاکتیک اسید^۱ / هیدروکسی آپاتیت

پلی ال لاکتیک اسید به دلیل زیست تخریب پذیری، زیست سازگاری و هدایت بازسازی استخوان توجه بسیار زیادی در حوزه پزشکی را به خود جلب کرده است [۱۶، ۱۷]. سال ۲۰۰۸ داربست کامپوزیتی پلی ال لاکتیک اسید/ هیدروکسی آپاتیت توسط کیم و همکاران تهیه شد. تصویر FESEM کامپوزیت PLLA-HA الکترورسی شده با استفاده از حلال مناسب (اتانول/ آب/ کلروفرم) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بیانگر این می باشد که هیدروکسی آپاتیت تجاری بدون HSA^۲ نانوالیاف تشکیل نمی دهد و صرفاً تعدادی مهره چند میکرون تشکیل شده است (شکل ۳-الف ۱). پودر هیدروکسی آپاتیت کلوخه شده^۳ مانع از یکنواخت شدن شروع جت و ازدیاد طول نانوالیاف شده است. در کامپوزیت با پودر سل ژل^۴ هیدروکسی آپاتیت بدون HSA شرایط بهتر شده ولی پودر به طور کامل همگن نیست (شکل ۳-الف ۲). از سوی دیگر، با واسطه ۱٪ HSA در پودر سل ژل، تغییر چشمگیر در مورفولوژی محصول الکترورسی حاصل گردید به نحوی که الیاف همگن مشاهده می شود (شکل ۳-الف ۳). با افزایش غلظت، الیاف مستمر با متوسط قطر یکنواخت ۱۰۰۰-۲۰۰۰ نانومتر مشاهده شد (شکل ۳-الف ۴).



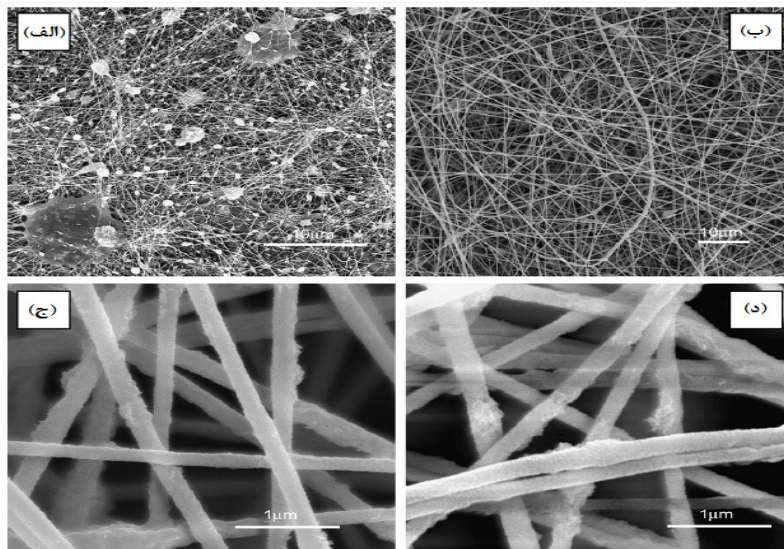
شکل ۳- (الف ۱-۳) تصویر SEM الیاف کامپوزیتی PLLA-HA الکترورسی شده تحت شرایط مختلف: (الف ۱) پودر تجاری HA بدون HSA، (الف ۲) پودر سل-ژل HA بدون HSA، (الف ۳) پودر سل-ژل HA با ۱٪ HSA، (ب) ارزیابی چسبندگی و رشد سلولی به روش MTT (ج) فعالیت آلکالین فسفاتاز بعد از ۷ روز کشت سلول [۱۸].

¹ Poly (lactic acid) (PLLA)
² hydroxyacetic acid (HSA)
³ agglomerated
⁴ Sol-gel

حیات سلول^۱ در روز ۷ برای نانوکامپوزیت PLLA-HA در مقایسه با PLLA بالاتر است (شکل ۳-ب). فعالیت ALP^۲ نانوالیاف کامپوزیت PLLA-HA نسبت به PLLA به طور چشمگیری بالاتر بوده ($p < 0.001$) و این به سبب حضور بایوسرامیک هیدروکسی آپاتیت است. در نتیجه این کامپوزیت نقش بسزایی در تحریک پاسخ سلولی استخوان^۳ و دوباره سازی استخوان دارد (شکل ۳-ج) [۱۸].

۳-۳- کیتوسان / هیدروکسی آپاتیت

کیتوسان پلیمری آبدوست و دارای خصوصیتی از جمله زیست سازگاری بالا، سمیت پایین، زیست تخریب پذیری، هدایت الکتریکی بالا و خواص ضد میکروبی قابل قبول است [۱۹-۲۲]. در سال ۲۰۰۸ زانگ و همکاران به تهیه ی داربست نانولیفی کیتوسان / هیدروکسی آپاتیت پرداختند. نانوالیاف کامپوزیت کیتوسان / هیدروکسی آپاتیت در حلال استیک اسید/دی متیل سولفو کسید با افزودن پلی اتیلن اکسید به منظور بهبود فرآیند الکتروریسی تهیه کردند. با مشاهده مورفولوژی FESEM نانوکامپوزیت کیتوسان / هیدروکسی آپاتیت به این نتیجه رسیدند که ریسندگی موفق در شکل (۴-ب) رخ داده است و این به دلیل وزن مولکولی فوق العاده بالا پلی اتیلن اکسید با وجود غلظت کم تر می باشد. نانوالیاف کامپوزیتی کیتوسان / هیدروکسی آپاتیت ممکن است به عنوان یک داربست مناسب برای بازسازی استخوان مفید باشد [۲۳].



شکل ۴- (الف) تصویر FESEM نانوالیاف کامپوزیتی الکتروریسی شده هیدروکسی آپاتیت-کیتوسان: با ۲۰٪ وزنی پلی اتیلن اکسید با وزن مولکولی متوسط (ب) ۱۰٪ وزنی با پلی اتیلن با درصد وزنی بالا در مقیاس کم (ج) در مقیاس بالاتر (د) بعد از قلیایی کردن [۲۳].

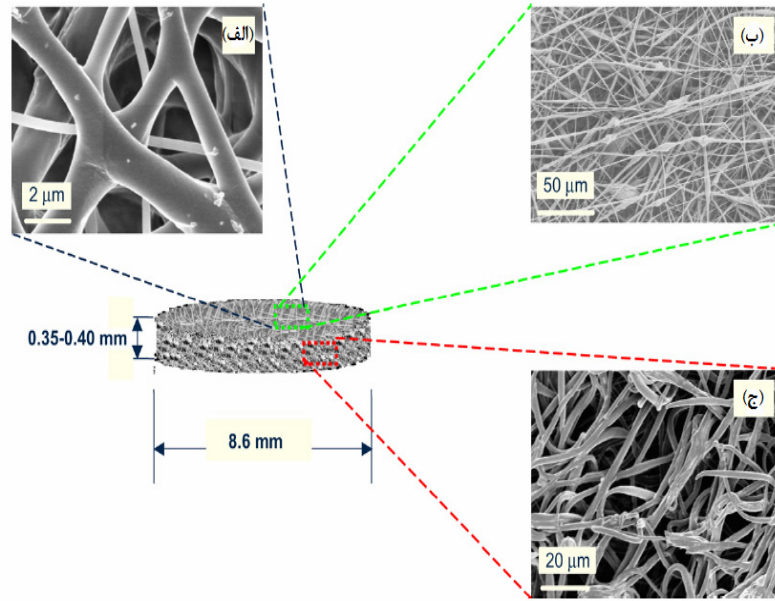
۳-۴- پلی کاپرولاکتون/بتا تری کلسیم فسفات

پلی کاپرولاکتون پلی استر آب گریز است که دارای انعطاف پذیری بالا، زیست سازگاری خوب، فرآیندپذیری ساده و آسان، نرخ زیست تخریب پذیری پایین و محصول حاصل از تخریب آن غیرسمی است [۲۴-۲۷]. بتاتری کلسیم فسفات همانند هیدروکسی آپاتیت دارای زیست سازگاری و قابلیت القاء استخوانی است [۲۸-۳۰]. اریسکن و همکاران کامپوزیت پلی کاپرولاکتون / بتاتری کلسیم فسفات بعنوان داربست با روش الکتروریسی مورد بررسی قرار دادند. نانوالیاف کامپوزیتی پلی کاپرولاکتون / بتاتری کلسیم فسفات با پارامتر نرخ جریان در حلال دی کلرومتان بدست آوردند. داربست کامپوزیتی سه بعدی متخلخل و بهم پیوسته با غلظت های متفاوت از بتاتری کلسیم فسفات و با جهت گیری تصادفی بدست آمده است (شکل ۵). این داربست خصوصاً در فصل مشترک استخوان-غضروف کاربرد دارد (شکل ۵) [۳۱]. در نانوالیاف نانوکامپوزیت پلی کاپرولاکتون / بتاتری کلسیم فسفات انتظار می رود اندازه تخلخل، میزان تخلخل و جذب آب داربست افزایش پیدا کند [۳۲، ۳۳].

¹ Cell viability

² Alkaline phosphatase (ALP) activity

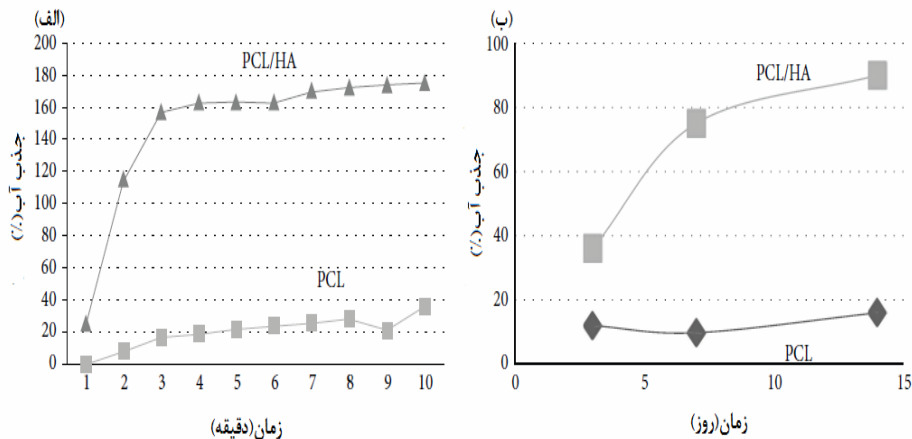
³ Bone cell response



شکل ۵- تصویر SEM الیاف الکتروریسی شده کامپوزیت پلی کاپرولاکتون/بتاتری کلسیم فسفات [۳۱].

۳-۵- پلی کاپرولاکتون/هیدروکسی آپاتیت

حسن و همکاران در سال ۲۰۱۴، در طی فرآیند الکتروریسی اختلاط هیدروکسی آپاتیت به پلی کاپرولاکتون مورد مطالعه قرار دادند. در غلظت کم تر پلی کاپرولاکتون، متوسط قطر الیاف به صورت نانومتر و همراه با گره بوده ولی در غلظت بالا پلی کاپرولاکتون، متوسط قطر الیاف به صورت میکرومتر، صاف و هموار بوده است. نانوالیاف الکتروریسی شده کامپوزیت پلی کاپرولاکتون/هیدروکسی آپاتیت در حلال مناسب کلروفورم/ متانول بدست آمد. در شکل (۶) جذب آب در لیف PCL و الیاف PCL-HA در فواصل زمانی مختلف پس از غوطه ور کردن در (الف) آب مقطر و (ب) SBF نشان داده شده است. در هر دو شکل جذب آب لیف پلی کاپرولاکتون، در فاصله زمانی مشخص با کاهش روبرو شده و این به سبب خاصیت آب‌گریزی پلی کاپرولاکتون می‌باشد. ولی آنچه در هر دو شکل مشخص است میزان آبدوستی کامپوزیت نانولیفی PCL-HA از PCL به وضوح بالاتر است و این به دلیل خاصیت آبدوستی بالا فاز کلسیم‌فسفاتی است که با PCL اختلاط شده است. ترشوندگی نانوالیاف با استفاده از زاویه تماس تعیین شد. اختلاط HA با PCL با توجه به خاصیت آبدوستی HA آن موجب کاهش زاویه تماس در نانوالیاف کامپوزیت شده است و این کاهش زاویه تماس در غلظت‌های بالای PCL و HA بیش تر نمایان شده است (جدول ۲-۴)[۳۴]. کاهش در زاویه تماس و افزایش آبدوستی می‌تواند محیط مساعد برای زیست‌تخریب‌پذیری و افزایش توانایی جذب آب نانوالیاف کامپوزیتی PCL-HA را برای رشد سلول‌های استخوانی فراهم کند.



شکل ۶- جذب آب الیاف PCL و PCL-HA در بازه زمانی مختلف پس از غوطه ور کردن (الف) آب مقطر (ب) مایع شبیه‌سازی شده بدن [۳۴].

جدول ۱- اندازه‌گیری زاویه تماس از الیاف PCL و PCL-HA با غلظت مختلف [۳۴].

Composition	0%HA/7.5% PCL	10%HA/7.5% PCL	20%HA/7.5% PCL	0%HA/12.5% PCL	10%HA/12.5% PCL	20%HA/12.5% PCL
Contact angle	127.3 ± 2.4	112.7 ± 3.1	106.3 ± 4.5	120.5 ± 2.2	115.1 ± 4.1	93.7 ± 3.6

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به ارائه مروری بر تولید نانو الیاف نانو کامپوزیتی پلیمر-سرامیک به روش الکترووریسی پرداخته شد. با توجه به خواص زیست سازگاری بالا، زیست تخریب پذیری، سطح تخلخل بالا و خواص مکانیکی مطلوب داربست های نانو کامپوزیتی آزمایشاتی به منظور بررسی مورفولوژی داربست ها، میزان جذب آب، فعالیت ALP صورت گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که کامپوزیت های پلیمر-سرامیک با توجه به مورفولوژی و خواص بیولوژیک مناسب می‌توانند داربست های مناسبی برای اهداف مهندسی بافت استخوان باشند.

مراجع

- [1] Lanza R., Langer R., Vacanti J. "Principles of Tissue Engineering, 3rd ed. Academic Press". San Diego. Bailey, AE, 1979.
- [2] Hollister, S. J. "Porous scaffold design for tissue engineering, Nature materials". Vol. 4, PP. 518-524, 2005.
- [3] Chen SS, Fitzgerald W, Zimmerberg J, Kleinman HK. "Cell-cell and cell-extracellular matrix interaction regulate embryonic". Stem cell. Vol. 25, PP.553-661, 2007.
- [4] Gunatillake AP, Adhikari R. "Biodegradable synthetic polymers for tissue engineering". European Cells and Material. Vol.5, PP.1-16, 2003.
- [5] Z.M.Huang, Y.Z.Zhang, M.Kotaksi, S.Ramakrishna. "A review on polymer Nanofibers by electrospinning & their application in Nano composites." Composites Science and Technology. Vol.63, PP.2223-2253, 2003.
- [6] Liu H, Ding X, Zhou G, Li P, Wei X, Fan Y. "Electrospinning of Nanofibers for Tissue Engineering Applications". Journal of Nanomaterials. Vol.2013, PP. 1-11, 2013.
- [7] Beachley V, Wen X. "Polymer nanofibrous structures: Fabrication, biofunctionalization, and cell interactions". Progress in Polymer Science. Vol. 35, PP. 868-892, 2010.
- [8] Bhardwaj N, Kundu SC. "Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique Biotechnology". Advances. Vol.28, PP. 325-347, 2012.
- [9] Xie J, Li X, Xia Y. "Putting electrospun nanofibers to work for biomedical research". Macromol, Rapid Commun. Vol. 29, PP. 1775-1792, 2008.
- [10] Babaei Z, Jahanshahi M, Rabiee SM. "The fabrication of nanocomposites via calcium phosphate formation on gelatin-chitosan network and the gelatin influence on the properties of biphasic composites". Materials Science and Engineering C. Vol. 33, PP. 370-375, 2013.
- [11] Thein-Han WW, Saikhun J, Pholpramoo C, Misra RD, Kitiyanant Y, Chitosan-gelatin scaffolds for tissue engineering: physicochemical properties and biological response of buffalo embryonic stem cells and transfectant of GFP-buffalo embryonic stem cells. Acta biomaterialia. Vol. 5, PP. 3453-3466, 2009.
- [12] Lien S, Li W, Huang T. "Genipin cross linked gelatin scaffolds for articular cartilage tissue engineering with a novel crosslinking method". Mater. Sci. Eng. C. Vol. 28, PP. 36-43, 2008.
- [13] Rabiee SM, Moztafarzadeh F, Salimi-Kenari H, Solati-Hashjin M. "Preparation and properties of a porous calcium phosphate bone graft Substitute". Materials Science-Poland. Vol. 25, PP. 1019-1027, 2007.
- [14] Swetha M, Sahithi K, Moorthi A, Srinivasan N, Ramasamy K, Selvamurugan N. "Biocomposites containing natural polymers and hydroxyapatite for bone tissue engineering". Int. Journal. Biological Macromolecules. Vol. 47, PP. 1-4, 2010.
- [15] Kim HW, Song JH, Kim HE. "Nanofiber generation of gelatin-hydroxyapatite biomimetics for guided tissue regeneration. Advance". Function. Materials. Vol. 15, PP. 1988-1994, 2005.
- [16] Badami AS, Kreke MR, Thompson MS, Riffle JS, Goldstein AS. "Effect of fiber diameter on spreading, proliferation, and differentiation of osteoblastic cells on electrospun poly (lactic acid) substrates". Biomaterials. Vol. 27, PP. 596-606, 2006.
- [17] Chen J, Chu B, Hsiao BS. "Mineralization of hydroxyapatite in electrospun nanofibrous poly (L-lactic acid) scaffolds". Journal of Biomedical Materials Research, Part A. Vol. 79, PP. 307-317, 2006.

- [18] Kim HW, Lee HH, Knowles JC. "Electrospinning biomedical nanocomposite fibers of hydroxyapatite/ poly (lactic acid) for bone regeneration". *Journal of Biomedical Materials Research, Part A*. Vol. 79, PP. 643–649, 2006.
- [19] Nikpour MR, Rabiee SM, Jahanshahi M. "Synthesis and characterization of hydroxyapatite/chitisan nanocomposite materials for medical engineering application". *Composites: Part B*. Vol. 43, PP. 1881–1886, 2012.
- [20] Peter M, Ganesh N, Selvamurugan N, Nair SV, Furuike T, Tamura H, Jayakumar R. "Preparation and characterization of chitosan-gelatin/ nanohydroxyapatite composite scaffolds for tissue engineering applications". *Carbohydrate Polymers*. Vol. 80, PP. 687-694, 2009.
- [21] Peter M, Binulal NS, Nair SV, Selvamurugan N, Tamura H, Jayakumar R. "Novel biodegradable chitosan - gelatin/nano-bioactive glass ceramic composite scaffolds for alveolar bone tissue engineering". *Chemical Engineering Journal*. Vol. 158, PP. 353-361, 2012.
- [22] Zhang YZ, Su B, Ramakrishna S, Lim CT. "Chitosan nanofibers from an easily electrospinnable UHMWPEO-doped chitosan solution system". *Biomacromolecules*. Vol. 9, PP. 136–41, 2008.
- [23] Zhang Y, Venugopal JR, El-Turki A, Ramakrishna S, Su B, Lim CT. "Electrospun biomimetic nanocomposite nanofibers of hydroxyapatite/chitosan for bone tissue engineering". *Biomaterials*. Vol. 29, PP. 4314–4322, 2008.
- [24] Huang L, Nagapudi K, Apkarian RP, Chaikof EL. "Engineered collagen-PEO nanofibers and fabrics". *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*. Vol. 12, PP. 979-93, 2001.
- [25] Zhang C, Yuan X, Wu L, Han Y, Sheng J. "Study on morphology of electrospun poly (vinyl alcohol) mats. *European Polymer Journal*". Vol. 41, PP. 423–32, 2005.
- [26] Zhao ZZ, Li JQ, Yuan XY, Li X, Zhang YY, Sheng J. "Preparation and properties of electrospun poly (vinylidene fluoride) membranes". *Journal Applied Polymer Science*. Vol. 97, PP. 466-74, 2005.
- [27] Koski A, Yim K, Shivkumar S. "Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by Electrospinning". *Material Letter*. Vol. 58, PP. 493–7, 2004.
- [28] Marcho M. "Calcium phosphate ceramics as hard Tissue prosthetics". *Clinic Orthopaedic*. Vol. 157, PP. 259-278, 1981.
- [29] Yeo MG, Kim GH. "Preparation and Characterization of 3D Composite Scaffolds Based on Rapid-Prototyped PCL/ β -TCP Struts and Electrospun PCL Coated with Collagen and HA for Bone Regeneration". *Material*. Vol. 24 PP. 903–913, 2012.
- [30] Kim YB, Kim GH. "Rapid-prototyped collagen scaffolds reinforced with PCL/ β -TCP nanofibres to obtain high cell seeding efficiency and enhanced mechanical properties for bone tissue regeneration". *Journal of Materials Chemistry*. Vol. 22, PP. 16880–16889, 2012.
- [31] Erisken C, Kalyon DM, Wang H. Function-ally graded electrospun polycaprolactone and β -tricalcium phosphate nanocomposites for tissue engineering applications. *Biomaterials*. Vol. 29, PP. 4065–4073, 2008.
- [32] Zhou Y, Hutmacher DW, Varawan S, Lim TM. "In vitro bone engineering based on polycaprolactone and polycaprolactone–tricalcium phosphate composites". *Polymer International*. Vol. 56 PP. 333–342, 2007.
- [33] Maroof N, Karim Aghaloo F, Vahid Dastjerdi E, Nazarian H, Noje Dehiyan H. "Physicochemical evaluation of Chitosan-gelatin-Hydroxyapatite composite scaffold prepared by freeze drying". *Journal Dental School*. Vol. 29, PP. 385-393, 2012.
- [34] Hassan MI, Sultana N, Hamdan S. "Bioactivity Assessment of Poly (ϵ -caprolactone)/Hydroxyapatite Electrospun Fibers for Bone Tissue Engineering Application". *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2014, pp. 1-6, 2014.



دکتر صاحبعلی منافی،
نویسنده‌ی اول مقاله، دانشگاه
آزاد اسلامی، شاهرود

ali_manafi2005@yahoo.com

سنتز نانوپودرها با استفاده از تکنیک پلاسما

صاحبعلی منافی

گروه مهندسی مواد، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

چکیده: تنوع عظیمی از فرآیندهای پلاسمایی برای سنتز نانوپودرها وجود دارد که نسبت به دمای عملکرد که پارامتری ضروری برای ایجاد خواص در محصول است، دسته‌بندی می‌شوند. در نگاه صنعتی، بالاترین درجه در فرآیندهای دمای بالا تحت شرایط کاری محافظه یافت شده است. برای محصولاتی که خواص مناسبی دارند، فرآیندهای پلاسمایی میکروویو دمای پایین مناسب‌ترین روش است. به علاوه، این فرآیندها اجازه پوشش‌دهی ذرات محصول را حتی با فازهای آلی می‌دهد. دیگر فرآیندهایی مانند لیزر یا فرآیندهای شعله‌ای همراه با میدان الکتریکی، تا حدی پتانسیل بالا برای رشد اقتصادی را دارند. کلمات کلیدی: نانوذرات، فرآیندهای پلاسمایی، فرآیندهای RF، سنتز میکروویو، سنتز لیزری، ذرات پوشش‌داده‌شده، نانو تکنولوژی، تولید نانو.

۱- مقدمه

در این مقاله تلاش شده که توصیف منظمی از فرآیندهای پلاسمایی برای سنتز نانوپودرها صورت بگیرد. فرآیندهای پلاسمایی یکسری فرآیندهای گازی با مزایای ویژه هستند. مهمترین این مزایا، راندمان بالا نسبت به مصرف انرژی، انتخاب مناسب شرایط عملکردی و نیز توزیع اندازه ذرات بسیار باریک است. توزیع اندازه ذرات باریک به دلیل تشکیل ذرات در شرایط پلاسما به‌دست می‌آید. تعداد زیادی از فرآیندهای پلاسمایی توسعه پیدا کرده‌اند.

لانگمویر [۱] در سال ۱۹۲۸، فرآیند پلاسما را ثبت نمود. این فرآیند، حالت گازی ماده شامل ذرات باردار الکتریکی است که مجموع این بارها خنثی می‌باشد. ذرات باردار ممکن است الکترون‌ها، اتم‌ها یا مولکول‌های باردار و در مورد فرآیندهای سنتزی، نانوذرات باردار باشند. درجه یونیزه شدن، نسبت ذرات باردار به خنثی، می‌تواند بسیار کوچک باشد. به پلاسمایی که حاوی ذرات باشد "غبار پلاسمایی" گفته می‌شود. بنابراین، پلاسمایی که برای سنتز ذرات استفاده می‌شود، همیشه غباری است. برای گروه‌بندی فرآیندهای پلاسمایی، تفاوت بین پلاسمای تعادلی و غیر تعادلی ضروری است.

در پلاسمای تعادلی، انرژی همه ذرات باردار، اغلب دما نامیده می‌شود؛ در حالیکه در پلاسمای غیر تعادلی، الکترون‌ها بالاترین، یون‌های سنگین‌تر مقدار کمتر و ذرات خنثای الکتریکی کمترین انرژی را دارند. از نظر فرآیند سنتز پلاسمایی، این نقطه نیاز به بحث‌های جزئی‌تری دارد. فرآیندهای شعله‌ای به پلاسمایی با درجه یونیزاسیون کم و گاهی اوقات "پلاسمای نسبتاً کم دما" گفته می‌شود.

این مقاله، اولین مرور بر سنتز پلاسمایی نیست [۲-۸]. البته بر خلاف مقالات مروری قبلی، در این مقاله سعی شده که فرآیندهایی که تأثیر بر طراحی ابزار و شرایط عملکرد دارد، تشریح شود. نکته اصلی، شرایط رشد خود محدود کننده (self-limitating) ذرات است که منجر به تشکیل ذرات هم‌اندازه است. جدیدترین مطالب فنی را می‌توان در مقاله مروری و لاس (Vollath) و همکارانش یافت [۹].

۲- انتقال انرژی در پلاسما

میدان الکتریکی به ذرات باردار تبدیل می‌شود. ذراتی با بار Q و اختلاف پتانسیل الکتریکی V دارای انرژی می‌شوند:

$$E = QV \quad (1)$$

در میدان الکتریکی تناوبی با فرکانس f انرژی E به ذرات باردار با جرم m منتقل می‌شوند:

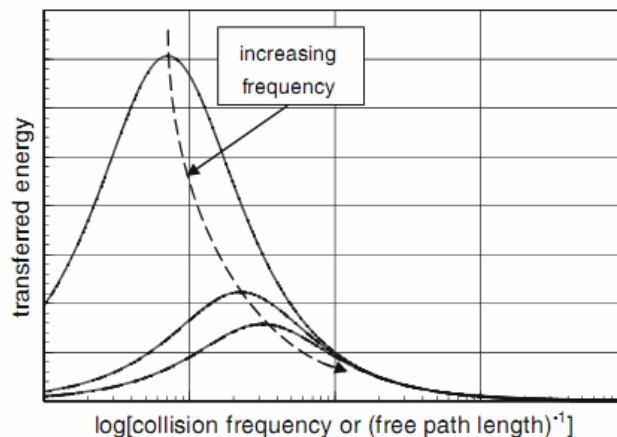
$$E \propto \frac{Q}{mf^2} \quad (2)$$

معادله (۲) بیان می‌کند که انرژی منتقل شده نسبت مستقیم با بار و نسبت عکس با جرم ذرات و مربع فرکانس دارد. این نتایج زمانی که جرم یون‌ها چند ده هزار برابر بزرگتر از الکترون‌ها باشد اهمیت دارد. همچنین، میدان الکتریکی متناوب انرژی بیشتری را به الکترون‌ها نسبت به یون‌ها و نانوذرات باردار، منتقل می‌نماید. اختلاف جرم اجزاء پلاسما موجب افزایش پلاسما غیر تعادلی حرارتی می‌گردد. بنابراین، دمای الکترون‌ها بسیار بیشتر از یون‌ها یا ذرات خنثی است. بالاخره، در پلاسما غیر تعادلی تعریف دما بی‌معنی است. دمای واکنش، مقداری متوسط دمایی است که در هنگام خروج از ناحیه پلاسما تعیین می‌شود. فرکانس در سیستم پلاسما از محدوده کیلوهرتز در فرکانس رادیویی (RF) تا گیگاهرتز در سیستم میکروویو نوسان دارد.

البته در پلاسما ذرات باردار ممکن نیست شانس به‌دست آوردن انرژی کامل پتانسیل الکتریکی را داشته باشند، به دلیل آنکه، آنها با ذرات دیگر پلاسما برخورد می‌کنند. بنابراین، انتقال انرژی بوسیله طول مسیر آزاد یا به عبارت دیگر، تعادل بوسیله فرکانس برخورد Z محدود می‌شود. فرکانس برخورد متناسب با فشار گاز است. انرژی منتقل شده در پلاسما عبارت برابر با [۱۰]:

$$E \propto \frac{Q}{m} \frac{z}{f^2 + z^2} \quad (3)$$

معادله (۳) نشان می‌دهد که کاهش انرژی بوسیله برخورد با دیگر ذرات خنثی، به ذرات باردار منتقل می‌شود. شکل ۱، ارتباط بین انرژی منتقل شده و فرکانس برخورد را نشان می‌دهد.



شکل ۱- انرژی منتقل شده در پلاسما به ذرات باردار با تابعی از فرکانس برخورد در گاز. با افزایش فرکانس میدان الکتریکی، ماکزیمم انتقال به فرکانس‌های بالاتر برخورد حرکت می‌کند.

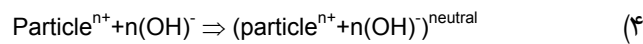
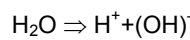
انرژی منتقل شده، زمانی که فرکانس میدان الکتریکی مساوی فرکانس برخورد باشد منتقل می‌شود. در فرکانس‌های برخورد بالا، تأثیر فرکانس میدان الکتریکی از بین می‌رود. به‌طور تجربی، این مورد در فشار بالا مشاهده می‌گردد. به عبارت دیگر، از زمانی که فرکانس برخورد کوچکتر از فرکانس میدان الکتریکی می‌شود، ذرات باردار حداکثر انرژی را از میدان الکتریکی به‌دست می‌آورند. بنابراین، سه مورد باید نسبت به فرکانس برخورد تشخیص داده شود:

- $z \ll f$: در این مورد، انرژی الکترون‌ها به اندازه کافی بالا است که ذرات تشکیل شده در پلاسما را یونیزه نماید. این شرایط در فشار گاز کم مشاهده شده است. همچنین در حفرات میکروویو تشدید شده که شدت میدان الکتریکی ممکن است بالای 10^3 Vcm^{-1} باشد، الکترون‌ها انرژی کافی برای یونیزه کردن ذرات به‌دست می‌آورند. چون امکان ترکیب الکترون‌های پرانرژی با ذرات با بار مثبت یونیزه کم است. به دلیل آنکه همه ذرات بار مثبت دارند، همدیگر را دفع می‌نمایند. این پدیده از تجمع ذرات جلوگیری می‌نماید [۱۱-۱۳].

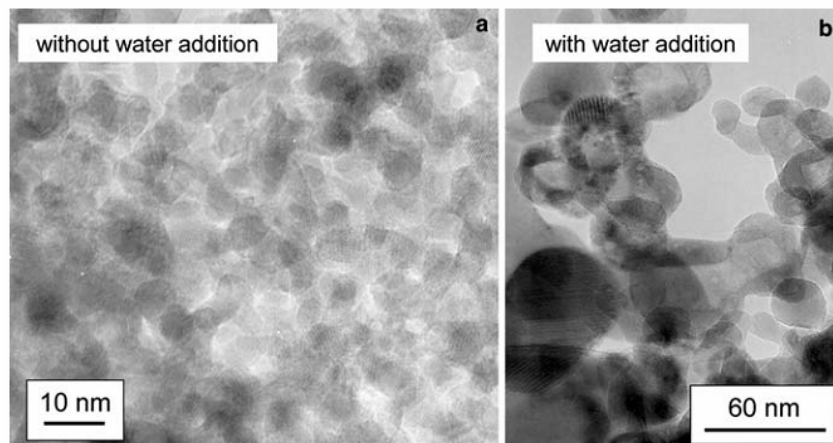
- $z \approx f$: این مورد میانی موجب می‌شود که ذرات هم بار مثبت و هم منفی داشته باشند. ذرات با بار مخالف همدیگر را جذب می‌نمایند و باعث تجمع ذرات می‌گردند.

- $z \gg f$: این شرایط انرژی الکترون‌ها را بالا می‌برد. انرژی الکترون‌ها به حدی کم است که موجب چسبیدن آنها به سطح ذرات می‌شوند. همه ذرات بار الکتریکی منفی دارند و از هم دفع می‌شوند. پدیده اندازه محدود (size-limiting) دوباره اتفاق می‌افتد [۱۴]. ماتسوئی (Matsui) [۱۵] با مدل محاسبه‌ای نشان داد که در این مورد انرژی الکترون‌ها کم و به اندازه 3 eV می‌باشد.

محدودیت‌های دقیق بین این سه مورد وابسته به فشار گاز، فرکانس و شدت میدان الکتریکی می‌باشد. نتایج تأثیر بار ذرات را بر تجمع آنها ثابت می‌نماید. شکل ۲ مقایسه بین دو نوع ذره پودر زیرکونیا که در پلاسمای میکروویو در فشار کم سنتز شده را نشان می‌دهد. بر اساس توضیحات بالا، شرایط آزمایش طوری انتخاب شده که ذرات تنها بار مثبت داشته باشند. پودری که در شکل ۲a نشان داده شده از $ZrCl_4$ در محیط آرگون اکسیژن به‌دست آمده [۱۳]؛ ولی شکل ۲b، مربوط به پودری است که در آن آب به گاز واکنشی اضافه شده است. آب در پلازما گسسته می‌شود و بنابراین واکنش زیر اتفاق می‌افتد:

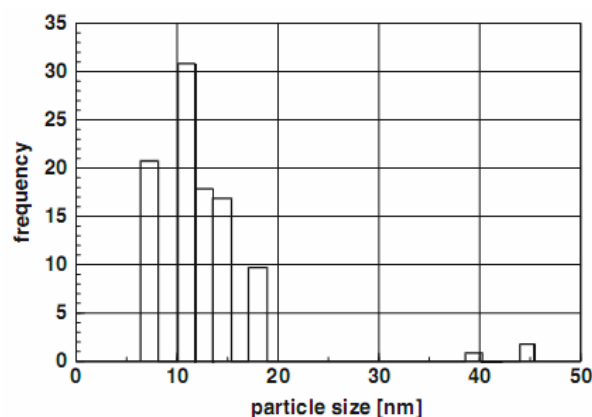


معادله (۴) به سادگی نشان می‌دهد که با اضافه نمودن آب به گاز حامل، بار ذرات مثبت بوسیله برخورد یون‌های OH^- خنثی می‌شود. به دلیل آنکه ذرات یکدیگر را خیلی دفع نمی‌کنند، بنابراین پودر درشت‌تر با توزیع اندازه گسترده به‌دست می‌آید. پودری که در شکل ۲a نشان داده شده، توزیع ذرات باریکتر با متوسط اندازه حدوداً 8 nm دارد. پودری که با اضافه شدن آب به‌دست آمده در شکل ۲b نمایش داده شده و توزیع اندازه ذرات بین 10 nm تا 50 nm را دارد. به عنوان مثال، شکل ۳ توزیع اندازه ذرات نانوذرات زیرکونیا را نشان می‌دهد که تحت شرایطی که تنها ذرات با بار مثبت دارند سنتز شده است. بجز چند ذره که از بقیه جدا شده‌اند، توزیع اندازه ذرات نمایش داده شده در شکل ۳ بسیار باریک است. در پایان، این شکل نشان می‌دهند که بارهای الکتریکی همه ذرات مشابه هستند.

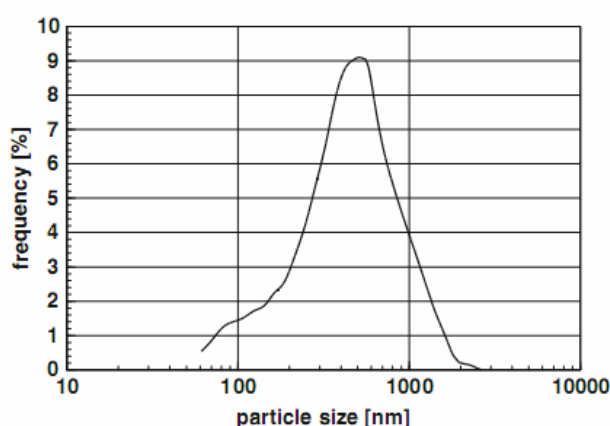


شکل ۲- توزیع اندازه ذرات زیرکونیای سنتز شده در پلاسمای میکروویو [۱۳]. (a) پودر در شرایطی به‌دست آمده که پدیده دفع بار فعال می‌شود. ذرات کوچک هستند و توزیع اندازه ذرات باریکی دارند. (b) پودر در شرایطی به‌دست آمده که بار الکتریکی ذرات با اضافه شدن آب خنثی می‌گردد. به دلیل آنکه ذرات باردار نیستند، توزیع اندازه ذرات بسیار گسترده است.

توزیع اندازه ذرات باریک همیشه یک مزیت نیست. در برخی کاربردها، مثلاً زینتر کردن یا در رنگدانه، توزیع اندازه ذرات گسترده نسبت به باریک بهتر است. در شکل ۴ یک مثال از توزیع اندازه ذرات پودری که در پلاسمای میکروویو بدون پدیده دافعه سنتز شده نشان داده شده است. در این شکل نانوپودر آهن دو محدوده دارند. این اختلاف زیاد با ویژگی‌های پودرهای مربوط به شکل‌های ۲a و ۳ قابل مقایسه است.



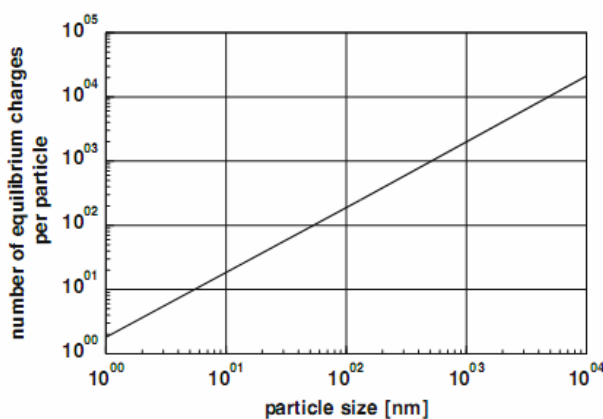
شکل ۳- توزیع اندازه ذرات زیرکونیایی به دست آمده از زیرکونیوم بوتوکساید در یک پلاسمای شعله‌ای AC [۱۶].



شکل ۴- توزیع اندازه ذرات نانوپودر آهن سنتز شده در فشار اتمسفری در پلاسمای میکروویو [۱۷].

سؤال این است که آیا بار ذره‌ای به اندازه ذرات وابستگی دارد. در تحقیقات قبلی، زیمان (Ziemann) و همکارانش [۱۸] نشان دادند که در مورد ذرات کروی، بار الکتریکی به صورت خطی با قطر ذرات افزایش می‌یابد. انحراف معیار از حالت خطی وابسته به اختلاف زیاد شعاع انحنای سطحی است. آنها این آزمایش‌ها را با سه نانوذره اکسیدی مختلف و یکسری نمک‌های سدیم و پتاسیمی مختلف انجام دادند. در شکل ۵، بارهای ذره‌ای با تابعی از قطر ذرات برای FePt محاسبه شده است [۱۵]. ارتباط خطی زیمان در این شکل دوباره تأیید گردیده است.

ارتباط خطی بین بار و قطر ذرات به آسانی قابل فهم است. در نظر بگیرید که یک ذره کروی با قطر D دارای بار Q ، بر اساس $V \propto Q/D$ ، پتانسیل الکتریکی V در سطح دارد. همچنان که بار Q ذرات به صورت خطی با قطر D زیاد می‌شود (شکل ۵ را ببینید)، پتانسیل الکتریکی در سطح ذرات مستقل از اندازه است و پارامتر Q/D در این سیستم ثابت می‌باشد.



شکل ۵- تعدادی از بارهای هر ذره FePt در طی سنتز پلاسمای RF.

برای فهمیدن مکانیزم کاهش امکان تجمع ذرات، ولات (Vollath) و سزابو (Szabó) [۱۳] یک مدل ساده را بر اساس برخورد تصادفی ابداع نمودند. برای ذرات خنثی، این مدل امکان برخورد 1-2 را برای دو ذره با قطرهای D_1 و D_2 محاسبه می‌نماید:

$$\rho_{1-2} \propto (D_1 D_2)^{0.5} \quad (5)$$

که $(D_1 D_2)^{0.5}$ ، "پارامتر برخورد" نامیده می‌شود که با زیاد شدن اندازه ذرات افزایش می‌یابد. ذرات هم بار و هم علامت یکدیگر را دفع می‌کنند و نیروی دافعه متناسب با $Q_1 Q_2$ می‌باشد. این نیروی دافعه موجب کاهش احتمال برخورد می‌گردد [۱۳]. از روی $Q \propto D$ به دست می‌آید:

$$\rho_{1-2}^* \propto (D_1 D_2)^{0.5} \frac{1}{D_1 D_2} = (D_1 D_2)^{-0.5} \quad (6)$$

بر خلاف معادله ۵، اندازه ذرات در این معادله وابسته به پارامتر برخورد ذرات باردار $(D_1 D_2)^{-0.5}$ است که با افزایش اندازه ذرات کاهش می‌یابد.

مقایسه معادله‌های ۵ و ۶، چگونگی طراحی سیستم سنتز فاز گازی را نسبت به توزیع بهینه اندازه ذرات نشان می‌دهد. معادله (۵)، برای ذرات بی‌بار صحیح است و گویای احتمال برخورد و در نتیجه تجمع ذرات است که با افزایش قطر ذرات زیاد می‌گردد. در نهایت، این خود دلیلی برای توزیع اندازه ذرات نامتناسب گسترده این ذرات است.

همچنان که بار الکتریکی با افزایش قطر ذرات زیاد می‌شود، در جاهایی که ذرات هر دو نوع بار الکتریکی مثبت و منفی را دارند تجمع افزایش می‌یابد. البته، در مواردی که ذرات بارهای هم علامت دارند، معادله (۶) نشان می‌دهد که احتمال برخورد با افزایش اندازه ذرات کاهش می‌یابد. این پدیده رشد ذره را در فرآیندهای پلاسما محدود می‌کند. به علاوه، این قضیه دلیل امکان‌پذیر نبودن تولید نانوپودرها با اندازه‌هایی خارج از محدوده توزیع اندازه ذرات باریک است، زمانی که ذرات بار الکتریکی مساوی و هم علامت دارند. در این موارد که تکه‌های پیش‌ماده بسیار یونیزه می‌شوند، هر ذره تشکیل شده خنثی می‌گردد.

در این زمینه، زیمان و همکارانش [۱۸] نیز امکان وابستگی اندازه ذره به بار الکتریکی را نشان داده‌اند:

$$D < D_c \rightarrow Q = 1$$

$$D > D_c \rightarrow Q = 1 + \alpha (D - D_c) \quad (7)$$

مسلماً، معادله (۷) بر اساس طبیعت تئوری بارهای الکتریکی پایه‌ریزی شده است. به استناد این معادله، بالای قطر بحرانی ذره D_c احتمال برخورد افزایش می‌یابد، در حالیکه برای ذرات بزرگتر بر اساس معادله ۶ برخورد کاهش می‌یابد. پارامتر برخورد مقدار حداکثر را در قطر بحرانی ذره D_c نمایش می‌دهد. حتی زمانی که بارهای الکتریکی فرمول‌بندی می‌شوند، این مراحل به‌طور تجربی مشاهده نمی‌گردند.

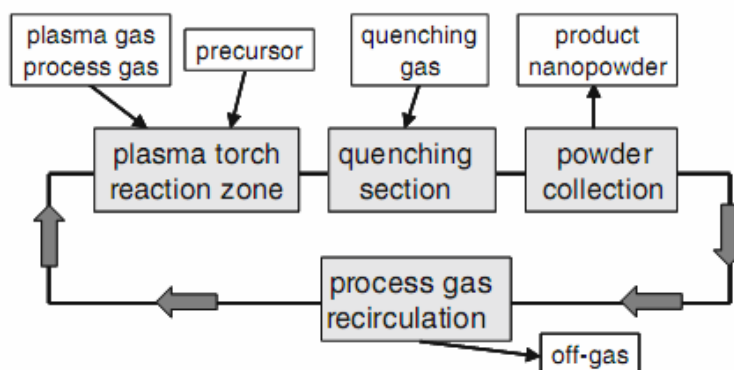
۳- طراحی سیستم‌های پلاسمایی برای سنتز نانوذرات

۳-۱- نکات کلی

دستگاه‌های مورد استفاده در سنتز پلاسمایی بوسیله دما، فشار گاز، فرکانس یا وجود یا عدم وجود الکترودها طبقه‌بندی می‌شوند. اساساً، یکی از این موارد دمای بالای فرآیند است. فرآیندهای دمای بالای 1000 K و فرآیندهای دمای کم، پایین 1000 K است. در اکثر موارد، فرآیندهای دمای بالا مربوط به فشار گازی بیشتر است در حالیکه فرآیندهای دمای پایین در فشار کم انجام می‌شود. بجز برخی از دستگاه‌های خیلی ویژه، دمای کم به کار گرفته نمی‌شود. شکل ۶ طراحی کلی سنتز پلاسمایی را نشان می‌دهد.

نکته مهم در فرآیند سنتز فاز گازی با استفاده از پلاسما مقدار کم سیال خروجی است. تنها محصولات واکنشی که سرمنشاء آنها گسسته شدن پیش‌ماده‌ها باشد باید از سیستم حذف گردند. در یک دستگاه صنعتی، تمام گازهای دیگر سیستم دوباره وارد چرخه می‌شوند. البته، این حالت تنها برای فرآیند سنتز صحیح است. این مسأله در موارد ویژه اهمیت دارد، مثلاً در سنتز نیتريدها که

نیتروژن خالص یا مخلوط نیتروژن/آمونیاک به عنوان منبع نیتروژن بکار گرفته می‌شوند یا در سنتز کاربید فلزی گاز آرگون به عنوان حامل گازی استفاده می‌شود.

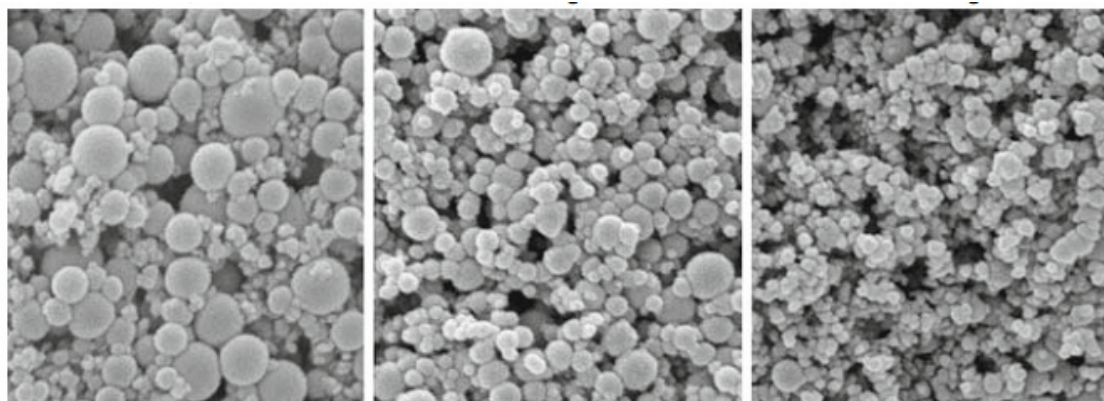


شکل ۶- طرح کلی یک سیستم پلاسمایی برای تولید پودر.

نکته مهم در فرآیند سنتز فاز گازی با استفاده از پلاسما مقدار کم سیال خروجی است. تنها محصولات واکنشی که سرمنشاء آنها گسسته شدن پیش‌ماده‌ها باشد باید از سیستم حذف گردند. در یک دستگاه صنعتی، تمام گازهای دیگر سیستم دوباره وارد چرخه می‌شوند. البته، این حالت تنها برای فرآیند سنتز صحیح است. این مسأله در موارد ویژه اهمیت دارد، مثلاً در سنتز نیتrideها که نیتروژن خالص یا مخلوط نیتروژن/آمونیاک به عنوان منبع نیتروژن بکار گرفته می‌شوند یا در سنتز کاربید فلزی گاز آرگون به عنوان حامل گازی استفاده می‌شود.

ذرات به‌طور تصادفی در محیط پلاسما حرکت می‌کنند. به علاوه، آنها یک جابجایی انحرافی در جهت بخار گاز دارند. بنابراین، احتمال زیادی برای برخورد ذرات در محیط پلاسما وجود دارد. این مسأله موجب تشکیل کلاستر و در نتیجه توزیع اندازه ذرات گسترده می‌گردد. این تأثیر بوسیله طراحی مناسب و سرد کردن سریع (quenching) بلافاصله پس از ناحیه پلاسما کاهش می‌یابد. گاز سرد کننده به صورت شعاعی یا محوری خلاف جهت جریان سیستم اعمال می‌گردد. سرد کردن تنها در فرآیندهای دمای بالا نیاز است و در فرآیندهای دمای پایین لازم نیست.

سرد کردن کیفیت محصول نهایی را به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل ۷، مورفولوژی GeO₂ سنتز شده در دستگاه پلاسمای RF و در شرایط سرد کردن مختلف نشان می‌دهد [۱۹]. این تصاویر نشان می‌دهد که فقط با افزایش جریان گاز سردکننده، توزیع اندازه ذرات کاهش چشمگیری می‌کند. در شرایط جریان کم گاز سرد کننده که در تصویر چپ نشان داده شده، توزیع اندازه ذرات بین ۳۰ تا ۵۰۰ نانومتر است. در مورد حداکثر جریان گاز سردکننده، اندازه ذرات کاهش و توزیع آن در حدود ۳۰ تا ۱۰۰ nm باریکتر می‌گردد. این کاهش اندازه ذرات با افزایش سطح BET نیز مشاهده شده است. این مثال اهمیت انتخاب شرایط مناسب برای سرد کردن در فرآیندهای دمای بالا را نشان می‌دهد.

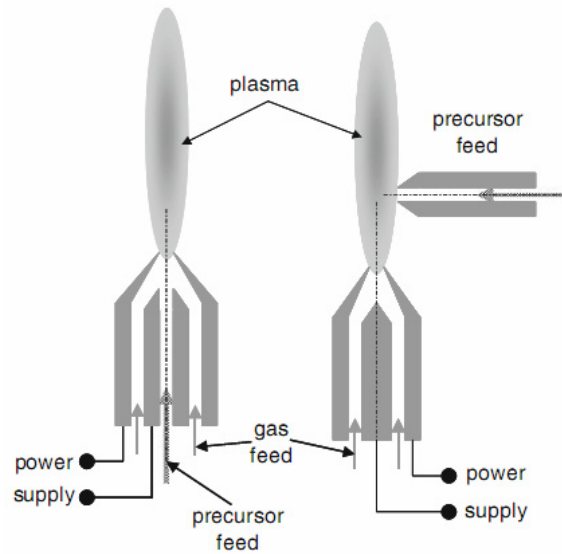


شکل ۷- پودر GeO₂ سنتز شده در پلاسمای RF مشعلی. تصاویر تأثیر شرایط سرد کردن را بر اندازه ذرات نمایش می‌دهد که بوسیله BET نیز تأیید می‌گردد [۱۹].

در ادامه، فرآیندهای پلاسمایی بر اساس فرکانس انرژی الکتریکی منبع گروه‌بندی می‌شوند. بنابراین، لازم است سیستم‌های DC، AC و RF در ابتدا و سیستم‌های میکروویو در گروه دوم تشخیص داده شود.

۳-۱-۱- سیستم‌های DC، AC و RF

فرآیندهای پلاسمایی که انرژی الکتریکی خود را از منابع DC، AC و RF به دست می‌آورند، قدیمی‌ترین و عمومی‌ترین این فرآیندها هستند. در اکثر موارد، آنها در فشار اتمسفر به کار می‌روند؛ بنابراین، دمای عملیاتی بسیار بالا است. تحت این شرایط، پلازما خیلی دور از حرارت تعادلی نیست. دمای زیاد این فرآیند، بالای 4000 K است [۲۱، ۲۰]. به‌طوریکه همه فلزات و اکثر اکسیدهایی که به عنوان پیش‌ماده به کار می‌روند تبخیر یا حداقل ذوب می‌گردند. بنابراین، هیچ ارتباطی بین اندازه ذرات پیش‌ماده و توزیع اندازه ذرات محصول وجود ندارد. به دلیل اینکه این فرآیند در فشار اتمسفر انجام می‌شود، ذرات به صورت دوقطبی باردار در می‌آیند. لذا، باید انتظار توزیع اندازه ذرات نسبتاً گسترده محصول نهایی را داشته باشیم. در شکل ۸، دو نوع از مهمترین طرح‌های کلی با استفاده از الکترودها نمایش داده شده است.



شکل ۸- طراحی مشعل‌های پلازما برای سنتز نانوپودر با استفاده از الکترودها. طراحی‌ها در منبع پیش‌ماده فرق می‌کنند. هر دو نوع طراحی اجازه استفاده از مایعات یا پودرها را به عنوان پیش‌ماده می‌دهد.

در این طرح‌ها، پلازما بین دو الکتروود موازی مشتعل می‌گردد. در فضای مرکزی بین الکترودها، جریان و گازهای حامل به سیستم اعمال می‌شوند. این بخار گازی قوی پلازما را به خارج سیستم الکتروودی می‌دمد و یک پلاسمای شعله‌ای را تشکیل می‌دهد. به علاوه، این گاز الکترودها را خنک می‌کند. البته، ممکن است لازم باشد که الکترودها را با آب نیز خنک نمود. پیش‌ماده‌ای که در سیستم مخلوط می‌شود نیز به صورت محوری در مرکز قطر داخلی الکتروود مرکزی یا خارج سیستم الکتروودی و عمود به مشعل پلازما است. پیش‌ماده ممکن است جامد، مایع یا در موارد خاص گاز باشد. پیش‌ماده مایعی که به صورت سوسپانسیون، آبی یا آلی باشند، مقدار انرژی شعله پلازما را بسیار زیاد افزایش می‌دهند.

در منبع محوری پیش‌ماده، رسوب‌گذاری محصولات واکنشی در روزنه منجر به بسته شدن آن می‌گردد که بوسیله بخار قوی گاز در فضای بین الکترودها و غلاف گاز پیرامون به بخش نازل کاهش می‌یابد. در بیشتر موارد، سیستم‌ها به روشی طراحی شده‌اند که پمپ‌های انتقال‌دهنده پیش‌ماده‌های زیادی را بسازند. منبع پیش‌ماده عمود به مشعل پلازما است و اکثراً تنها برای پودرها بکار می‌رود. طراحی نازل نکته حیاتی در کیفیت محصولات است. طراحی نازل به صورت خیلی ساده تا بسیار پیچیده با سرعت مافوق صوت گاز می‌باشد [۲۱، ۲۰].

به عنوان نمونه، محصولات به دست آمده از فرآیند پلاسمای نازلی بسیار توده‌ای شکل هستند [۲۷-۲۲]. انتخاب بسیار دقیق پارامترهای سنتز ممکن است منجر به تولید توزیع اندازه ذرات بسیار باریک گردد. کارتیکیان (Karthyayan) و همکارانش [۱۶] نانوپودر زیر کونیا را با استفاده از $2/4\%$ وزنی زیر کونیوم بوتوکساید حل شده در n - بوتانول به عنوان پیش‌ماده تولید نمودند.

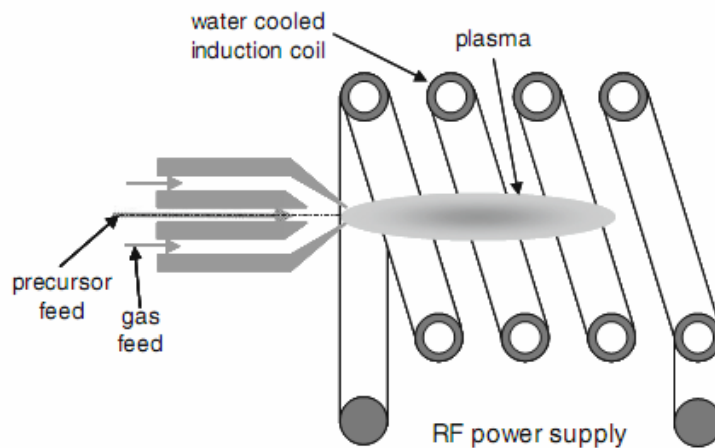
پیش‌ماده به‌طور شعاعی در مشعل پلاسما حل گردید. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، متوسط اندازه ذرات این محصول در حدود ۱۲ nm است. گذشته از این، اکثریت ذرات اندازه تقریباً مساوی دارند و تنها تعداد کمی از ذرات بزرگتر از بقیه هستند. کیم (Kim) [۲۱] یک طرح ویژه را با استفاده از الکترودهای کندگی (ablating electrodes) ابداع نمود. این محقق AlN را با الکترودی از جنس آلومینیوم فلزی در یک اتمسفر ۵۰/۵۰٪ حجمی نیتروژن/آمونیاک تولید نمود. دمای پلاسما بالای مورد مورد نیاز از منبع DC پالسی به‌دست آمد. خود نازل برای رسیدن به سرعت مافوق صوت گاز طراحی شد.

۳-۱-۲- سیستم‌های RF

۳-۱-۲-۱- سیستم‌های جفت‌شده القائی (inductive coupled)

سیستم‌های RF برای سنتز پلاسمایی نانوپودرها معمولاً بدون الکترودها طراحی می‌گردند. مزیت این سیستم‌ها این است که خطر تشکیل ناخالصی‌ها از الکترودها وجود ندارد. به عبارت دیگر، این سیستم مستثنی از الکترودهای مصرفی به عنوان پیش‌ماده هستند. محدوده فرکانس در چنین سیستم‌هایی بین ۵۰ تا ۱۰ MHz است. شکل ۹ طرح اولیه نوعی دستگاه پلاسما RF برای سنتز نانوپودر را نمایش می‌دهد. این دستگاه شامل سیستم نازلی برای تأمین پیش‌ماده، گاز حامل و واکنشی است که مشابه با طراحی سیستم الکترودی است. اختلاف اصلی مربوط به پلاسما جفت‌شده القائی است.

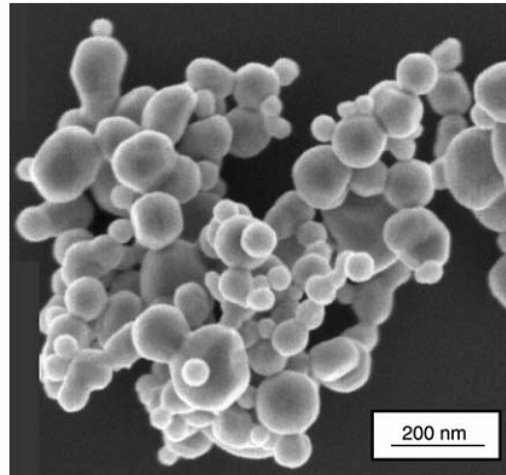
همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، در اکثر موارد پیش‌مواد به صورت محوری اعمال می‌شوند. در طراحی پیشرفته از یک جریان با جهتی مخالف گاز پلاسما و پیش‌ماده استفاده می‌گردد [۳۰-۲۸]. مزیت این نوع طراحی بر اساس گفته محققین، دوره زمانی طولانی است که پیش‌ماده و پلاسما در تماس با یکدیگر هستند. مسلماً، یکی از این مزایای این موارد این است که سرعت واکنش تشکیل ذرات بسیار کم است. همانطور که در سیستم‌های الکترودی الکترودی، سرد کردن سریع محصول بلافاصله پس از منطقه واکنشی کیفیت پودر را بهبود می‌بخشد.



شکل ۹- طرح کلی دستگاه سنتز RF با پلاسما جفت شده القائی.

همچنین، برای سنتز پودر در سیستم‌های بدون الکترودها، سیستم‌های صنعتی مهم به سهولت فراهم هستند. ظرفیت این نوع سیستم‌ها به گرم تا کیلوگرم در هر ساعت می‌رسد [۱۹]. یک نمونه از این محصولات، ابزار صنعتی است که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. شرکت تکنا پلاسما سیستم (Tekna Plasma Systems Inc) [۱۹]، پودر نیکل فلزی را با توزیع اندازه ذرات فوق‌العاده باریک به نمایش گذاشته است. برخی از این ذرات با اشکال غیر کروی به وضوح نشان داده‌اند که قبل از تجمع یافتن ذوب شده‌اند.

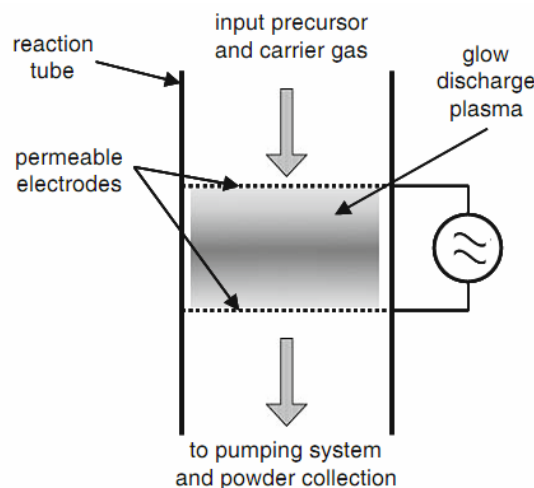
سیستم‌های صنعتی بسیار بهینه نانوپودرهای پرکیفیت با اندازه ذرات < 100 nm را تولید می‌کنند. حیطة محصولات که پوشش می‌دهند شامل فلزات، اکسیدها، کاربیدها و نیتريد‌ها است. به جز اکسیدها و فلزات قیمتی، این پودرها ممکن است آتش‌زایی بالایی داشته باشند. بنابراین، توصیه می‌شود که این محصولات را در محیط گازی خنثی به کار ببریم.



شکل ۱۰- پودر نیکل ساخته شده با فرآیند پلاسمای RF صنعتی [۱۹]. شکل توده‌ها به وضوح نشان می‌دهد که ذرات در طول تجمع یافتن ذوب شده‌اند.

۳-۲-۱-۲- سیستم‌های جفت‌شده خازنی (Capacitive Coupled)

یک سری از سیستم‌های جفت‌شده خازنی برای سنتز نانوپودرها ساخته شده‌اند. همچنین، در این مورد، سیستم‌های بدون الکتروود و یا با الکتروود طراحی می‌گردند. انواع مختلف طرح‌ها با پلاسمای RF پالسی با استفاده از یک نوع طراحی مشابه در شکل ۱۱ نمایش داده شده است [۱۵].

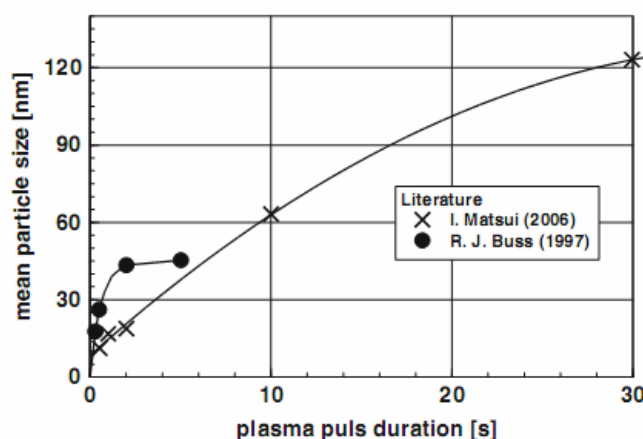


شکل ۱۱- سیستم RF جفت‌شده خازنی برای سنتز نانوپودرها با استفاده از منبع انرژی پالسی. در موقع روشن کردن، ذرات بین الکتروودها قابل نفوذ هستند و جوانه‌زایی و رشد می‌کنند. در زمان خاموش کردن، ذرات به خارج منطقه واکنش منتقل می‌گردند [۱۵].

ممکن است که فشار گاز در مسیری که تنها ذرات باردار تک‌قطبی در سیستم وجود دارند تنظیم گردد [۱۵]. بنابراین، سنتز محصولات با توزیع اندازه ذرات کاملاً باریک امکان دارد. طول پالس برای این سیستم‌ها که در شکل ۱۱ نشان داده شده بین چند دهم [۳۱] تا ۳۰ ثانیه [۱۵] است. با افزایش زمان، اندازه متوسط ذرات زیاد می‌گردد. بوسیله تنظیم مناسب منبع پیش‌ماده، می‌توان اندازه ذرات را دقیقاً کنترل نمود. شکل ۱۲ مثال‌هایی از رشد ذرات را با طول پالس نمایش می‌دهد.

ماتسوئی (Matsui) سنتز FePt را با یک هارد مغناطیسی از ترکیبات بین‌فلزی انجام داد. یک جریان ثابت گازی از طریق منطقه واکنشی وجود داشت که در فضای بین دو الکتروود نفوذی قرار داشت. موقعی که RF روشن می‌شود، ذرات در ناحیه واکنش باقی می‌مانند و رشد می‌کنند. پس از آنکه RF خاموش می‌گردد، ذرات از ناحیه واکنشی خارج و جمع می‌شوند. فشار و فرکانس گاز در روشی که ذرات تنها بار الکتریکی منفی دارند انتخاب می‌شود. بنابراین، توزیع اندازه ذرات نهایی باریک است. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده، بار الکتریکی به صورت خطی با قطر ذرات افزایش می‌یابد.

سیستم‌های جفت‌شده خازنی، بدون الکتروود نیز می‌توانند طراحی شوند. در شکل ۱۳ طرح کلی چنین سیستمی به نمایش در آمده است.



شکل ۱۲- تأثیر زمان روشن شدن، دوره پالس پلاسما در یک دستگاه بر اساس شکل ۱۱ برای متوسط اندازه ذرات محصول [۳۱،۱۵].

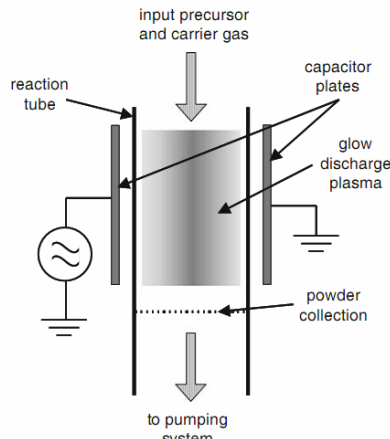
به منظور جلوگیری از دماهای بسیار بالا، لازم است که فشار گاز نسبتاً کم باشد. لذا، فشار گاز در محدوده ۰/۱ و ۱ mbar انتخاب می‌شود. این فشار گاز کم سرعت تولید را بسیار محدود می‌نماید. البته، چندین گزارش از سیستم‌هایی که برای مواد بسیار ویژه مناسب هستند وجود دارد. آندرسون (Anderson) و همکارانش [۳۲] اکسیدهای پیچیده مانند اسپینل یا فوق هادی‌های دمای بالا و نیتريد سيليكون را با موفقیت سنتز نمودند. به شرط آنکه از تراکم محصولات واکنش بر دیواره‌های مخزن واکنش جلوگیری گردد، تولید ذرات فلزی نیز ممکن می‌شود.

۳-۱-۳ سیستم‌های میکروویو

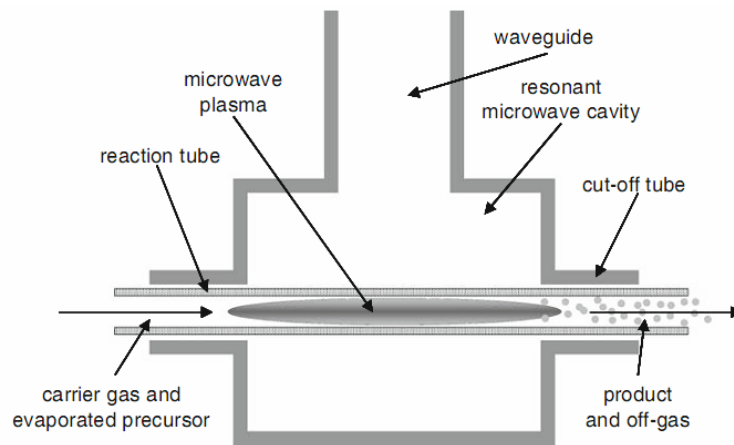
۳-۱-۳-۱ سیستم‌های کم فشار

سیستم‌های میکروویو تحت فشار کم کار می‌کنند. اولین سیستم موفق بوسیله ولاس (Vollath) و سیکافوس (Sickafus) [۱۱]، ولاس و سزابو (Szabó) [۱۲] طراحی گردید. شکل ۱۴ طرح پایه از سیستم میکروویو کم فشار را نشان می‌دهد. چنین سیستمی شامل یک محفظه میکروویو تشدید کننده است که مرتبط به یک موج‌بر برای ارسال سیستم با انرژی میکروویو است که در صنعت در فرکانس‌های ۰/۹۱۴ و ۲/۴۵ GHz انجام می‌شود. تجربه فرکانس‌های بالاتر موجب شد که منطقه پلاسما کوچکتر شود که مزیتی برای تولید محصولات بدون هدر رفتن آنها است [۱۳،۱۲]. این طرح در شکل ۱۴ نشان داده شده که بوسیله یک لوله واکنشی گذرکننده از محفظه تشدیدکننده میکروویو TE₁₁ ویژگی پیدا می‌کند. در نقاط ورودی و خروجی محفظه، یک لوله جداکننده متصل می‌شود. این لوله شدت میکروویو را به حد متوسط کاهش می‌دهد. در طول سنتز، پیش‌ماده تبخیر شده، بوسیله گازهای حامل و واکنشی منتقل می‌شوند و از طریق لوله واکنشی جاری می‌گردند. مثلاً گاز واکنشی که مخلوطی از آرگون و اکسیژن است برای سنتز نیتروژن و آمونیاک برای سنتز نیتريد بکار می‌رود. در فصل مشترک محفظه میکروویو و لوله واکنشی، پلاسما مشتعل می‌گردد. فشار گاز در سیستم می‌تواند به صورتی تنظیم شود که انرژی الکترون‌ها در حدود keV یا فقط چند eV باشد. موفق‌ترین حالت، انجام عملیات در فشار کم است که طول مسیر آزاد الکترون‌ها بزرگ است و بنابراین، انرژی الکترون‌ها بالاست. این الکترون‌های پرانرژی ذرات را یونیزه می‌نمایند. لذا، در طی سنتز همه ذراتی که بار مثبت دارند همدیگر را دفع می‌کنند. در نتیجه، ذرات در طول سنتز تجمع نمی‌یابند. این ذرات کاملاً جدا با اندازه تقریباً یکسان به وضوح در شکل ۲a قابل مشاهده هستند که مربوط به ذرات زیرکونیا است. نگه داشتن کوتاه مدت ذرات در پلاسما باعث بهبود ویژگی پودر می‌گردد. معمولاً، سرعت جریان گاز انتخاب می‌گردد تا زمان اقامت ذرات در ناحیه واکنش به ۵ تا ۱۰ ms محدود گردد.

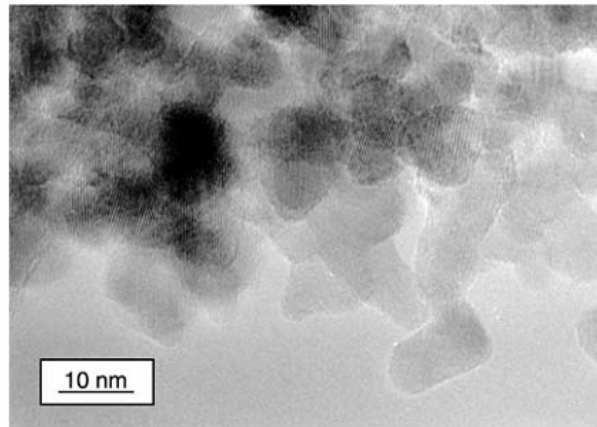
نوعی نیتريد که در پلاسما میکروویو در فشار کم سنتز شده در شکل ۱۵ نمایش داده شده است [۳۳]. پودری که در این شکل نشان داده شده ذرات همگنی دارد که مخصوص این نوع محصول است. همچنین، شیمادا (Shimada) و همکارانش [۳۴] موفق به تولید GaN با استفاده از سیستم محفظه تشدیدکننده میکروویو شدند.



شکل ۱۳- طرح یک راکتور جفت شده خازنی بدون الکتروود برای سنتز پودر با استفاده از منبع RF [۳۲].

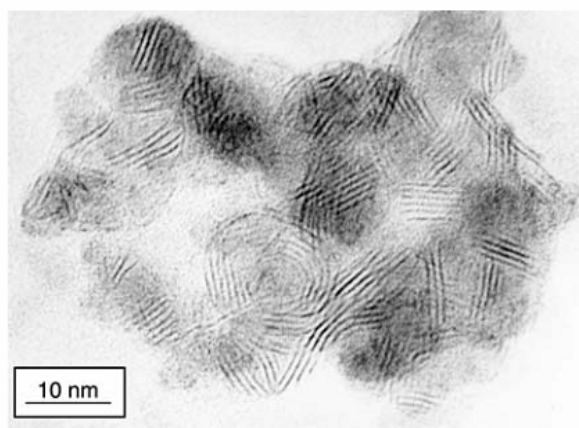


شکل ۱۴- سیستم پلاسمای میکروویو که در فشار کم کار می‌کند [۱۲،۱۱]. لوله جداکننده، یک مشخصه مهم در طرح میکروویو است که برای جلوگیری از نشست میکروویو به خارج محیط لازم است.



شکل ۱۵- پودر نیتريد زیرکونیوم سنتز شده در دستگاه پلاسمای میکروویو. بدیهی است که محدودیت اندازه مربوط به بار ذره‌ای در سنتز نیتريد است [۳۳].

به علاوه، محصولات تجاری مانند اکسیدها یا نیتريد‌ها، ترکیباتی با ساختار لایه‌ای مانند سولفیدها یا سلنیدها نیز به این روش سنتز شده‌اند [۳۶،۳۵]. شکل ۱۶ نمونه‌ای از این نوع محصولات را نمایش می‌دهد. این شکل تصویر الکترونی سولفید تنگستن WS_2 را نشان می‌دهد. برای سنتز سولفیدها، H_2S به عنوان منبع گوگرد انتخاب شده است. به‌طور قابل توجه، به خاطر زمان اقامت کوتاه مدت در ناحیه واکنشی، اکثر ذرات اشکال فولرن مانند یا نانوتیوبی تشکیل نمی‌دهند. تشکیل این ساختار نیاز به زمان بیشتری دارد [۳۸،۳۷].

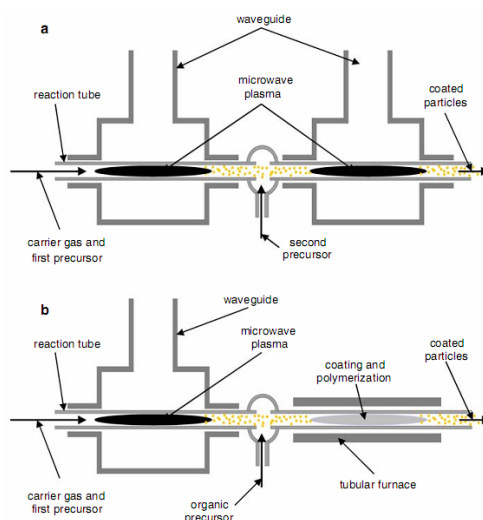


شکل ۱۶- سولفید تگنستن سنتز شده در دستگاه پلاسمای میکروویو [۳۵].

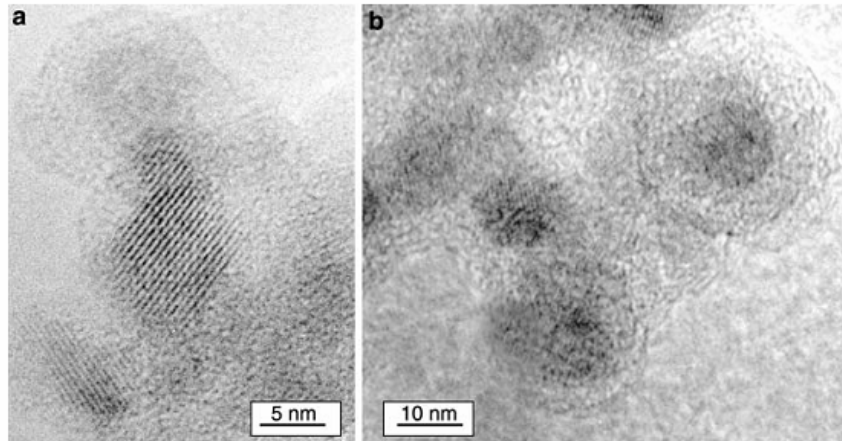
احتمال بیشتری برای استفاده از پدیده دافعه ذراتی با بارهای هم علامت وجود دارد. در این زمینه، بیشتر کاربردها مربوط به سنتز ذرات پوشش دار است. پوشش دهی ذرات امکان به کارگیری را افزایش می دهد. پوشش می تواند یک ماده سرامیکی، پلیمری یا حتی دیگر ترکیبات آلی یا غیر آلی باشد.

شکل ۱۷a، طرحی را برای سنتز ذرات با پوشش سرامیکی نمایش می دهد [۳۹]. دو محفظه میکروویو آبشاری همانند، اولی برای سنتز هسته و دومی برای پوشش مشخص هستند. طول لوله جداکننده اصولاً فاصله بین این دو محفظه را تعیین می کند. تنظیم سیستم میکروویو در یک جعبه کیپ از این مشکل جلوگیری می کند و کیفیت محصول را بهبود می بخشد. برای پوشش دهی مواد آلی، مرحله دوم ضرورتاً یک کوره تجاری است که در شکل ۱۷b نمایش داده شده است. در این مورد، در نظر گرفتن نسبت طول لوله جدا کننده صحیح است. باید ذکر گردد، سنتز ذرات پوشش دار محدود به یک لایه نیست. ابزاری برای سیستم های دولایه ای سرامیکی [۱۲] یا برای دو لایه از مواد آلی مانند لاموفور (lumophore) آلی در اولین لایه و یک پلیمر در دومین لایه [۳۶] وجود دارد.

شکل ۱۸a و ۱۸b مثال هایی از ذرات سرامیکی پوشش داده شده با یک فاز سرامیکی ثانویه (شکل ۱۸a) و یک فاز پلیمر (شکل ۱۸b) را نشان می دهد. برای کاربرد و به ویژه برای فرآیند تصادفی پوشش دهی که ضخامت پوشش برابر نقاط محدب سطح باشد.



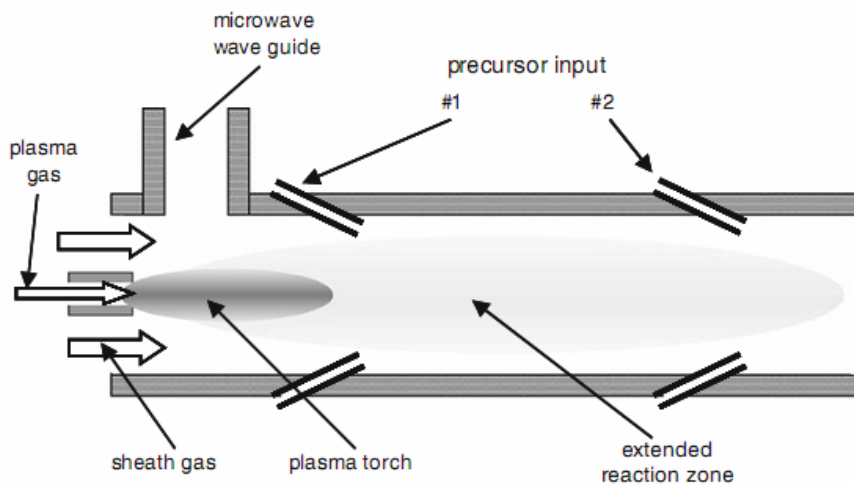
شکل ۱۷- ترتیب ساخت نانوذرات پوشش دار. (a) دستگاه برای تولید ذرات سرامیکی پوشش دار [۳۹]. (b) دستگاه برای ساخت پلیمر پوشش داده شده بر ذرات سرامیکی [۴۰]. به علاوه، امکان استفاده از ترکیبات آلی مانند لاموفورز (lumophores) به عنوان پوشش وجود دارد [۴۱].



شکل ۱۸- نمونه‌ای از نانوذرات پوشش‌داده شده در پلاسمای میکروویو تحت فشار کم [۴۰،۳۹]. (a) ذرات زیرکونیا با آلومینا پوشش داده شده‌اند. (b) ذرات اکسید آهن با PMMA پوشش داده شده‌اند.

۳-۱-۳- سیستم‌های عملیاتی در فشار محفظه

معمولاً، فرآیندهایی که در فشار کم کار می‌کنند نسبت به فشار محفظه گران‌تر هستند. به‌ویژه، به خاطر فشار ناچیز در سیستم‌های فیلتری، جمع‌آوری ذرات در سیستم‌های کم‌فشار مشکل‌تر است. دلیل مهمی برای توسعه فرآیندهایی که در فشار محفظه کار می‌کنند وجود دارد. البته، در سیستم‌های میکروویو برای سنتز پودر، دما نسبت به سیستم‌های کم‌فشار بالاتر است. نوعی طراحی برای سیستم میکروویو که در فشار محفظه کار می‌کند در شکل ۱۹ نشان داده شده است [۴۲،۱۷-۴۵].



شکل ۱۹- کار کردن در سیستم پلاسمای میکروویو تحت فشار محفظه. دو ورودی پی در پی برای پیش‌مواد موجب سنتز در دماهای مختلف یا تولید چیزی مثل نانوذرات پوشش‌دار می‌گردد.

این طرح مربوط به یک پلاسمای مشعلی میکروویو است. در یک فاصله ویژه پس از مشعل پلاسمای، پیش‌موادها وارد سیستم می‌شوند. دمای واکنش بوسیله فاصله پیش‌مواد ورودی انتهای مشعل پلاسمای تنظیم می‌گردد؛ با افزایش فاصله، دما کمتر می‌شود. به علاوه، چند ورودی برای پیش‌مواد اجازه تولید چیزی مثل نانوذرات پوشش‌دار را می‌دهد [۴۵]. در چنین سیستم‌هایی کار کردن در فشار اتمسفری، متوسط طول مسیر آزاد الکترون‌ها کوچک و بنابراین در ناحیه واکنشی، پس از مشعل پلاسمای، تعداد و انرژی الکترون‌های باقیمانده کم است. در نتیجه بار ذره‌ای و دافعه ضعیف است. مانند دیگر فرآیندها، کار کردن در شرایط محفظه موجب تجمع بیشتر ذرات و توزیع گسترده اندازه آنها می‌گردد [۴۵]. توزیع اندازه این نوع محصول برای نانوذرات آهن در شکل ۴ نشان داده شده است [۱۷].

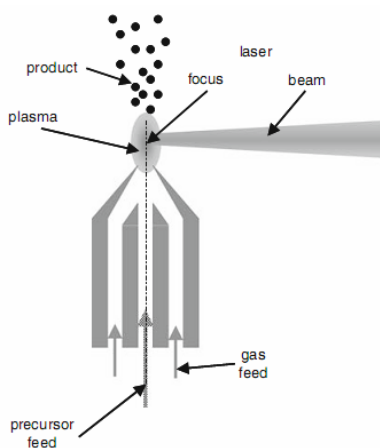
۴- دیگر فرآیندهای پلاسمایی

۴-۱- فرآیندهای لیزری

برای دستیابی به محصولاتی با تجمع کمتر، لازم است که محصول با سرعت از ناحیه واکنشی خارج گردد. فرآیندهای لیزری به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

- فرآیندهای لیزری با هدف‌های گازی
- فرآیندهای کندگی لیزری با هدف‌های جامد

همانطور که در شکل ۲۰ نشان داده شده، طراحی موفق سنتز لیزر گازی با تمرکز مستقیم لیزر بالای روزنه ویژگی پیدا می‌کند. بالای روزنه، در کانون لیزر، پلازما تشکیل می‌گردد. در این پلازما، غلظت واکنش‌دهنده‌ها بسیار بالا است. لذا، تمایل به تشکیل تجمعات ذره‌ای وجود دارد. معمولاً، محصول واکنش بسیار تجمع یافته است [۴۶]. در صورت لزوم، یک حامل گازی برای حذف محصولات واکنشی با سرعت خارج ناحیه واکنشی اضافه شود. شکل ۲۰ طرح کلی یک سیستم لیزری با یک هدف گازی را نشان می‌دهد.



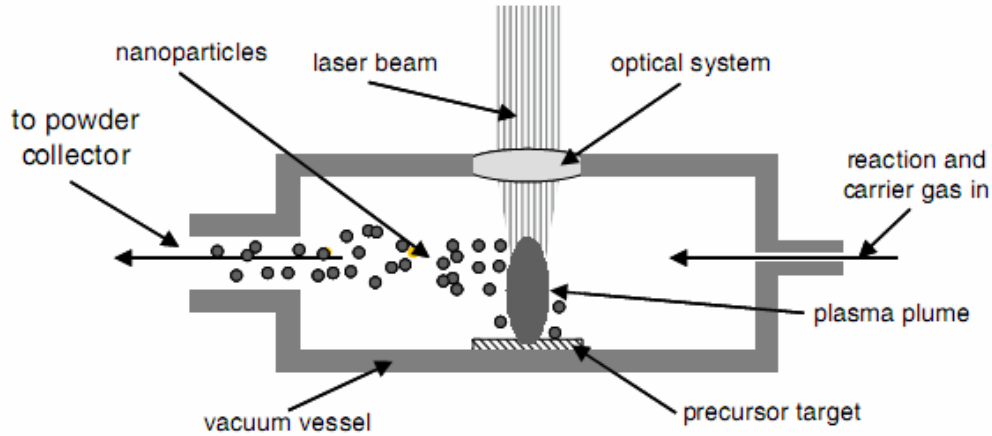
شکل ۲۰- سیستم سنتز نانوذره با استفاده از پلاسمای لیزری با هدف گازی.

اضافه نمودن حساس‌کننده SF_6 (sensitizer) ممکن است منجر به تشکیل فلوراید‌ها ناخواسته گردد [۴۷]. علاوه بر آن، این واکنش‌های اجتناب‌ناپذیر ممکن است برای دستیابی به محصولات ویژه لازم باشد. دیوید (David) و همکارانش [۴۸]، ذرات $\alpha-Fe$ جا گرفته در گرافیت را با استفاده از پیش‌ماده $Fe(CO)_5$ ، حامل گازی C_2H_2 و حساس‌کننده SF_6 انجام دادند. اگرچه، لازم به توضیح است که این محصول کاملاً متفاوت با ذرات پوشش داده شده است. کربن مورد نیاز برای وارد کردن گرافیت از C_2H_2 به‌دست می‌آید که در پلاسمای لیزری جدا می‌شود.

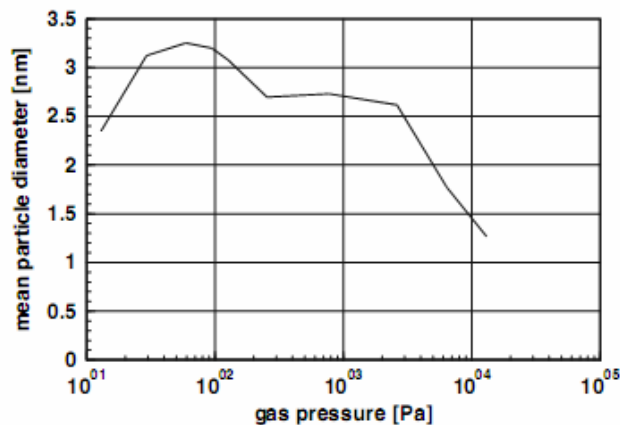
دومین نوع لیزر برای هدف‌های جامد بکار می‌رود. در این مورد، فرآیند کندگی، شدت کانون بسیار زیاد است به طوری که هدف جامد را تبخیر و گاز خارج شده یونیزه می‌گردد. این پلازما مسئول پیشرفت بیشتر واکنش است که موجب سنتز ذرات می‌گردد. از بین سیستم‌های زیادی که در مقاله توصیف شده، چندین طرح ویژه در شکل ۲۱ نمایش داده شده است.

هدف لیزر یعنی پیش‌ماده می‌تواند فلزی، سرامیکی یا هر مخلوط پیچیده‌ای باشد. به دلیل دانسیته انرژی بالای در کانون لیزر، هر ماده‌ای در کانون لیزر فوراً تبخیر می‌گردد؛ بنابراین، در هدف‌های پیچیده نیز استوکیومتری هدف حفظ می‌شود. فرآیندهای کانون لیزر بسیار پیچیده هستند. ماده تبخیر شده سطح هدف را به صورت عمودی در یک پلوم (plume) ترک می‌کند. شدت میدان الکتریکی لیزر، ماده را در پلوم یونیزه می‌کند. دمای پلوم به 3800 K [۴۹] یا بیشتر می‌رسد. با گسترش آدیاباتیک پلوم، دما کاهش می‌یابد. پس از کاهش دما که به سطح فوق اشباع می‌رسد، جوانه‌ها تشکیل و ذرات شروع به رشد می‌کنند. سرعت گسترش پلوم با کاهش فشار گاز در سیستم کاهش می‌یابد. گسترش پلوم رشد ذرات را محدود می‌نماید. از این‌رو، یکی از مواردی که انتظار می‌رود کاهش اندازه ذرات با کم شدن فشار گاز است. به عبارت دیگر، در فشارهای گاز زیاد، انتظار داریم که اندازه ذرات با افزایش فشار کاهش یابد. به دلیل گسترش آهسته‌تر پلوم، فوق اشباع مدت طولانی‌ترین باقی می‌ماند و شانس

برای تشکیل تعداد زیادی جوانه به وجود می‌آید. هر دو این پدیده‌ها مشاهده می‌شوند. در واقع یک برهمکنش متقابل از هر دو مکانیزم، موجب عدم وابستگی اندازه متوسط ذرات از فشار گاز می‌شود. شکل ۲۲ وابستگی متوسط اندازه ذرات Co_3O_4 ساخته شده از یک هدف دوار با ترکیب مشابه در اتمسفر آرگون نشان می‌دهد. یک لیزر اکسایمر ArF با طول پالس ۱۷ ns به عنوان منبع انرژی به کار گرفته شد [۵۰].



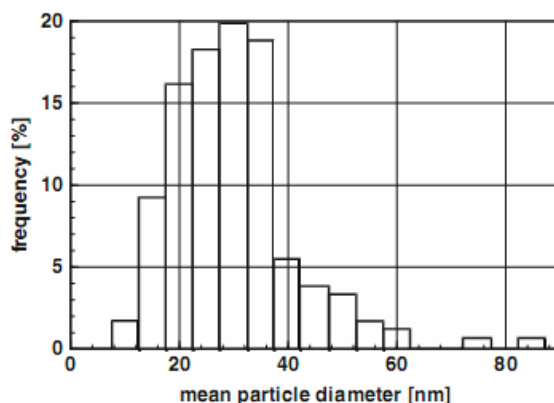
شکل ۲۱- طرح کلی یک دستگاه تجربی برای سنتز پودر با استفاده از کندگی لیزری. اشعه لیزر پالسی در سطح پیش‌ماده، هدف، فلز یا اکسید متمرکز می‌گردد و آن را بخار می‌کند. پلوم، یک جریان شدید بسیار یونی از ماده بخار شده است که به صورت عمودی از سطح هدف خارج می‌گردد.



شکل ۲۲- قطر متوسط ذرات Co_3O_4 تولید شده از یک هدف با ترکیب مشابه در اتمسفر گازی به وسیله فرآیند کندگی لیزری. کوچکترین اندازه ذرات در کمترین و بیشترین فشارهای گازی مشاهده شده است. یک لیزر اکسایمر ArF به عنوان منبع انرژی به کار می‌رود [۵۰].

نتایج تجربی که در شکل ۲۲ نشان داده شده جوانه‌زایی و رشد ذرات را با تابعی از فشار گاز تأیید می‌کند. در حقیقت، یکی از نکات دستیابی به کوچکترین ذرات در پایین‌ترین و بالاترین فشار گاز است. انتخاب شرایط صحیح فرآیند، اجازه می‌دهد که درجه تجمع ذرات کاهش یابد.

تشکیل و رشد ذرات در پلوم فرآیندی تصادفی است؛ بنابراین، توزیع گسترده اندازه ذرات نامتناسب انتظار می‌رود و به‌طور تجربی نیز یافت شده است. شکل ۲۳، چنین توزیع اندازه ذراتی را برای $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ نشان می‌دهد [۵۱]. در فشاری حدوداً بالای Pa 2×10^5 ، نیز این محققین کاهش اندازه ذرات را با افزایش فشار گاز یافته‌اند.

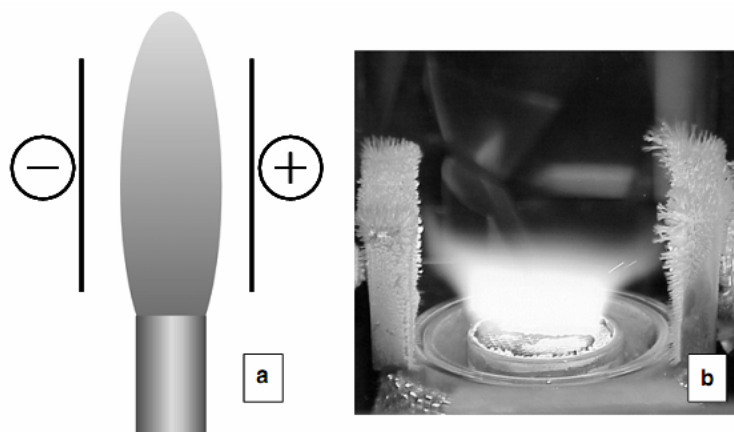


شکل ۲۳- ذرات Fe_2O_3 تولید شده با فرآیند کندگی لیزری. لطفاً به توزیع نسبی اندازه ذرات توجه کنید که نمونه‌ای برای فرآیندهای کندگی لیزری تحت فشار محفظه است [۵۱].

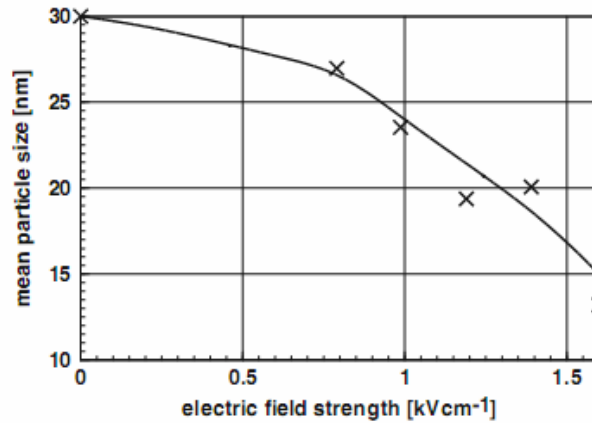
۲-۴- فرآیندهای شعله‌ای (Flame process)

شعله‌ها اغلب به عنوان "پلاسمای ناتمام" در نظر گرفته می‌شوند که به دلیل یونیزه شدن حرارتی، شعله‌ها شامل مقداری معین یون‌ها و الکترون‌های آزاد هستند. امکانات زیاد برای استفاده از این پدیده وجود دارد. ممکن است دمای شعله با میکروویو افزایش یابد یا می‌توان بار حامل‌ها را با استفاده از میدان DC در عرض شعله جدا نمود. تا به حال، تنها یک گروه سعی نمودند که با روش معین از این خاصیت شعله استفاده نمایند. پراتسینیس (Pratsinis) [۵۲] و کامر (Kammler) [۵۳] یک میدان الکتریکی را به عرض شعله اضافه نمودند و تأثیر آن بر محصولات مورد مطالعه قرار دادند. شکل ۲۴a شماتیکی از این طرح، شامل دو صفحه مرتبط به ولتاژ DC و مستقیماً بالای روزنه سیستم مشعل را نشان می‌دهد.

شکل ۲۴b به وضوح نشان می‌دهد که میدان الکتریکی کمتر از 1 kVcm^{-1} ، شعله را دو نیم می‌کند و ذرات را به خارج آن می‌کشد. این ذرات روی هر دو الکتروود رسوب می‌کنند که نشان‌دهنده این است که ذرات بار الکتریکی هم علامت دارند. مقدار ذرات هم علامت تقریباً یکسان است. بیرون کشیدن ذرات با میدان الکتریکی به خارج شعله دو مزیت دارد: (۱) تجمع ذرات بسیار زیاد کاهش می‌یابد، به طوری که در ذرات هم علامت احتمال تجمع ذرات کاهش می‌یابد و (۲) زمان ماندگاری ذرات در شعله و نیز رشد و تجمع ذرات کاهش می‌یابد. این پیش‌بینی بوسیله نتایج تجربی تأیید می‌گردد. شکل ۲۵ متوسط اندازه ذرات تیتانیا سنتز شده در یک شعله با میدان الکتریکی عرضی نشان می‌دهد. تأثیر کاهش اندازه بوسیله میدان الکتریکی قابل مشاهده است. در این آزمایش‌ها، استحکام میدان الکتریکی پایین 2 kVcm^{-1} می‌باشد. این میدان به حدی کم است که یونیزه شدن بوسیله میدان الکتریکی غیر ممکن می‌گردد.

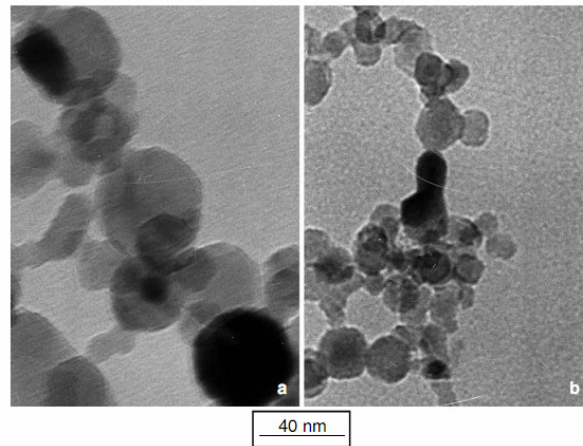


شکل ۲۴- ساخت آزمایشی برای سنتز نانوپودرها در شعله با استفاده از خاصیت پلاسمای ناتمام در میدان الکتریکی بین صفحات الکتروودی که به صورت اریب با شعله قرار گرفته است. (a) طرح آزمایشی. (b) درک تجربی از طرحی که در شکل ۲۵a نشان داده شده است. این شکل تولید $\text{TiO}_2 \text{ ex TiCl}_4$ در شعله متان-اکسیژن با میدان الکتریکی عرضی کمتر از 2 kVcm^{-1} را نشان می‌دهد. میدان الکتریکی، شعله را به دو نیم تقسیم می‌کند. بار الکتریکی ذرات بوسیله صفحات الکتروودی با بار مخالف جذب و رسوب می‌کنند [۵۲].



شکل ۲۵- متوسط اندازه ذره $\text{TiO}_2 \text{ ex TiCl}_4$ که در شعله متان-اکسیژن با میدان الکتریکی عرضی سنتز شده است [۵۲، ۵۳].

در شعله متان-اکسیژن، دماهای بالای 2500 K وجود می‌آید [۵۴]. در این دماها، به احتمال زیاد یونیزه شدن حرارتی مولکول‌های گازی یا ذرات اتفاق خواهد افتاد. به علاوه، یونیزه شدن ذرات با الکترون‌ها، ممکن است در میدان الکتریکی شتاب پیدا کند. البته، موقعی که شعله در فشار اتمسفری به کار می‌رود، طول متوسط آزاد الکترون‌های آزاد کوتاه می‌گردد؛ بنابراین، انرژی آن نسبتاً کم می‌شود که دلیل چسبیدن الکترون‌های آزاد در سطح ذرات بی‌بار نیز ممکن می‌گردد. این فرآیندها منجر به این می‌شود که ذرات باردار هم علامتی که در میدان الکتریکی جدا شده‌اند به سمت الکترودهای مخالف حرکت نمایند. در نتیجه، تمایل به توده‌ای شدن ذرات کاهش می‌یابد. به دلیل زمان ماندگاری کوتاه آن در شعله، شانس توده‌ای شدن ذرات کاهش می‌یابد. بنابراین توزیع اندازه ذرات باریکتر می‌شود. این شرایط به خوبی در تصاویر الکترونی شکل ۲۶ مشاهده می‌گردد که مربوط به $\text{TiO}_2 \text{ ex TiCl}_4$ سنتزی در شعله متان - اکسیژن پیش‌آمیخته (شکل ۲۶a) بدون و با میدان الکتریکی عرضی است. محصول به‌دست آمده از میدان الکتریکی عرضی ذرات کوچکتر و توزیع اندازه باریکتر را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶- ذرات $\text{TiO}_2 \text{ ex TiCl}_4$ در شعله متان - اکسیژن پیش‌آمیخته. (a) مواد تولید شده بدون میدان الکتریکی. (b) محصول به‌دست آمده از میدان الکتریکی عرضی $1/6 \text{ kVcm}^{-1}$. کاهش اندازه ذرات به خوبی قابل مشاهده است. به علاوه، توزیع اندازه این ذرات بسیار باریکتر است.

۵- نتیجه گیری

فرآیندهای پلاسمایی متنوعی برای سنتز نانوپودرها بکار می‌رود. ویژگی‌های این محصولات و رشد صنعتی‌شان بسیار گسترده است. در انتها، فرآیندهای پلاسمایی به سه گروه تقسیم می‌گردند:

- فرآیندهایی که در فشار محفظه کار می‌شوند. به نسبت کاربرد صنعتی، این فرآیندها بالاترین درجه رشد را نشان می‌دهند. به علاوه، در اکثر موارد، تجمع زیادی مشاهده می‌گردد. معمولاً، این فرآیندها در دماهای بالا انجام می‌شوند.

- فرآیندهایی که در فشار کم و دماهای کم انجام می‌شوند. با انتخاب شرایط مناسب برای سنتز، محصولاتی که از این فرآیندها تهیه می‌شوند توزیع اندازه باریکی دارند. به علاوه، باید ذکر شود که این فرآیندها اجازه سنتز کوچکترین ذرات در حد ۳-۲ nm را می‌دهد. میکروویو به عنوان منبع توان به کار می‌رود. فرآیندهای میکروویو در شرایط کم فشار بکار می‌رود که توانایی پوشش‌دهی ذرات را دارد.
- برخی فرآیندهای ویژه در این مراحل هستند. در این گروه، فرآیندهای شعله‌ای با میدان الکتریکی عرضی ترکیب می‌شود که موجب تولید ذراتی با توزیع اندازه باریک می‌گردد. فرآیندهای شعله‌ای پتانسیل مناسبی برای تولید انبوه دارد.

در نهایت، لازم است این حقیقت عنوان شود که در کمترین محدوده توان حدوداً ۵ kW، منبع انرژی و ساخت تکنیکی سیستم‌های میکروویو بسیار ارزان‌تر از دستگاه‌های RF است. برای رسیدن به محصول بهتر، سنتز میکروویو پلاسمايي بهترین انتخاب برای تولید در مقیاس کوچک است. برای مقایسه، سیستم‌های میکروویو کوچک ارزان‌تر از کوره‌های لوله‌ای هستند.

۶- سپاسگزاری

این اثر ترجمه مقاله آقای Dieter Vollath تحت عنوان "Plasma synthesis of nanopowders" چاپ شده در مجله Journal of Nanoparticle Research بوده که امید است مورد توجه محققین در پژوهش‌های مرتبط دانشگاهی و صنعتی قرار گیرد.

مراجع

- [1] Langmuir I (1928) Oscillations in ionized gases. Proc Natl Acad Sci USA 14:627-637.
- [2] Szekely J (1984) An overview of plasma processing. In: Szekely J, Apelian D (eds) Plasma processing and synthesis of materials symposium. North-Holland, New York, NY, USA, pp 1-11.
- [3] Boulos MI (1984) Modelling of plasma processes. In: Szekely J, Apelian D (eds) Plasma processing and synthesis of materials symposium. North-Holland, New York, NY, USA, pp 53-60.
- [4] Heberlein JVR (1989) Plasma technology in materials processing. Cryst Prop Prep 22-25:707-726.
- [5] Taylor PR, Vidal EE (1999) Thermal plasma synthesis of ceramic powders. In: Marquis EDS (ed) Powder materials: current research and industrial practices. Proceedings of symposium held during 1999 TMS fall meeting. TMS Miner Metals & Mater Soc, Warrendale, PA, USA, pp 173-185.
- [6] Manolache S, Denes F (2000) Synthesis of nanoparticles under cold-plasma conditions. J Photopolym Sci Technol 13:51-62.
- [7] Kaneko T, Odaka Y, Tada E, Hatakeyama R (2002) Generation and control of field-aligned flow velocity shear in a fully ionized collisionless plasma. Rev Sci Instrum 73:4218-4222.
- [8] Vissokov G, Grancharov I, Tsvetanov T (2003) On the plasmachemical synthesis of nanopowders. Plasma Sci Technol 5(6):2039-2050.
- [9] Vollath D (2007) Plasma synthesis of nanoparticles. Kona 25:39-55.
- [10] MacDonald AD (1966) Microwave breakdown in gases. Wiley & Sons, New York.
- [11] Vollath D, Sickafus KE (1992) Synthesis of nanosized ceramic powders by microwave plasma reactions. Nanostruct Mater 1:427-437.
- [12] Vollath D, Szabó DV (2002) Synthesis of nanopowders by the microwave plasma process—basic considerations and perspectives for scaling-up. In: Choy KL (ed) Innovative processing of films and nanocrystalline powders. Imperial College Press, London.
- [13] Vollath D, Szabó DV (2006) The microwave plasma process—a versatile process to synthesise nanoparticulate materials. J Nanopart Res 8:417-418.
- [14] Mangolini L, Jurbergs D, Rogojina E, Kortshagen U (2006) Plasma synthesis and liquid-phase surface passivation of brightly luminescent Si nanocrystals. Phys Stat Sol (c) 3:3975-3978.
- [15] Matsui I (2006) Preparation of magnetic nanoparticles by pulsed plasma chemical vapor synthesis. J Nanopart Res 8:429-443.
- [16] Karthikeyan J, Berndt CC, Tikkanen J, Reddy S, Herman H (1997) Plasma spray synthesis of nanomaterial powders and deposits. Mater Sci Eng A238:275-286.
- [17] Kalyanaraman R, Yoo S, Krupshankara MS, Sudarshan TS, Dowding RJ (1998) Synthesis and consolidation of iron nanopowders. Nanostruct Mater 10:1379-1392.
- [18] Ziemann PJ, Kittelson DB, McMurry PH (1996) Effects of particle shape and chemical composition on the electron impact charging properties of submicron inorganic particles. J Aerosol Sci 27:587-606.
- [19] Tekna Plasma Systems Inc (2007) Canada. <http://www.tekna.com>.
- [20] NP, Girshick SL, McMurry PH, Heberlein JVR (1999) US-patent #5,874,134.
- [21] Kim K (2005) Plasma synthesis and characterization of nanocrystalline aluminum nitride particles by aluminum plasma jet discharge. J Cryst Growth 283:540-546.
- [22] Cruden BA, Cassell AM, Ye Q, Meyyappan M (2003) Reactor design considerations in the hot

- filament/direct current plasma synthesis of carbon nanofibers. *J Appl Phys* 94:4070–4078.
- [23] Cota-Sanchez G, Soucy G, Huczko A, Lange H (2005) Induction plasma synthesis of fullerenes and nanotubes using carbon black-nickel particles. *Carbon* 43:3153–3166.
- [24] Marzik JV, Suplinskas RJ, Wilke RHT, Canfield PC, Finnemore DK, Rindfleisch M, Margolies J, Hannahs ST (2005) Plasma synthesized doped B powders for MgB₂ superconductors. *Physica C* 423:83–88.
- [25] Tong L, Reddy RG (2005) Synthesis of titanium carbide nano-powders by thermal plasma. *Scripta Materialia* 52:1253–1258.
- [26] Wang Y, Qin Y, Li G, Cui Z, Zhang Z (2005) One-step synthesis and optical properties of blue titanium suboxide nanoparticles. *J Cryst Growth* 282:402–406.
- [27] Ko TS, Yang S, Hsu HC, Chu CP, Lin HF, Liao SC, Lu TC, Kuo HC, Hsieh WF, Wang SC (2006) ZnO nanopowders fabricated by dc thermal plasma synthesis. *Mater Sci Eng B* 134:54–58.
- [28] Schulz O, Hausner H (1987) Plasmasynthese keramischer Sinterpulver für Hochleistungskeramik. *Elektrowarme, Int Edt* 45:174–182.
- [29] Schulz O, Hausner H (1992) Plasma synthesis of silicon nitride powders. *Ceram Int* 18:177–183.
- [30] Goortani BM, Mendoza N, Proulx N (2006) Synthesis of SiO₂ nanoparticles in RF plasma reactors: effect of feed rate and quench gas injection. *Int J Chem React Eng* 4: Article A33.
- [31] Buss RJ (1997) Rf-plasma synthesis of nanosize silicon carbide and nitride, SAND97–0039.
- [32] Anderson H, Kudas T, Smith DT (1989) Vapor phase processing of powders: plasma synthesis and aerosol decomposition. *Ceram Bull* 68:996–1000.
- [33] Vollath D, Sickafus KE (1993) Synthesis of nanosized ceramic nitride powders by micro-wave supported plasma reactions. *Nanostruct Mater* 2:451–456.
- [34] Shimada M, Azuma Y, Okuyama Y, Hayashi Y, Tanabe E (2006) Plasma synthesis of light emitting gallium nitride nanoparticles using a novel microwave-resonant cavity. *Jpn J Appl Phys* 45:328–332.
- [35] Vollath D, Szabó DV (1998) Synthesis of nanocrystalline MoS₂ and WS₂ in microwave plasma. *Mater Lett* 35:236–244.
- [36] Vollath D, Szabó VS (2000) Nanoparticles from compounds with layered structures. *Acta Materialia* 48:953–967.
- [37] Feldman Y, Frey GL, Homyonfer M, Lyakhovitskaya V, Margulis M, Cohen H, Hodes G, Hutchison JL, Tenne R (1996) Bulk synthesis of inorganic fullerene-like MS₂ from the respective trioxides and the reaction mechanism. *J Am Chem Soc* 118:5362–5367.
- [38] Zak A, Feldman Y, Alperovich V, Rosentsveig R, Tenne R (2000) Growth mechanism of MoS₂ fullerene-like nanoparticles by gas-phase synthesis. *J Am Chem Soc* 122:11108–11116.
- [39] Vollath D, Szabó DV (1994) Nanocoated particles: a special type of ceramic powder. *Nanostruct Mater* 8:927–938.
- [40] Vollath D, Szabó DV, Fuchs J (1999) Synthesis and properties of ceramic-polymer composites. *Nanostruct Mater* 12:433–438.
- [41] Vollath D, Szabó DV (2004) Synthesis and properties of nanocomposites. *Adv Eng Mater* 6:117–127.
- [42] Brenner JR, Harkness JBL, Knickerbein MB, Krumdick GK, Marshall CL (1997) Microwave plasma synthesis of carbon-supported ultrafine metal particles. *Nanostruct Mater* 8:1–17.
- [43] Troitskiy VN, Domashnev IA, Kurkin EN, Grebtsova OM, Berestenko VI, Balikhin IL, Gurov SV (2003) Synthesis and characteristics of ultra-fine superconducting powders in the Nb–N, Nb–N–C, Nb–Ti–N–C systems. *J Nanopart Res* 5:521–528.
- [44] Chau JLH, Hsu MK, Hsie CC, Kao CC (2005) Microwave plasma synthesis of silver nanopowders. *Mater Lett* 59:905–908.
- [45] Chau CLH, Hsu MK, Kao CC (2006) Microwave plasma synthesis of Co and SiC-coated Co nanopowders. *Mater Lett* 60:947–951.
- [46] Morjan I, Alexandrescu R, Soare I, Dumitrache F, Sandu I, Voicu I, Crunteanu A, Vasile E, Ciupina V, Martelli S (2003) Nanoscale powders of different iron oxide phases prepared by continuous laser irradiation of iron pentacarbonyl-containing gas precursors. *Mater Sci Eng C* 23:211–216.
- [47] He Y, Li X, Swihart MT (2005) Laser-driven aerosol synthesis of nickel nanoparticles. *Chem Mater* 17:1017–1026.
- [48] David B, Pizu'rova' N, Schneeweiss O, Bezdicka P, Morjan I, Alexandrescu R (2004) Preparation of iron/graphite coreshell structured nanoparticles. *J Alloy Compd* 378:112–116.
- [49] Puretzky AA, Geohegan DB, Fan X, Pennycook SJ (2000) Dynamics of single-wall carbon nanotube synthesis by laser vaporization. *Appl Phys A70*:153–160.
- [50] Li Q, Sasaki T, Koshizaki N (1999) Pressure dependence of the morphology and size of cobalt (II, III) oxide nanoparticles prepared by pulsed-laser ablation. *Appl Phys A69*:115–118.
- [51] Wang Z, Liu Y, Zeng X (2006) One-step synthesis of γ -Fe₂O₃ nanoparticles by laser ablation. *Powder Technol* 161:65–68.
- [52] Pratsinis SE (1998) Flame aerosol synthesis of ceramic powders. *Prog Energy Combust Sci* 24:197–219.
- [53] Kammler H (2002) Synthesis of oxide nanoparticles with closely controlled characteristics. PhD thesis, ETH Zürich #14622.
- [54] Kammler HK, Mädler L, Pratsinis SE (2001) Flame synthesis of nanoparticles. *Chem Eng Technol* 24:583–596.

معرفی پایان نامه‌های دانشجویی

پایان نامه دکترا

سنتز و مشخصه یابی سرامیک‌های $\text{Li}_2\text{ZnTi}_3\text{O}_8$ در حضور افزودنی شیشه جهت کاربرد در فناوری LTCC



دانشجو: محبوبه کیانی زیتانی

اساتید راهنما: دکتر تورج عباد زاده، دکتر سارا بنی جمالی

استاد مشاور: دکتر رضا ریاحی فر

پژوهشگاه مواد و انرژی

چکیده: در بین ترکیب‌های مختلف ارائه شده در حوزه دی‌الکتریک‌های مایکروویو، سرامیک $\text{Li}_2\text{ZnTi}_3\text{O}_8$ (LZT) به علت امکان استفاده از مواد اولیه ارزان قیمت و ویژگی‌های دی‌الکتریک مطلوب بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کاهش دمای زینتر سرامیک‌های دی‌الکتریک LZT جهت کاربرد در فناوری سرامیک‌های همزمان زینتر شده دما پایین (Low Temperature Co-fired Ceramic) LTCC، چالش اصلی در پژوهش حاضر می‌باشد. در این راستا افزودن شیشه بهترین روش و با کمترین هزینه برای دستیابی به سرامیک‌های متراکم شده در دمای زینتر پایین است. لذا پژوهش حاضر بر امکان کاهش دمای زینتر سرامیک LZT متراکم با ویژگی‌های دی‌الکتریک مطلوب در حضور افزودنی شیشه‌های سیستم‌های جدید استوار می‌باشد. همچنین بررسی‌های ریزساختاری سرامیک‌های LZT حاوی افزودنی شیشه و بررسی تشکیل فاز مایع و رفتار ترشوندگی سرامیک LZT با شیشه‌ها نیز مد نظر می‌باشد.

بر اساس بررسی رفتار حرارتی پودر مخلوط پیش ماده‌های LZT مشخص شد که دمای 1145°C برای سنتز سرامیک LZT مناسب است.

بر اساس نتایج به دست آمده، دمای زینتر سرامیک LZT 1100°C به دست آمد. با هدف کاهش دمای زینتر به زیر دمای 1000°C از شیشه‌های سیلیکاتی و بوراتی استفاده شد. شیشه سیلیکاتی (با تبلور فاز دایوپساید) با وجود دستیابی به شیشه - سرامیک‌هایی با خواص دی‌الکتریک مناسب در دماهای زینتر پایین، افزودنی مناسبی برای سرامیک LZT محسوب نشدند. دلیل این امر عدم تشکیل فاز مایع مناسب در سرامیک LZT تا دمای 1000°C توسط شیشه‌های این سیستم با بررسی‌های میکروسکوپ صفحه داغ (Hot Stage Microscopy (HSM)) بود. در نتیجه این سیستم شیشه توانایی کاهش دمای زینتر سرامیک LZT را نداشت.

شیشه‌های بوراتی در سیستم دوتایی $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ توانایی تشکیل فاز مایع و تر کردن کامل سرامیک LZT در دماهای کمتر از 730°C را با بررسی‌های HSM نشان داد. همچنین بررسی‌های میکروسکوپی تشکیل فازهای بیسموت تیتاناتی را در فصل مشترک شیشه بیسموت بوراتی با سرامیک LZT تایید کرد. سرامیک‌های LZT حاوی $1\text{-}6\text{ wt\%}$ شیشه‌های $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ زینتر شده در دماهای 950°C - 900°C به دانسیته 95% - 90% دانسیته تئوری رسیدند. خواص دی‌الکتریک سرامیک‌های LZT حاوی شیشه‌های بیسموت بوراتی حدود $23\text{-}25$ ، $\epsilon_r = 65000 - 20000$ و $Q \times f = 20000 - 60000$ ppm/°C و $T_f = (-13) - (-16)$ ppm/°C اندازه‌گیری شد. همچنین سرامیک‌های $\text{Li}_2\text{ZnTi}_3\text{O}_8\text{-TiO}_2$ حاوی شیشه بیسموت بوراتی $62\text{-}5\text{B}_2\text{O}_3\text{-}37\text{-}5\text{Li}_2\text{O}$ به خواص دی‌الکتریک مطلوب $25\text{-}27$ ، $\epsilon_r = 47000 - 9000$ و $Q \times f = 9000$ و ضریب دمایی فرکانس تشدید بسیار چشمگیر $T_f = (+5) - (-0/1)$ ppm/°C رسیدند.

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

سنتز نانوکامپوزیت Al(1050)-Al₂O₃-PTFE و بررسی خواص سایشی آن

دانشجو: سید عارف معماری فرد

اساتید راهنما: دکتر محمدرضا رحیمی پور، دکتر ایمان مباشرپور

استاد مشاور: دکتر ابوذر مسعودی

چکیده: هدف این پژوهش سنتز نانوکامپوزیت Al-Al₂O₃-PTFE بود که در طی دو مرحله اصلی انجام شد. مرحله اول سنتز نانولوله‌های آلومینا بر روی زیرلایه آلومینیوم با استفاده از روش آندایزینگ آلومینیوم است که با کنترل شرایط انجام فرایند، نانولوله‌های بهینه تشکیل شد. مرحله دوم نفوذ و پخش ذرات PTFE به داخل و اطراف نانولوله‌های تولیدشده توسط فرایند الکترولس نیکل بود تا در نهایت محصول بدست‌آمده نانوکامپوزیتی با خواص سایشی و اصطکاکی بهینه باشد. جهت بررسی اندازه قطر نانولوله‌ها از آنالیز FESEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی) استفاده شد. آنالیز AFM (میکروسکوپ نیروی اتمی) جهت بررسی توپوگرافی و زبری سطح نانوکامپوزیت مورد استفاده قرار گرفت. میزان نفوذ نانوذرات PTFE به درون حفرات آلومینا توسط آنالیز منطقه‌ای FESEM انجام شد و در نهایت با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، با نفوذ نانوذرات PTFE به داخل نانولوله‌های آلومینا، ضریب اصطکاک سطح در مقایسه با نمونه صرفاً آندایز شده (۱/۲-۱/۶)، به مقدار بین ۰,۱ تا ۰,۲ در بهترین حالت رسید. با توجه به عمق نفوذ ذرات PTFE در داخل حفرات آندایز، می‌توان عمر روانکاری را نیز افزایش داد به گونه‌ای که در نمونه EV-2X PTFE تا مسافت سایش حدود ۱۴۰۰ متر ضریب اصطکاک کمتر از ۰,۲ شد. تاثیر میزان PTFE مورد استفاده در فرایند نفوذ ذرات بسیار حائز اهمیت بوده، به گونه‌ای که میزان بهینه انتخاب‌شده ۱۲۰۰ میلی گرم بوده و بیشتر از این مقدار سبب آگلومره شدن در حین فرایند شده و اختلال در نفوذ ذرات را منجر می‌شود. تست سایش پین روی صفحه با اعمال بار ۵ نیوتنی با استفاده از پین فولادی تندبر بر روی نمونه‌های آماده‌شده انجام شد. براساس تصاویر SEM از مسیر سایش در دو ناحیه I و III در نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت نمونه‌ها، مکانیسم سایش بررسی شد. مکانیسم سایش در ناحیه اول تشکیل فیلم انتقالی توسط ذرات PTFE بوده و مکانیسم سایش چسبان در ابتدای ناحیه سوم سایش، مکانیسم غالب است. بررسی توپوگرافی سطح در نمونه‌ها نشان می‌دهد که با انباشت و رسوب ذرات PTFE در حفرات و بین قله‌های موجود در سطح آن‌ها، باعث کاهش زبری سطح شده‌است اما این کاهش زبری که با استفاده از ذره پلیمری اعمال شده‌است و همان طور که نتایج تست سایش و ضریب اصطکاک نشان می‌دهند، اثر منفی بر ضریب اصطکاک ندارد، لذا کاهش زبری ممکن است بتواند باعث افزایش سطح تماس شود (که در نتیجه آن ضریب اصطکاک افزایش و سایش افزایش یابد)، اما در اینجا به دلیل حضور ذرات پلیمری که دارای کمترین انرژی سطحی با ضریب اصطکاک پایین هستند، کاهش زبری سطح عامل تأثیرگذار در راستای افزایش ضریب اصطکاک نیست.

کلمات کلیدی: نانوکامپوزیت، لایه اکسید آندی، آندایزینگ آلومینیوم، الکترولس.

اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران

اعضای حقوقی ویژه انجمن سرامیک ایران



شرکت سهامی شیشه قزوین (سه)
Ghazvin Glass Co

شرکت سهامی شیشه

قزوین (عام)

مدیرعامل: مهندس

محمدرضا علاقیندیان

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان استاد مطهری، خیابان شهید سرافراز، پلاک ۳۴

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۷۳۱۵۱۵

نشانی سایت: www.ghazvinglass.com



شرکت پویا همراه سرام (بازرگانی)

و مهندسیین مشاور)

مدیرعامل: مهندس محسنی طارمسری

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

تهرانپارس، خیابان رشید، نبش خیابان ۱۴۴ غربی، ساختمان امیرکبیر،
طبقه ۲،

واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۲۹۵۴۹۸

نشانی سایت: www.phceram.com

Glassworks Hounsell Ltd

مدیرعامل:

Mr. William Brinkman

آدرس دفتر مرکزی: Glassworks Hounsell, Park Lane,

Halesowen, West Midlands, United Kingdom

تلفن دفتر مرکزی:

۴۴-(۰)-۱۳۸۴۵۶۰۶

فاکس: ۴۴-(۰)-۱۳۸۴۵۶۱۳۶

نشانی سایت:

<http://www.glassworkshounsell.co.uk>



GLASSWORKS HOUNSELL
MANUFACTURING IN THE HEART OF BRITAIN



لعابیران

مدیرعامل: دکتر نعمتی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان

ونک، خیابان گاندی شمالی، کوی شهید

صانعی، شماره ۲۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۹۵۱۴۱-۲

نشانی سایت: www.loab.iran.com

اعضای حقوقی ممتاز انجمن سرمایه‌های ایران

دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

مدیریت: دکتر متین

آدرس: دزفول، کوی آزادگان، دانشگاه آزاد اسلامی

تلفن دفتر مرکزی:

۰۶۴-۱۶۲۶۲۰۹۰

نشانی سایت:

www.iaud.ac.ir

چینی بهداشتی آر میتاژ

مدیرعامل: مهندس محمدحسین وکیلی مقدم

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، پاساژ تک،

طبقه دوم، آپارتمان شماره ۷

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۷۹۰۲۲۷

نشانی سایت: http://www.armitagesw.com

شایراد تجارت پارس

مدیرعامل: مهندس اتحادی

آدرس: تهران، خیابان آفریقا،

خیابان فرزانه غربی، پلاک ۸۰، واحد

۱۱

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۴۸۳۱۰

نشانی سایت: www.shyrad.com

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات خوزستان

مدیریت: دکتر لک

آدرس: اهواز، سهراب فرودگاه، دانشگاه آزاد

واحد علوم و تحقیقات

تلفن دفتر مرکزی: ۰۶۱-۳۴۴۵۷۱۷۴

نشانی سایت: www.khouzestan.srbiau.ac.ir

کاشی گرانیب و کاشی لعاب زهره

مدیرعامل: مهندس خیاط

آدرس دفتر مرکزی: خراسان رضوی، کاشمر، کیلومتر ۱۲ محور



کاشمر به مشهد، جنب

شهرک صنعتی، شرکت کاشی

زهره کاشمر

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۵۵۳۸۳۵۹۱

نشانی سایت: www.zohretilco.com

کاشی کسری

مدیرعامل: مهندس روشنفکر

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان آفریقا،

خیابان ناهید شرقی، پلاک ۱۲، طبقه ۳ و ۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۱۰۱۴۰

نشانی سایت:

www.kasratileco.com

فراورده‌های نسوز آذر

مدیرعامل: مهندس سلیمانی فرد

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از پارک ساعی،

کوچه ساعی ۲، روبروی مدرسه پسرانه هاتف، پلاک ۳۱، واحد منفی ۱

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۸۸۲۰۹۵

نشانی سایت:

www.azarref.ir

شرکت فراورده‌های نسوز آذر
AZAR REFRACTORIES CO.کاشی فیروزه مشهد

مدیرعامل: مهندس مسعود فولادکار

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار سجاده، خیابان بیستون ۲، مجتمع

تجاری طوس، طبقه ۵ و ۶

صندوق پستی: ۹۱۳۷۵-۴۴۳۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۷۶۷۰۰۰۱

نشانی سایت: www.firoozehtile.com

فراورده‌های نسوز ایران

مدیرعامل: مهندس لقمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان بهار شیراز،

خیابان سلیمان خاطر، بعد از ملایری پور، پلاک ۵۱،

واحد ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۴۳۴۰۸

نشانی سایت: www.irefco.ir



اعضای حقوقی انجمن سرمایه‌های ایران

آپادانا سرام

مدیر عامل: مهندس نجفی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان

ملاصدرا، روبروی بیمارستان بقیه‌الله،

کوچه گلدهشت، گلدهشت یکم، پلاک ۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۴۳۱۰۰۰۰

نشانی سایت: www.apadanaceram.com

آریا تهران سرام

مدیر عامل: محمد علی سلیمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیرازی

جنوبی، خیابان اتحاد، پلاک ۴، واحد ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۵۹۶۱۰



IRAN I.M.D.

ایران ایمدی

مدیر عامل: مهندس مطلب لو

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان شیراز شمالی، نبش کوچه

شهریار، ساختمان ۳۳، واحد ۱۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۷۰۷۱

نشانی سایت: www.imdco.net

اشکان پارت آفرین

مدیر عامل: دکتر غفاری

آدرس دفتر مرکزی: کرج، گلشهر ویلا رودکی

غربی، پلاک ۲۷۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۶۳-۶۶۷۰۸۳۶



گروه پاترون (پات روشن

نیکتا)

مدیر عامل: مهندس عباس

کلاتر

آدرس: تهران، خیابان ملاصدرا، پلاک ۱۶۲، طبقه چهارم

تلفن: ۰۲۱-۸۸۲۱۰۸۹۰

نشانی سایت: www.patron.group

پارس کائولن

مدیر عامل: مهندس صمدی

آدرس: طیس، نرسیده به جو خواه،

معدن کائولن پارس

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۵۵۷۳

نشانی سایت: www.parskaolin.com

پارس کائولن

پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ

مدیریت: دکتر رنجبر

آدرس دفتر مرکزی: بزرگراه

صیاد شیرازی شمالی، خروجی لویزان، میدان حسین‌آباد، خیابان

وفامنش، نبش کوچه شمس، پلاک ۵۹

تلفن: ۰۲۱-۲۲۹۴۴۱۸۴

نشانی سایت: www.icrc.ac.irپژوهشگاه
مواد و انرژی

پژوهشگاه مواد و انرژی

مدیریت: دکتر صالحی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین،

انتهای خیابان الوند، کوچه جوبین، پلاک ۱۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۱۶۲۶-۲۷

نشانی سایت: www.merc.ac.ir

پیشرو ذوب اتور

مدیر عامل: مهندس ملایی داریانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان احمد

قصیر، کوچه یکم، پلاک ۶ واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۴۹۸۸۴

نشانی سایت: www.pishroozob.com

پیشگامان سرمایه‌های برسام

مدیر عامل: مهندس سرجهانی

آدرس دفتر مرکزی: شیراز، بلوار امیرکبیر برج صنعت

وردی ۳، طبقه ۴، واحد ۴۱۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۳۸۳۸۵۴۴۴

نشانی سایت: www.barsamceram.comبرسام
شرکت پیشگامان سرمایه‌های



تولیدی و مهندسی نسوزین

تولیدی و مهندسی نسوزین

مدیر عامل: مهندس زرعیان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان

آرژانتین، خیابان بیهقی، خیابان دوازدهم

شرقی، پلاک ۲، طبقه ۳، شماره ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۰۴۵۹۱

نشانی سایت: www.nasoozin.com**تولیدی و صنعتی سامان کاشی**

مدیر عامل: مهندس سیدمحسنی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد،

بین نفت و مدرس، شماره ۲۳۷، طبقه ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۵۸۸۲۱

نشانی سایت: www.samantile.com**تهیه و تولید مواد اولیه آریاکانی اسپادانا**

مدیر عامل: دکتر پویامهر

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان ملاصدرا، خیابان پانزدهم،

پلاک ۳۴، واحد ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۱۷۵۳۷-۸

تهیه و تولید خاک نسوز استقلال آباده

مدیر عامل: مهندس زارعی

آدرس دفتر مرکزی: آباده، چهارراه جوادیه

تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۱-۴۴۳۳۷۹۹۷

چینی اصفهان

مدیر عامل: مهندس جهانبانی

آدرس: اصفهان، جاده دولت آباد، خیابان بهارستان، اولین فرعی سمت

چپ، خیابان خوشانی

تلفن دفتر مرکزی:

۰۳۱-۴۵۸۳۶۲۰۰

**تهیه و تولید مواد نسوز کشور**

مدیر عامل: مهندس باقری

آدرس دفتر مرکزی: تهران، یوسف آباد،

خیابان ابن سینا، نبش خیابان ۳۱،

شماره ۸۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۱۲۵۶۲

نشانی سایت: www.irrep.com**چینی زرین ایران**

مدیر عامل: مهندس قصابی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک،

خیابان ونک، ساختمان شماره ۲۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۰۰۴۴

نشانی سایت: www.zariniran.com

چینی زرین ایران

چینی بهداشتی ارس

مدیر عامل: مهندس حسین پور

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان ملاصدرا، خیابان شیخ بهایی،

میدان شیخ بهایی، برج صدف، طبقه ۴، واحد ۶۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۰۶۵۰۸

نشانی سایت: www.arasind.com**دانشگاه ملایر**

مدیریت: دکتر علیرضا سوری

آدرس: دانشگاه ملایر، دانشکده فنی و مهندسی،

گروه مهندسی مواد

تلفن: ۰۸۱-۳۲۳۵۵۴۶۵

نشانی سایت: www.malayeru.ac.ir

دانشگاه ملایر

**خاک چینی ایران**

مدیر عامل: مهندس نوروزی

آدرس دفتر مرکزی: خیابان ولیعصر، نرسیده به

پل پارک وی، کوچه خاکزاد، پلاک ۲۱، طبقه اول

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۱۸۱۰۷

شرکت صنایع
خاک چینی ایران**رنگدانه‌های سرامیکی گهرفام**

مدیر عامل: مهندس مهینی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، شهرک صنعتی خضراء، بلوار افاقیا،

خیابان زیتون

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۳-۷۲۷۲۴۴۸

**درسا سرام ایساتیسی**

مدیر عامل: مهندس ندافیان

آدرس دفتر مرکزی: سعادت آباد،

بلوار فرهنگ، نبش خیابان ۲۰ شرقی، پلاک ۲، طبقه ۴ شمالی

تلفن: ۰۲۱-۲۲۳۸۳۱۶۰

نشانی سایت: www.Doramic.com



Sara Loab Maybod.co

سارا لعاب میبد

مدیرعامل: مهندس جعفری پور
میبدی

آدرس دفتر مرکزی: میبد، شهرک
صنعتی جهان آباد، بلوار نسترن، انتهای
بلوار سمت راست

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۲-۷۷۷۲۲۲۸

نشانی سایت: www.saralaab.com



سارا کاشی سپاهان

مدیرعامل: مهندس باطنی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان
سجاد، ابتدای خیابان ارباب، جنب بانک
صادرات، مجتمع کسری، واحد ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۲۷۱۱۷

نشانی سایت: www.saratile.com



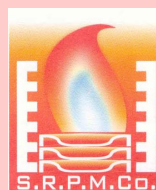
سرامیک‌های صنعتی اردکان

مدیرعامل: مهندس برهانی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان،
میدان آزادی، ابتدای خیابان
سعادت‌آباد، پلاک ۱، طبقه ۴، واحد ۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۸۷۷۷۲

نشانی سایت: www.aic.ir



ساگار و قطعات نسوز

مدیرعامل: مهندس معرفتی

آدرس: مرند، کیلومتر ۵ جاده قدیم جلفا،
شهرک صنعتی سرامیک

تلفن: ۰۴۱-۴۲۲۲۳۳۸۲

نشانی سایت: www.saggarmfg.com



شرکت فیبرونا

مدیرعامل: مهندس شاهپوری

آدرس دفتر مرکزی: تهران،
خیابان میرزای شیرازی، نیش استاد
مطهری، شماره ۲۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۲۳۳۵۵

نشانی سایت: www.fiberona.com



شرکت صنایع سرام آرا

مدیرعامل: مهندس آهنی‌ها

آدرس دفتر مرکزی: تهران،
خیابان سپهبد قرنی، بالاتر از چهارراه طالقانی، خیابان شاداب غربی،
پلاک ۳۳، طبقه ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۹۱۰۴۵

نشانی سایت: www.ceramara.ir



صنایع کاشی زرین خراسان

مدیرعامل: مهندس عمید متشرع

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان
ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، پلاک ۹۹،
طبقه اول

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۶۷۶۸۱

نشانی سایت: www.zarrintile.com



شرکت مهندسی بازرگانی

درداران سریر

مدیرعامل: مهندس طهماسبی

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان ولیعصر، خیابان فتحی شقاقی، میدان سلماس، پلاک ۳، طبقه
۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۳۷۳۶۶-۸

نشانی سایت: www.sarirco.com



صنایع کاشی و سرامیک الوند

مدیرعامل: مهندس

هوشیاری

آدرس دفتر مرکزی:

تهران، خیابان آفریقا، بالاتر از چهارراه اسفندیار، کوچه شهید سعیدی،
پلاک ۲۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۵۷۸۱۱

نشانی سایت: www.alvancer.com



صنایع کاشی نیلوفر

مدیرعامل: مهندس نوربخش

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار
فردوسی، مجتمع تجاری اسکان، طبقه ۱،
واحد ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۷۶۲۳۳۳۶

نشانی سایت: www.nilooftile.com

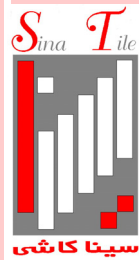


صنعت سرام

مدیرعامل: مهندس غفاری

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان فرجام، بین چهارراه خاور و ولیعصر، پلاک ۶۲۰ واحد ۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۷۲۳۵۸۹



صنایع کاشی و سرامیک سینا

مدیرعامل: مهندس عزیزیان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد، بعد از میدان مادر، پلاک ۲۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۷۲۳۰۱

نشانی سایت: www.sinatile.ir

فرآورده‌های نسوز پارس

مدیرعامل: مهندس حیدرپور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، برج آیین ونک، طبقه ۷، واحد ۷۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۸۶۶۹۲

نشانی سایت: www.pars-ref.ir

فرآورده‌های نسوز آذر شهاب تبریز

مدیرعامل: مهندس صدیقی

آدرس دفتر مرکزی: تبریز، خیابان راه آهن، ایستگاه سرچشمه، مجتمع تجاری میلاد، طبقه ۳، واحد ۳۰۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۴۱-۳۵۵۱۸۴۴۱

نشانی سایت: www.azarshahab.com



کاشی تیما

مدیرعامل: دکتر ناصر

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، شهرک صنعتی توس، فاز ۲، اندیشه ۲، انتهای دانش ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۵۴۱۳۹۹۰

نشانی سایت: www.tima-tile.com



کائولین و خاک‌های نسوز خراسان

مدیرعامل: مهندس زیارت نیا

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار فلسطین، فلسطین ۱۴، پلاک ۲۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۷۶۷۳۰۳۴-۵

نشانی سایت: www.kaolin-co.com



کاشی طوس

مدیرعامل: مهندس توکلی فرد

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، خیابان سناباد، جنب داروخانه سناباد، ساختمان ۴۶۵، طبقه ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۸۴۱۶۴۱۸

نشانی سایت: www.toostileco.com



کاشی ستاره میبد

مدیرعامل: مهندس خالقیه

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، شیراز جنوبی، گرمسار غربی، کوچه بهار، پلاک ۲۶، طبقه ۴، واحد ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۴۷۴۴

نشانی سایت: www.setaretile.com



کاشی مرجان

مدیرعامل: مهندس معصومی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهار باغ بالا، کوچه کاویان، پلاک ۴۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۲۴۸۰۱۹

نشانی سایت: www.marjantileco.com



کاشی کورد

مدیرعامل: مهندس چنگیزی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، سهروردی شمالی، هویزه شرقی، پلاک ۳۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۳۵۲۳۳۳۳

نشانی سایت: www.cordgroup.com



کاشی نوآوران

مدیرعامل: مهندس طباطبایی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، میبد، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار مریم

تلفن: ۰۳۵۳-۲۳۷۲۱۹۳

نشانی سایت: www.noavaranceramics.ir



کاشی مسعود ایران

مدیرعامل: مهندس فرشادپور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان آفریقای شمالی، ساختمان مرکز تجارت ایران، طبقه ۹، واحد ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۶۲۱۲۶۳۵-۳۷

نشانی سایت: www.masoudtile.com



شرکت گلسار فارس

گلسار فارس

مدیر عامل: مهندس فرحمند

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان کریم‌خان
زند، خیابان سپهبد قرنی، خیابان برادران شاداب،
پلاک ۳۳، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۹۰۸۰۴۴

نشانی سایت: www.golsarfars.com**کسری لعاب مبیّد**

مدیر عامل: مهندس میرحسینی

آدرس: یزد، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار مریم، فرعی سمت راست
تلفن: ۰۳۵۳-۲۳۷۲۹۳۱

**لعاب مشهد**

مدیر عامل: دکتر یوسفی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان
ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، کوچه اتحاد، پلاک ۱۴، طبقه ۲
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۳۶۹۶

نشانی سایت: <http://www.mashhadglaze.com>**لعاب مارال مبیّد**

مدیر عامل: دکتر داود قهرمانی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، مبیّد،
شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار
نسترن شمالی، خیابان صنعت ۹

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵-۳۲۳۷۴۰۹۶-۷

نشانی سایت: www.marallob.ir**مجتمع تولید چینی بهداشتی نوین سرام**

مدیر عامل: مهندس حقی

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، چهارراه
ابوطالب، مجتمع برجیس، طبقه دوم، واحد ۳
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۱۷۲۷۶۰۳۳

نشانی سایت: www.novinceram.com**لعاب یاس فارس**

مدیر عامل: مهندس کریمی علویچه

آدرس: شیراز، کیلومتر ۳ جاده شیراز بوشهر، بعد از پل شهید علیپور،
جاده ایستگاه شماره ۱ گاز

تلفکس: ۰۷۱۳-۸۳۰۱۹۹۰

مجتمع صنعتی اردکان (چینی روز)

مدیر عامل: مهندس ضرابیه

آدرس دفتر مرکزی: یزد، چهارراه یزد
باف، ساختمان یزدباف، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۳-۵۲۲۹۷۶۰

نشانی سایت: www.chinirose.com**مجتمع تولیدی چینی مقصود**

مدیر عامل: مهندس ایمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان
ولیعصر، بالاتر از پارک ساعی، نبش
کوچه ۳۴، پلاک ۱۱۵۹، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۶۹۸۵

نشانی سایت: www.maghsoudporcelain.com**معدنی و صنعتی سوراوجین عقیق**

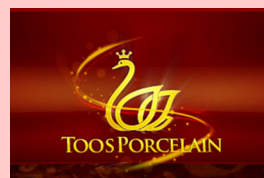
مدیر عامل: مهندس معصومی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، سعادت
آباد، خیابان علامه شمالی، انتهای کوچه
اقبال ملی، پلاک ۱، واحد ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۸۱۳۷۳

نشانی سایت: www.iranclay.com

شرکت معدنی و صنعتی سوراوجین عقیق

**مجتمع کارخانجات تولیدی**

توس چینی

مدیر عامل: مهدی کاملان نجار

آدرس دفتر مرکزی: مشهد،

ضلع غربی میدان احمدآباد، پلاک ۱۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۸۴۱۶۸۸۰

نشانی سایت: www.toosporcelain.com

مقره سازی ایران



شرکت مقره سازی ایران
«مانه»
Iran Insulator Co.

مدیر عامل: دکتر کورنگی
آدرس دفتر مرکزی: تهران،
خیابان بهار جنوبی، کوچه
نیلوفر، شماره ۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۵۲۸۶۴۲

نشانی سایت: www.iraninsulator.com



مفید شیشه

مدیر عامل: مهندس موسوی کریمی
آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان
ولیعصر، پایین تر از میدان ونک، شماره
۲۵۴۰، طبقه ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۶۴۸۱۱

نشانی سایت: www.mofidglass.com

مهفام جام (سهامی خاص)

مدیر عامل: مهندس دهقان
آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین، خیابان احمد قصیر،
چهاردهم غربی، پلاک ۲۶، طبقه ۳
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۱۵۰۱۵

تقویم رویدادهای سرامیک

دوازدهمین کنگره سرامیک ایران
 دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
 ۱۰-۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۸
www.lcers.ir

شانزدهمین نمایشگاه بین المللی تجهیزات و مصالح ساختمانی پروژه قطر
 مرکز بین المللی نمایشگاهی دوحه- قطر
 ۹-۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۸
<http://www.projectqatar.com/>

XVI ECerS Conference
 Turin
 June, 16-20 2019
<https://www.ecers2019.org/>

25th International Congress on Glass (ICG2019)
 Boston Park Plaza Hotel and Towers, Boston, Massachusetts, USA
 June, 9-14 2019
<http://ceramics.org/meetings/icg2019>

4th International Conference on Innovations in Biomaterials, Biomanufacturing, and Biotechnologies (Bio-4)
 Toronto, Ontario, Canada
 July, 21-26 2019
<http://ceramics.org/gfmat-2-and-bio-4>

2019 China International Exhibition for Ceramics Technology, Equipment and Products (Ceramics China @ Unifair 2019)
 China
 June, 18-21 2019
<http://en.ceramicschina.com.cn/>

Ceramica West Africa
 Lagos, Nigeria
 June, 27-29 2019
<http://www.ceramicafrica.com/>

2nd Global Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development (GFMAT-2)

Toronto Canada

July, 26-27 2019

<http://ceramics.org/gfmat-2-and-bio-4>

Ceramitec conference

Munich Germany

September, 19-20 2019

<http://www.ceramitec.com/>

