

سنتز و مشخصه‌یابی هیدروکسی‌آپاتیت با مورفولوژی گل قاصدکی با استفاده از مایسل‌ها تحت شرایط هیدروترمال

مهرناز سالاریان^{۱*}، مهران صولتی هاشجین^۲، سیده‌سارا شفیعی^۲ و علی نعمتی^۳

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد

^۲دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پزشکی

^۳دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مواد

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۷/۴/۱۱، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۸۷/۹/۲۶، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۸۷/۱۰/۵

چکیده در مقاله حاضر، سنتز ذرات هیدروکسی‌آپاتیت با مورفولوژی گل قاصدکی (مورفولوژی متفاوتی که تاکنون گزارش نشده است) با استفاده از مایسل‌ها و تحت شرایط هیدروترمال بررسی شده است. ترکیب فازی و مورفولوژی و اندازه ذرات رسوب حاصل با استفاده از تکنیک‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، انتقال فوری مادون قرمز (FT-IR) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مطالعه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که سرفکتانت کاتیونی ستیل‌تری‌متیل‌آمونیم‌برماید (CTAB) و کمک‌سرفکتانت غیر یونی پلی‌اتیلن‌گلایکول با جرم مولکولی ۶۰۰ (PEG 600) می‌توانند در نقش الگو و کمک‌الگو در سنتز هیدروکسی‌آپاتیت گل قاصدکی عمل کنند. مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد هر یک از قاصدک‌ها دندان‌هایی با قطر حدود ۱۰۰ الی ۱۵۰ نانومتر و نسبت طول به قطر حدود ۲۰ دارند. بررسی‌های طیف‌سنجی فروسرخ به روش انتقال فوری نشان می‌دهد نانو ذرات سنتز شده کمی کربنات دارند. در ادامه عمل الگو مانند CTAB و کمک‌الگو مانند PEG بحث خواهد شد.

کلمات کلیدی هیدروکسی‌آپاتیت، سنتز، سرفکتانت، الگو، مورفولوژی، گل قاصدک.

Synthesis and Characterization of Dandelion-Like Hydroxyapatite Via a Micelle-Directed Hydrothermal Method

M. Salarian^{*1}, M. Solati Hashjin², S.S. Shafiei² and A. Nemati³

¹Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University

²Faculty of Biomedical Engineering, Amirkabir University of Technology

³Faculty of Materials Engineering, Sharif University of Technology

Abstract In this paper, synthesis of HAp particles with Dandelion-like morphology, a unique morphology rarely reported previously has been studied via a micelle-directed hydrothermal method. The phase composition, morphology and particle size of synthesized powder were investigated using X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) techniques and Scanning electron microscopy (SEM). Results revealed that cationic surfactant cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) and non-ionic co-surfactant polyethylene glycol 600 (PEG 600) can act as template and co-template, respectively for synthesis of dandelion-like HAp. SEM observations showed HAp crystals have a uniform dandelion-like morphology with an average diameter of about 100-150 nm and aspect ratio of about 20 for each tooth. Fourier transform infrared spectroscopy study revealed that a certain level of carbonate substitution has taken place in the product. The template action of CTAB and co-template action of PEG 600 used to regulate the nucleation and crystal growth are discussed.

Keywords Hydroxyapatite, Synthesis, Surfactant, Template, Morphology, Dandelion-Like.

*عهده‌دار مکاتبات

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی مواد.

تلفن: ۰۲۱-۶۴۵۲۳۳۶۹، دورنگار: ۰۲۱-۶۶۴۶۸۱۸۶، پیام‌نگار: mehrnazsalarian@gmail.com

۱- مقدمه

هیدروکسی آپاتیت پایدارترین عضو خانواده فسفات‌های کلسیم در دما و pH بدن انسان است [۱]. این ماده معدنی شبکه هگزاگونال و فرمول شیمیایی $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ دارد که به دلیل تطابق ساختاری و شیمیایی آن با فاز معدنی بافت سخت بدن انسان (استخوان و دندان) از زیست‌سازگاری بسیار مطلوبی برخوردار است و کاربردهای گسترده‌ای در حوزه پزشکی دارد [۲]. برای مثال می‌توان به کاربردهایی مانند جایگزینی استخوان، سیمان استخوان و دندان، مهندسی بافت استخوان، مواد دندان‌تری ترمیمی، مواد پیشگیری کننده از آسیب‌های دندانی، سیستم‌های رهایش دارو، پوشش دهی کاشتنی‌های فلزی به‌ویژه تیتانیومی و ساخت بیوسنسورها اشاره کرد [۳، ۴].

با توجه به کاربردهای اشاره شده، تهیه پودر هیدروکسی آپاتیت، چه به صورت منبع اولیه‌ای برای ساخت قطعات و چه به صورت ماده اولیه‌ای به منزله فاز دوم در کامپوزیت‌ها، از چند دهه پیش مورد توجه دانشمندان علم مواد و بیومواد قرار گرفته است. در سال‌های اخیر با گسترش تحقیقات بر روی مواد هیدروکسی آپاتیت نانومتری، محققان به درک فزاینده‌ای از خواص این ماده رسیده‌اند [۵].

بسیاری از خواص هیدروکسی آپاتیت از جمله خواص مکانیکی مانند استحکام شکست و چقرمگی شکست، ویژگی‌های سطحی، زیست‌سازگاری، زینترپذیری و قابلیت حل شدن، از شکل و ابعاد کریستالیت این ماده تأثیر می‌پذیرد. بنابراین کنترل مورفولوژی کریستال هیدروکسی آپاتیت به‌منزله گسترش کاربردهای این ماده خواهد بود. تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه سنتز هیدروکسی آپاتیت با مورفولوژی‌های مختلف صورت گرفته است. از آن جمله می‌توان به سنتز آپاتیت سوزنی شکل با استفاده از روش‌هایی

نظیر شیمی تر یا هیدروترمال اشاره کرد [۶]. ذرات میله مانند هیدروکسی آپاتیت با هدف بهبود خواص مکانیکی نامطلوب این ماده، از روش رسوب‌گیری از محلول و با استفاده از ستیل‌تری‌متیل آمونیوم بر مایند به‌منزله عامل کنترل‌کننده جوانه‌زنی و رشد کریستال، به دست آمدند [۷]. سنتز هیدروکسی آپاتیت نانومتری با مورفولوژی کروی شکل نیز بارها گزارش شده است [۸]. هیدروکسی آپاتیت روبان مانند نیز نمونه نادری است که دانشمندان بدان دست یافته‌اند [۹]. ولیکن هیدروکسی آپاتیت گل قاصدکی^۱ مورفولوژی متفاوتی است که تاکنون گزارش نشده است.

در سال‌های اخیر الگوها یا مایسل‌ها برای کنترل شکل و اندازه نهایی ذرات هیدروکسی آپاتیت مورد توجه قرار گرفتند. محققان به استفاده از سرفکتانت کاتیونی ستیل‌تری‌متیل آمونیوم بر مایند به‌منزله عامل الگوساز، برای کنترل مراحل جوانه‌زنی و رشد کریستال هیدروکسی آپاتیت روی آوردند [۱۰].

در این تحقیق از کمک سرفکتانت غیریونی پلی‌اتیلن‌گلايکول برای تشویق عمل الگوسازی CTAB و ایجاد الگوهای منشعب^۲ استفاده شد و شرایط بهینه برای تهیه کریستال‌های هیدروکسی آپاتیت با مورفولوژی گل قاصدکی به دست آمد. هیدروکسی آپاتیت گل قاصدکی به علت افزایش گیر مکانیکی، شرایط لازم برای بهبود خواص مکانیکی نامطلوب این ماده را دارد. در نتیجه استعداد بسیار خوبی برای استفاده در ساخت کامپوزیت‌ها و نیز در مهندسی بافت استخوان دارد.

علاوه بر آن، هیدروکسی آپاتیت گل قاصدکی به علت برخورداری از ویژگی‌های سطحی خاص و سطح ویژه بالا، امکان گشودن دریچه‌ای بر روی کاربردهای نوین این ماده در زمینه‌های کاتالیست، پزشکی، مهندسی شیمی و مهندسی محیط زیست را فراهم می‌سازد.

1. Dandelion-like.
2. Branched Micelle.

۲- نحوه انجام آزمایش

۱-۲ سنتز پودر

برای تهیه هیدروکسی آپاتیت، از نمک‌های نترات کلسیم چهارآبه (Merck Prolabo 22 384.298) و دی‌آمونیم هیدروژن فسفات (Merck Prolabo 21 306.293) به ترتیب به‌منزله منبع یون کلسیم و یون فسفات استفاده شد. ابتدا محلول آبی نمک فسفات حاوی ستیل‌تری‌متیل‌آمونیم برماید (CTAB) (Merck 102342) با استفاده از آب دوبار تقطیر شده، تهیه شد. pH محلول با استفاده از اسیداستیک خالص، برابر با مقدار اسیدی ۴/۵ تنظیم شد. محلول آبی نمک کلسیم با استفاده از آب دوبار تقطیر شده تهیه شد و در حین هم‌خوردن با همزن مغناطیسی به آن پلی‌اتیلن گلیکول (PEG 600) (Merck 8.07483) افزوده شد. محلول حاصل به‌صورت قطره‌قطره به محلول فسفات حاوی CTAB افزوده شد. سوسپانسیون شیرین‌رنگ حاصل بدون پیرسازی به درون محفظه اتوکلاو ساخته شده از فولاد زنگ‌نزن با پوشش داخلی تفلون منتقل شد. محفظه به مدت ۲۲ ساعت درون خشک‌کن در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از پایان عملیات هیدروترمال، سوسپانسیون با سانتریفوژ رسوب‌گیری و رسوب به‌دست آمده سه بار با اتانول و سپس سه بار با آب دوبار تقطیر شده شسته شد. در نهایت داخل خشک‌کن در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲۲ ساعت خشک شد. رسوب حاصل به‌طور دستی ساییده و برای آزمایش‌های مورد نظر آماده شد.

۲-۲ مشخصه‌یابی

ترکیب شیمیایی و درجه کریستالی شدن پودر حاصل به‌روش پراش پرتو ایکس (XRD) و با استفاده از دستگاه پراش سنج مدل

Bruker D4 ساخت آلمان با پرتو CuK α به طول موج ۰/۱۵۴۰۶ نانومتر بررسی شد. محدوده زوایای مورد مطالعه ۸-۷۰ درجه با اندازه گام برابر با ۰/۰۲ بود. برای بررسی پیوندها و بنیان‌های موجود در محصول، مطالعات طیف‌سنجی فرسرخ به‌روش انتقال فوریه با استفاده از دستگاه FT-IR مدل Bruker Equinox 55 ساخت آلمان در محدوده عدد موج $4000-400\text{ cm}^{-1}$ در حالت عبوری انجام شد. نمونه‌ها با KBr مخلوط و سپس پرس شدند و به‌صورت قرص درآمدند و آزمایش شدند. برای بررسی اندازه ذرات و مورفولوژی پودر به‌دست آمده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Philips XL30 و نیز میکروسکوپ الکترونی عبوری مدل Philips EM208 ساخت هلند استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۱-۳ نتایج پراش پرتو ایکس

شکل ۱ الگوی پراش پرتو ایکس محصول سنتز شده را نشان می‌دهد که با الگوی استاندارد پراش پرتو ایکس مربوطه هیدروکسی آپاتیت (مطابق با کارت استاندارد JCPDS 9-432) تطبیق داده شده است. مطابق شکل ۱، می‌توان تمامی پیک‌ها را به هیدروکسی آپاتیت استوکیومتری و بدون نقص نسبت داد. بررسی درجه کریستالی شدن این نمونه با توجه به معیار کمی Pang و همکاران و استفاده از رابطه ۱، نشان داد این نمونه ساختار آپاتیتی با درجه کریستالی نسبتاً کاملی (۰/۹۵) دارد [۱۱].

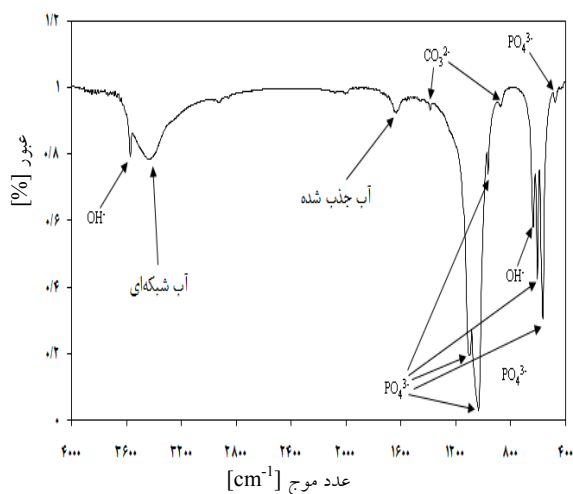
$$X_c = 1 - (V_{112}/I_{300}) \quad (1) \quad \text{رابطه (۱)}$$

I_{300} شدت پیک مربوطه صفحه ۳۰۰، $V_{112/300}$

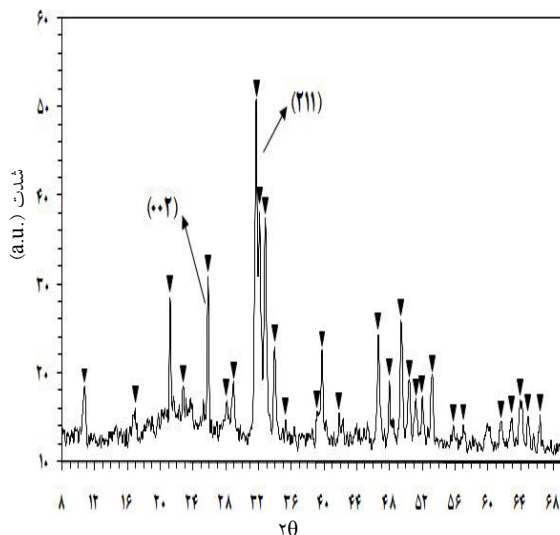
۲-۳. مطالعات طیف‌سنجی فروسرخ به روش انتقال فوریه

نمودار جذب انرژی برحسب عدد موج نمونه در شکل ۲ آمده است. باندهای جذب مشخصه مربوطه به PO_4^{3-} در عدد موج‌های ۴۷۱، ۵۹۴، ۶۰۳، ۹۵۷، ۱۰۳۱ و 1096cm^{-1} [۱۲] به روشنی دیده می‌شود و پیک‌های مربوطه به هیدروکسیل ساختاری و هیدروکسیل شبکه‌ای در 634cm^{-1} و 3570cm^{-1} وجود دارد [۱۳]؛ همان‌طور که برای هیدروکسی‌آپاتیت بلورین انتظار می‌رود.

وضوح باندهای جذبی مشخصه مربوطه به هیدروکسیل نشانه آن است که نمونه در اثر پیرسازی درون اتوکلاو، تاحدی آب جذب شده را از دست داده و به تبلور چشم‌گیری دست یافته است. پیک‌های ظاهر شده در عدد موج‌های ۸۸۲ و 1465cm^{-1} مربوطه به کربنات هستند [۱۰]. ظاهر شدن پیک‌های کربنات به معنی جانشینی مقداری کربن در نمونه‌هاست که می‌تواند در اثر انجام عملیات سنتز در محیط و جذب کربن از گاز CO_2 موجود در هوا در حین عملیات سنتز باشد. عدم حضور فازهای آلی نظیر استات (مربوطه به اسید استیک افزوده شده)،



شکل ۲. طیف FTIR نمونه هیدروکسی‌آپاتیت گل قاصدکی.



شکل ۱. الگوی پراش پرتو ایکس نمونه هیدروکسی‌آپاتیت سنتز شده.

شدت دره موجود بین پیک مربوطه صفحات ۱۱۲ و ۳۰۰ و X_c درصد کریستالی شدن است. نکته دیگری که در این الگوی پراش به چشم می‌خورد تخمین رشد جهت‌دار بلورک‌ها در جهت ۰۰۲ است. اصل بر این است که وقتی رشد در یک جهت رخ دهد، شدت پیک نرمال شده آن صفحه در الگوی پراش پرتو ایکس، از شدت پیک نرمال شده آن در نمونه استاندارد بیشتر خواهد بود. پیک نرمال شده، شدت پیک تقسیم بر شدت پیکی است که در کارت استاندارد دارای شدت ۱۰۰ است. در کارت استاندارد هیدروکسی‌آپاتیت، صفحه ۲۱۱ شدتی برابر ۱۰۰ واحد دارد و شدت صفحه ۰۰۲ برابر با ۴۰ است؛ با نرمال کردن آن، عدد $0/4$ به دست می‌آید. در الگوی پراش پرتو ایکس نمونه مورد بحث، شدت پیک نرمال شده صفحه ۰۰۲ بیش از $0/4$ (عددی معادل با $0/47$) است. این امر نشان می‌دهد که بلورهای هیدروکسی‌آپاتیت گل قاصدکی رشد جهت‌دار خود را در راستای ۰۰۲ انجام داده‌اند.

نگیرند، در نتیجه ساختاری به نام مایسل تشکیل می‌دهند که در آن تمامی سرهای آب‌دوست در مجاورت آب هستند. در غلظت CMC مایسل‌های تشکیل شده کروی شکل هستند. در غلظت‌های بالاتر از CMC تغییر شکلی از مایسل‌های کروی به مایسل‌های میله‌ای شکل رخ می‌دهد و اندازه مایسل‌ها بسیار تحت تأثیر غلظت CTAB است.

در غلظت‌های بالاتر از CMC، اندازه مایسل‌ها با افزایش غلظت CTAB افزایش می‌یابد و در نهایت منتهی به تشکیل مایسل‌های طویل، انعطاف‌پذیر و کرم مانند می‌شود [۱۴]. البته محیط اطراف سرفکتانت در ایجاد اشکال مختلف مایسل‌ها مانند کروی، لایه‌ای، میله‌مانند و منشعب بسیار تأثیرگذار است. در سیستم ما CTAB به محلول فسفات افزوده می‌شود. در یک سیستم آبی، CTAB کاملاً یونیزه می‌شود که نتیجه آن ایجاد یک کاتیون با ساختار انتهایی تتراهدرال است. آنیون فسفات هم ساختار فضایی مشابهی دارد؛ در نتیجه CTAB می‌تواند به خوبی با آنیون فسفات ترکیب شود.

همچنین در این سیستم، غلظت انتخاب شده برای CTAB فراتر از CMC است. لذا می‌توان گفت مخلوط‌های $CTAB-PO_4^{3-}$ ، مایسل‌های میله‌ای شکلی تشکیل می‌دهند که شامل تعداد زیادی گروه‌های PO_4^{3-} است. هنگامی که محلول Ca^{2+} به محلول PO_4^{3-} افزوده می‌شود، خوشه‌های $Ca_9(PO_4)_6$ به طور ترجیحی روی سطح مایسل‌های میله‌ای شکل تشکیل می‌شوند و مایسل‌ها به صورت مکان‌های جوانه‌زنی برای رشد کریستال‌های HAP عمل می‌کنند [۱۲، ۱۰].

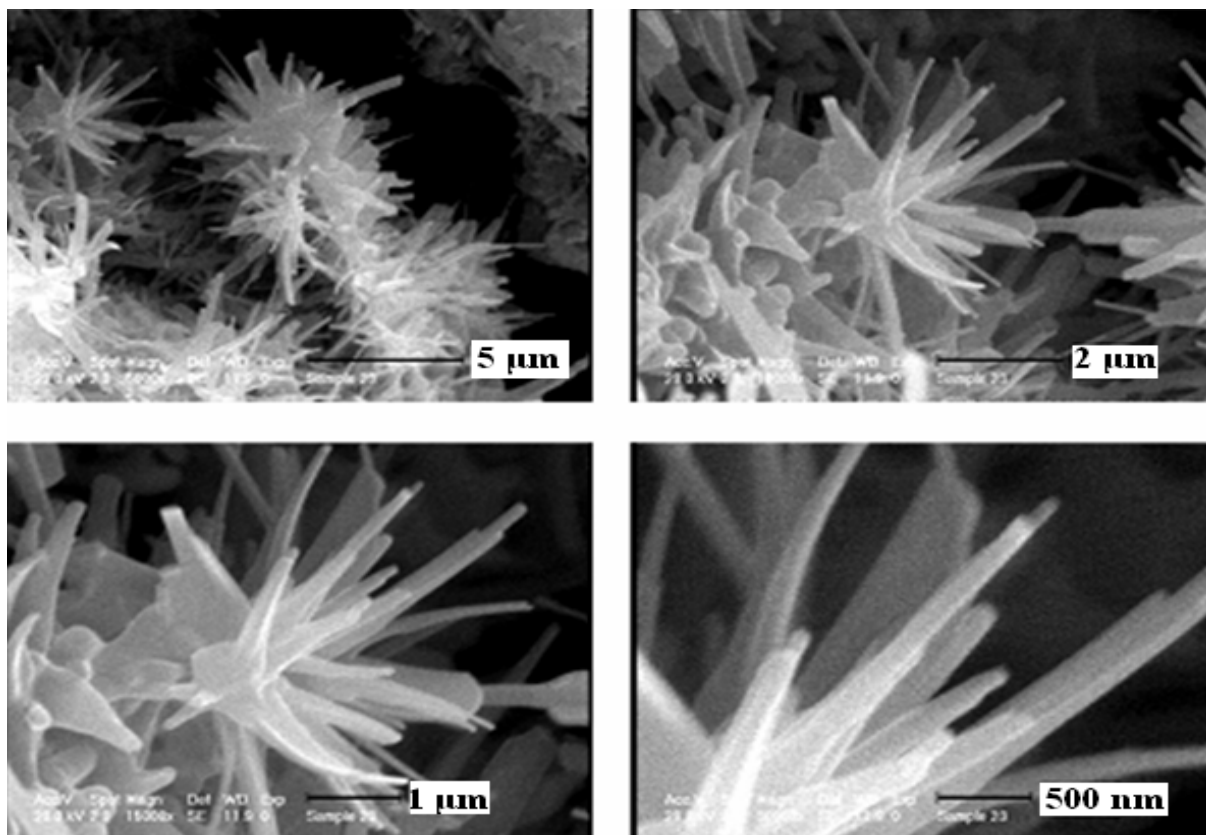
برای کنترل شکل مایسل‌ها در این سیستم از PEG به منزله محیط واسط سرفکتانت استفاده شد. PEG به علت عدم سمیت یک پلیمر زیست‌سازگار است و در میان پلیمرهای محلول در آب یکی از انعطاف‌پذیرترین آنها در محیط‌های آبی است. هنگامی که PEG در محلول آبی حل می‌شود، باند PEG-OH تشکیل

CTAB و PEG در نمونه گواه این مطلب است که رسوب آپاتیتی تهیه شده به خوبی با الکل شسته می‌شود. علاوه بر آن شستشو با الکل موجب دیسپرز شدن بهتر رسوبات می‌شود.

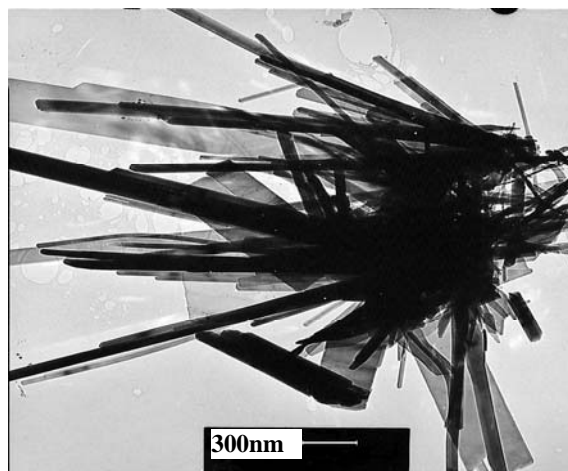
۳-۳. مطالعات میکروسکوپی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری به دست آمده از ذرات پودر این نمونه به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. تصاویر، نشان‌دهنده حضور همگن و یکنواخت کریستال‌های منشعبی است که انشعاب‌های آنها مانند گلبرگ‌های گل قاصدک در یک نقطه همگرا هستند و مورفولوژی متفاوتی را معرفی می‌کنند که گل قاصدکی نام گرفت. بررسی ابعاد ذرات نشان داد که هر یک از انشعاب‌ها (دندان‌ها) قطری حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ نانومتر و نسبت طول به قطری حدود ۲۰ دارند.

در مورد مکانیزم اثرگذاری CTAB مانند سایر سرفکتانت‌ها، تصور بر این است که مانند یک الگوساز عمل می‌کند و منجر به رشد جهت‌دار محصول می‌شود. به علت تطابق بار الکتریکی و ساختار فضایی، فرآیندی به نام شناسایی مولکولی در فصل مشترک غیر آلی/آلی اتفاق می‌افتد و سرفکتانت اضافه شده با سطوح معینی کریستال یا یون‌های معینی پیوند می‌دهد. بنابراین این یون‌ها می‌توانند با جوانه موجود در یک سرعت ثابت ترکیب شوند و شکل و اندازه نهایی ذرات هیدروکسی‌آپاتیت به خوبی کنترل شود [۱۲، ۱۰]. هر سرفکتانت یک غلظت بحرانی برای تشکیل مایسل (CMC) دارد که در کمتر از آن غلظت، مایسل ایجاد نمی‌شود. برای CTAB، CMC برابر $(0.9-1/0 \text{ mM})$ (۰/۰۳٪) است. هر سرفکتانت یک سر آب‌گریز و یک سر آب‌دوست دارد. فلسفه تشکیل مایسل بر این اساس استوار است که در محلول‌های آبی سرهای آب‌گریز مولکول سرفکتانت طوری جهت‌گیری می‌کنند که در تماس با آب قرار



شکل ۳. تصویر SEM از ذرات پودر نمونه هیدروکسی آپاتیت گل قاصدکی.



شکل ۴. تصویر TEM از ذرات پودر نمونه هیدروکسی آپاتیت گل قاصدکی.

پرتو ایکس نشان از رشد جهت دار کریستال‌های هیدروکسی‌آپاتیت در راستای ۰۰۲ دارد. علاوه بر آن به واسطه عملیات هیدروترمال، محصول بلورینگی بالایی دارد. بررسی‌های طیف‌سنجی فرسرخ نشان داد هیدروکسی‌آپاتیت سنتز شده کربنات دارد که آپاتیت کربناته از نظر زیست‌سازگاری بر آپاتیت خالص ترجیح داده می‌شود.

مراجع

1. Koutsopoulos, S., "Kinetic Study on the Crystal Growth of Hydroxyapatite", *J. of Langmuir*, Vol. 17 (2001) 8092-8097.
2. Hench, L.L., "Bioceramics: From Concept to Clinic", *J. of American Ceramic Society*, Vol. 74 (1991) 1487-1510.
3. Ge, Z., Baguenard, S., Lim, L.Y., Wee, A. and Khor, E., "Hydroxyapatite-Chitin Materials as Potential Tissue Engineered Bone Substitutes", *J. of Biomaterials*, Vol. 25 (2004) 1049-1058.
4. Jones, F.H., "Teeth and Bones: Application of Surface Science to Dental Materials and Related Biomaterials", *J. of Surface Science Reports*, Vol. 42 (2000) 75-205.
5. Murugan, R. and Ramakrishna, S., "Development of Nanocomposites for Bone Grafting", *J. of Composites Science and Technology*, Vol. 65 (2005) 2385-2406.
6. Alexeev, V.L., Kelberg, E.A. and Evmenenko, G.A., "Improvement of the Mechanical Properties of Chitosan Films by the Addition of Poly (Ethylene oxide)", *J. of Polymer Engineering and Science*, Vol. 40 (2000) 1211-1215.
7. Salarian, M., Solati-Hashjin, M., Goudarzi, A. and Nemati, Z.A., "Effect of Molecular Weight of Polyethylene Glycol on the Morphology and Size of Hydroxyapatite Nanoparticles under Hydrothermal Conditions", *7th Asian Bio Ceramics Symposium*, Osaka, Japan, Sep(2007) 324-328.
8. Ye, W. and Wang, X.X., "Ribbon-like and Rod-Like Hydroxyapatite Crystals Deposited on Titanium Surface with Electrochemical Method", *J. of Materials Letters*, Vol. 61 (2007) 4062-4065.
9. Qiu, Ch., Xiao, X. and Liu, R., "Biomimetic Synthesis of Spherical Nano-Hydroxyapatite in the Presence of Polyethylene Glycol", *J. of Ceramics International*, Vol. 34 (2007) 1747-1751.
10. Liu, Y., Hou, D. and Wang, G., "A Simple Wet Chemical Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite Nanorods", *J. of Materials Chemistry and Physics*, Vol. 86 (2004) 69-73.
11. Pang, Y.X. and Bao, X., "Influence of Temperature,

می‌شود. PEG-OH، Ca^{2+} آزادشده از $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ را جذب و باند PEG-O- Ca^{2+} -O-PEG ایجاد می‌شود که با PO_4^{3-} آزادشده از $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ واکنش می‌کند تا Hap حاصل شود [۹]. در عین حال PEG یک سرفکتانت غیر یونی است که به آسانی می‌تواند در محلول‌های آبی، ساختارهای بلند زنجیره‌ای ایجاد کند [۱۰] لذا PEG می‌تواند در نقش کمک‌سرفکتانت عمل کند. همان‌طور که گفته شد اندازه و شکل مایسل‌ها بسیار حساس به حضور سایر حل‌شونده‌ها در محلول است. به‌طور کلی ترکیبات آروماتیک و الکل‌ها مانند PEG القاء‌کننده رشد مایسل‌ها هستند و حتی می‌توانند عامل کاهش CMC باشند. در سیستم ما انتظار می‌رود افزودن PEG که مانند سایر الکل‌ها از گروه هیدروکسیل برخوردار است، موجبات رشد هرچه بیشتر مایسل‌های حاصل از عملکرد CTAB را فراهم سازد [۱۴].

علاوه بر آن افزودن PEG به افزایش ویسکوزیته محلول مایسل‌ها منجر می‌شود. در نتیجه رشد خطی مایسل‌ها می‌تواند منتهی به تغییر شکلی در ساختار مایسل‌ها و تشکیل مایسل‌های منشعب شود. این تغییر در ساختار مایسل‌ها به صورت پیدایش مورفولوژی گل قاصدکی، در تصاویر میکروسکوپ الکترونی به چشم می‌آید. لذا می‌توان گفت فرآیند کریستالیزاسیون تحت کنترل بحرانی CTAB و PEG است.

۴- نتیجه گیری

استفاده از سرفکتانت به‌منزله الگوساز یا مایسل‌ساز و کمک‌سرفکتانت امکان کنترل هدفمند مورفولوژی کریستال هیدروکسی‌آپاتیت را فراهم می‌آورد و این مایسل‌ها هستند که مانند الگوهای نرمی برای جوانه‌زنی و رشد کریستال‌های هیدروکسی‌آپاتیت گل قاصدکی عمل می‌کنند. مطالعات پراش

13. Sun, Y., Guo, G., Wang, Z. and Guo, H., "Synthesis of Single-Crystal HAP Nan rods", *J. of Ceramics International*, Vol. 32 (2006) 951-954.
14. Lin, K., Chang, J., Cheng, R. and Ruan, M., "Hydrothermal Microemulsion Synthesis of Stoichiometric Single Crystal Hydroxyapatite Nan rods with Mono-Dispersion and Narrow-Size Distribution", *J. of Materials Letters*, Vol. 61 (2007) 1683-1687.
12. Wang, Y., Zhang, S., Wei, K., Zhao, N., Chen, J. and Wang, X., "Hydrothermal Synthesis of Hydroxyapatite Nanopowders Using Cationic Surfactant as a Template", *J. of Materials Letters*, Vol. 60 (2006) 1486-1487.