فصلنامه سرامیک ایران

اثر افزودنی یون‌های Ag و Co بر خواص ساختاری و آنتی باکتریایی هیدروکسی آپاتیت

فاطمه میرزایی*، جعفر جوادپور، حمیدرضا رضایی

دانشکده مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران



نویسنده مسئول:
مهندس فاطمه میرزایی
دانشگاه علم و صنعت
fatemehmirzaei720@yahoo.com

نوع مقاله: پژوهشی
صفحه‌های: ۱۷ تا ۲۴
شاپا چاپی: ۳۳۵۱-۱۷۳۵
شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۷-۲۷۸۳
زبان نشریه: فارسی
دسترس‌پذیر در نشانی:
www.JICERS.ir
تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۱۰/۲۳
DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7

چکیده: *به منظور توسعه خواص آنتی‌باکتریالی در ترکیب هیدروکسی‌آپاتیت از دوپ همزمان عناصر Ag-Co در این پژوهش استفاده شد. کامپوزیت $Ca_{10-x}Ag_x/Co_y(PO_4)_6(OH)_2$ با مقادیر (۱، ۰/۵، ۰, x, y=) با استفاده از روش هم‌رسوبی که یک روش آسان و مقرون به صرفه است سنتز شد. به منظور بررسی و مشخصه یابی‌های ریزساختاری و فیزیکی از آنالیزهای XRD، FESEM، EDS استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون XRD نشان داد که افزودن عناصر موردنظر به خوبی در مکان‌های کلسیم در ساختار هیدروکسی آپاتیت جانشین شده است. باتوجه به نتایج حاصل از آزمون FESEM مشاهده شد که با افزودن عناصر دوپنت مرفولوژی ذرات کروی شکل هیدروکسی آپاتیت تغییر نکرده و تنها اندازه ذرات آن کوچک‌تر از اندازه ذرات HA شده است. خواص آنتی باکتریال ترکیبات سنتز شده با استفاده از آزمون تعیین قطر هاله عدم رشد باکتری‌های گرام منفی ارزیابی و مطلوب‌ترین نتیجه از نمونه HA- 0.5(Ag-Co) دریافت شد.*

کلمات کلیدی: *هیدروکسی‌آپاتیت، کبالت، نقره، آنتی باکتریال.*

۱- مقدمه

سامانه اسکلت بدن انسان علاوه بر پشتیبانی و حرکت، از بافت‌های نرم نیز محافظت می‌کند. سامانه اسکلت نقش داربست را دارد که از استخوان تشکیل شده است. با این حال، شکستگی استخوان یک چالش بسیار رایج برای بدن انسان است. روش‌های مختلفی برای جبران شکستگی استخوان وجود دارد. پیوند استخوان یک روش معمول برای بهبود شکستگی استخوان توسط ترمیم یا باز سازی استخوان است. خودپیوند[1] و دگرپیوند[2]، که انواع مواد استخوانی هستند، نیازهای پیوند استخوان برای بهبود شکستگی استخوان را برآورده نمی‌کنند. خودپیوندها به زمان جراحی بیشتری نیاز دارند و از این رو بیماران برای مدت زمان طولانی‌تری در معرض بیهوشی قرار می‌گیرند و برش چندگانه ممکن است خطر آسیب عصبی را افزایش دهد. از طرف دیگر، دگرپیوندها نه تنها گران هستند، بلکه احتمال وقوع پس‌زدگی را نیز معرفی می کنند [۱].

ارتو فسفات‌های کلسیم به عنوان مواد زیستی غیرآلی طیف گسترده‌ای از کاربردها را در زمینه پزشکی دارند. فاز اصلی فسفات

[1] Auto grafts
[2] Allografts

[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7]
[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

کلسیم (CaP) در استخوان نزدیک به هیدروکسی‌آپاتیت[1] ($HA, Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) است. علاوه بر شباهت ترکیبات شیمیایی هیدروکسی‌آپاتیت و فسفات کلسیم مربوط به فاز معدنی پایه استخوان طبیعی، فعالیت زیستی[2]، دامنه انحلال[3] و ویژگی‌های جذب[4] نیز بسیار نزدیک به ترکیبات استخوان طبیعی است. بنابراین، از فرم‌های مصنوعی این فسفات‌های کلسیم به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان موادکاشتنی برای بازسازی و جایگزینی بافت‌های سخت استفاده می شود. هیدروکسی‌آپاتیت به‌عنوان یک ماده بیولوژیکی زیست سازگار[5] و هادی استخوانی[6] توانایی تشویق استخوان سازی و ایجاد پیوند شیمیایی مستقیم با استخوان طبیعی را دارد. همچنین به‌عنوان ماده پوشش‌دهنده روی پروتزها به‌منظور بهبود خواص بیولوژیکی آن‌ها به‌طور گسترده‌ای استفاده می شود [۲]. اغلب عفونت مربوط به بیوماده یکی از مشکلات بعد از کاشت است که عملکرد طولانی مدت CaP را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اغلب منجر به برداشتن ایمپلنت و عمل مجدد آن می شود [۳]. همچنین به دلیل خواص مکانیکی[7] ضعیف هیدروکسی‌آپاتیت، کاربردهای آن محدود است. علی‌رغم این واقعیت که هیدروکسی‌آپاتیت دارای کیفیت مکانیکی ضعیفی است و خاصیت ضدمیکروبی[8] ندارد، می‌توان با افزودن اکسیدهای مختلف، یون‌ها و ذرات فلز یا غیرفلز به آن به منظور ایجاد برخی از خواص جدید HA، نظیر؛ خواص ضدمیکروبی، مقاومت مکانیکی، حلالیت و سایر موارد را به‌دست آورد [۱]. به‌منظور فائق آمدن بر این مشکلات فلزات Ag، Cu، Co و Zn به‌عنوان عوامل ضدباکتری به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. Ag به دلیل اثر ضدباکتریایی در غلظت‌های بسیار کم بسیار شناخته شده است. فلز نقره در مواد زیستی مانند شیشه‌های زیست فعال، هیدروکسی‌آپاتیت و پلی اورتان گنجانیده شده‌اند و مواد حاوی Ag برای کاربردهای ترمیم جراحات موثر هستند. بسته به نوع کاربرد، یون نقره دارای سمیت کمی در برابر سلول‌های انسانی در غلظت‌های نسبتاً کنترل شده نشان می‌دهند. انحلال یون‌های Ag در ساختار HA می‌تواند فعالیت ضدباکتری نشان دهد [۳]. یون‌های فلزی در غلظت‌های بالا خطرات بسیاری را متوجه انسان می‌کند، بنابراین استفاده از آن‌ها یا نمک‌های آن‌ها در غلظت‌های بالا برای مقابله با رشد باکتری‌ها و یا به عنوان مواد ضدباکتری نمی‌تواند گزینه‌ای مطلوب برای درمان یا پیشگیری از عفونت باشد. اما استفاده از این فلزات در ابعاد نانومتری این اجازه را می‌دهد تا در غلظت‌های کم از خواص ضدباکتریایی این فلزات بهره ببریم [۴].

از دیگر کاربردهایی که فلزاتی نظیر کبالت، آهن به عنوان دوپن مناسب در هیدروکسی‌آپاتیت ایجاد می‌کنند، مبحث نوظهور گرمادرمانی می‌باشد. یکی از روش‌های نوین درمان سرطان، گرماافزایی[9] است. در این روش با بالا بردن دمای بدن یا بافت موردنظر به مقدار ۴۳-۴۲°C باعث ازبین بردن سلول‌های آلوده می‌شود. این فرایند باایجاد یک میدان مغناطیسی توسط ذرات نانومغناطیسی کبالت، آهن و نظیر آن سبب ایجاد گرما در محل بیماری شده و ازطریق گرمای حاصل شده بافت سرطانی را ازبین می‌برند [۵].

۲- فعالیت‌های تجربی

کلسیم نیترات چهار آبه به عنوان منبع تامین‌کننده اصلی‌ترین عنصر سازنده ترکیب هیدروکسی‌آپاتیت یعنی کلسیم و دی آمونیوم هیدروژن فسفات برای تامین فسفر به کار گرفته شد. نقره و کبالت که عناصر دوپن ترکیب یاد شده هستند به وسیله پیش‌ماده‌های نیترات نقره و نیترات کبالت هگزاهیدرات در این ترکیب حضور دارند. آب دیونیزه نیز که حلال نمک‌های ذکر شده است به همراه محلول آمونیا به منظور قلیایی کردن محیط واکنش به کار برده شد. باتوجه به نسبت مولی بین کلسیم و فسفر در ترکیب هیدروکسی‌آپاتیت، نسبت بین اجزا به صورت ۱/۶۷= $\frac{Ca+Ag+Co}{P}$ یا ۱/۶۷= $\frac{Ca+Co}{P}$ یا $\frac{Ag}{P}$ می‌باشد. روش سنتز نمونه

[1] Hydroxyapatite
[2] Bio activity
[3] Dissolution range
[4] Resorption properties
[5] Bio compatible
[6] Osteo conductive
[7] Mechanical properties
[8] antimicrobial
[9] Hyperthermia

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7]

HA- 0.5(Ag, Co) به صورت زیر شرح داده می‌شود. به منظور حصول محلول ۹ M حاوی کلسیم مقدار معینی از پیش‌ماده نیترات کلسیم چهار آبه در 10 cc حلال آب دیونیزه تحت همزدن شدید قرار گرفت. از طرفی محلول‌های حاوی نقره ۰/۵ M ، محلول کبالت ۰/۵ M و همچنین محلول ۶ M دی آمونیوم هیدروژن فسفات هریک به طور جداگانه با قرار گرفتن روی همزن مغناطیسی با دور ۴۰۰۰rpm به مدت ۳۰ min تهیه شدند.

در مرحله بعد می‌بایستی به کمک بورت ابتدا محلول‌های حاوی نقره و کبالت و سپس با فاصله ۳۰ دقیقه‌ای محلول حاوی فسفر را به صورت قطره قطره به محلول کلسیم افزود و به مدت ۲ h روی استیرر قرار بگیرد. در این حین محلول شفاف آبی روشن به دست آمده و PH آن با مقدار ۲/۹۳ ثبت می شود. به منظور ایجاد جوانه‌های هیدروکسی‌آپاتیت ازطریق افزودن محلول هیدروکسیدآمونیا به طور قطره قطره محیط واکنش قلیایی و PH آن به عدد بیش از ۱۰ افزایش یافته و سپس محلول غلیظ آبی رنگ حاصل شده مجددا بمدت ۲ ساعت روی استیرر با دور ۴۰۰۰ rpm قرار می‌گیرد. جهت تکمیل فرایند جوانه‌زنی و رشد ذرات هیدروکسی‌آپاتیت محلول بمدت ۲۴ h پیرسازی شده و در مرحله بعد به منظور جداسازی رسوب و حذف ناخالصی‌ها آن را سه مرتبه شست‌وشو و با دور ۴۰۰۰ rpm و زمان ۱۰ min سانتریفیوژ شد. رسوب حاصله را در دمای ۱۰۰°C بمدت ۲۴ h در آون قرار داده و سپس اگریگیت‌های نهایی به‌وسیله هاون عقیق تحت خردایش قرار گرفته و در مرحله آخر با قرار دادن نمونه حاصله در کوره با دمای ۶۰۰°C بمدت ۲ h با نرخ گرمایش ۱۰ نانوذرات متبلور شده هیدروکسی‌آپاتیت دوپ شده با نقره و کبالت به‌دست آمد.

شناسایی فازها با استفاده از آزمون پراش اشعه ایکس انجام گرفت. به دین منظور از دستگاه XRD مدل Bruker - Advance D8 ساخت کشور آلمان استفاده شد. دستگاه ذکر شده دارای یک لامپ مسی به عنوان منبع تابشی با پرتوی CuKα، طول موج پرتو ۰/۱۵۴ nm و ولتاژ ۴۰ KV می‌باشد. نمونه‌ها تحت آنالیز بصورت پودری بوده و هر طیف از زاویه ۷۰–۱۰ درجه با اندازه گام ۰/۰۲ مورد بررسی قرار گرفته است. درنهایت نتایج حاصل از آنالیز XRD توسط نرم‌افزار Xpert high score بررسی و با شماره کارت‌های استاندارد مرجع (JCPDs) که به عنوان دیتابیس‌های موجود در نرم‌افزار موجود بودند مقایسه و شناسایی شد.

همچنین جهت مشاهده ریخت شناسی و اندازه ذرات از آزمون FESEM و جهت شناسایی عناصر از EDS استفاده می شود. به منظور آماده‌سازی نمونه پودری می‌بایست ابتدا مقدار کمی از پودرموردنظر حدودا ۰/۰۱ wt% را در اتانول دیسپرز و جهت جداسازی ذرات بهم چسبیده آن را بمدت ۲۰ دقیقه در آلتراسونیک قرار داد. سپس یک قطره از سوسپانسیون موردنظر را روی لام ریخته و اجازه می‌دهیم تا خشک شده و برای تصویربرداری از سطح آن آماده شود. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش FESEM-KYKY مدل EM8000 ساخت کشور چین می‌باشد. جهت شناسایی ترکیب عناصر موجود در نمونه مطابق تصویربرداری سطحی انجام شده، آنالیز EDS نیز به کار گرفته شد. دستگاه موردنظر این پژوهش EDS-Bruker ساخت کشور آلمان است.

آنالیز تعیین قطر هاله عدم رشد یا دیسک دیفیوژن متداول‌ترین روش برای سنجش اثرات ضدباکتری نمونه‌های زیستی می‌باشد. در این روش دو نوع باکتری گرام منفی و گرام مثبت که رایج‌ترین عوامل ایجاد عفونت در بدن هستند را در ظرف‌هایی کشت داده و سپس دیسک‌های آزمون را در ظرف‌ها منتقل و بعد از ۴۸ h ناحیه‌ای که باکتری رشد نکرده است را محاسبه می‌کنند. بدین منظور ابتدا مقدار ۶۰۰ mg از نمونه‌های پودری مورد نظر را با اعمال فشاری معادل ۵۰ bar به صورت قرص‌هایی به قطر ۱۵ mm و ضخامت ۲ mm شکل‌دهی و پرس شدند. از کشت تازه باکتری‌های موردنظر سوسپانسیونی معادل غلظت نیم مک فارلند ($1.5 \times 10^8 CFU/ml$) تهیه و مجددا از آن‌ها غلظت ($1.5 \times 10^6 CFU/ml$) تهیه شده و بر روی محیط آگار به طور متراکم کشت داده شد. سپس نمونه‌های مورد تست بر روی سطح ظرف قرار داده شدند. ظرف‌ها به مدت ۴۸ h در دمای ۳۷°C گرماگذاری گردیدند و پس از آن خاصیت آنتی‌باکتریال نمونه‌ها که به صورت هاله عدم رشد در اطراف نمونه‌ها مشاهده می شود، بررسی گردید.

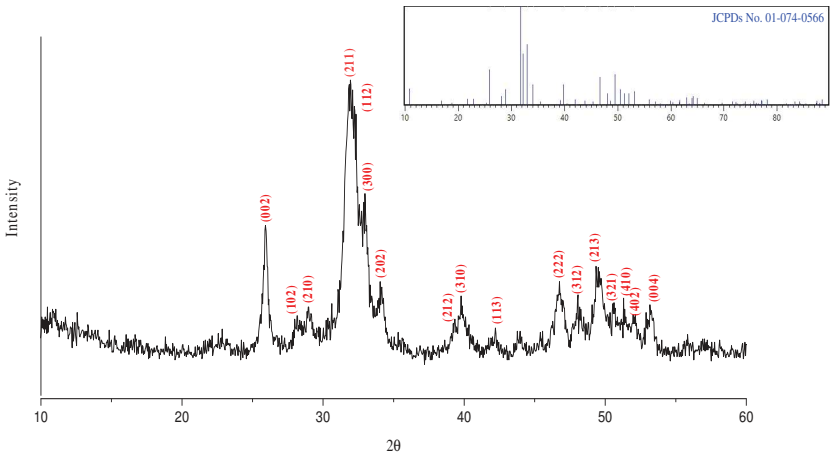
۳–نتایج و بحث

شکل شماره (۱) الگوی پراش اشعه ایکس نمونه پودری هیدروکسی‌آپاتیت خالص سنتز شده با روش رسوب‌دهی شیمیایی را به همراه شماره کارت استاندارد (JCPDs No. 1-074-0566) نشان می‌دهد. از مقایسه الگوی پراش اشعه ایکس نمونه سنتز شده با نمونه استاندارد آن، می‌توان این‌گونه دریافت که فاز هیدروکسی‌آپاتیت هگزاگونال ($HA, Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) باگروه فضایی

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

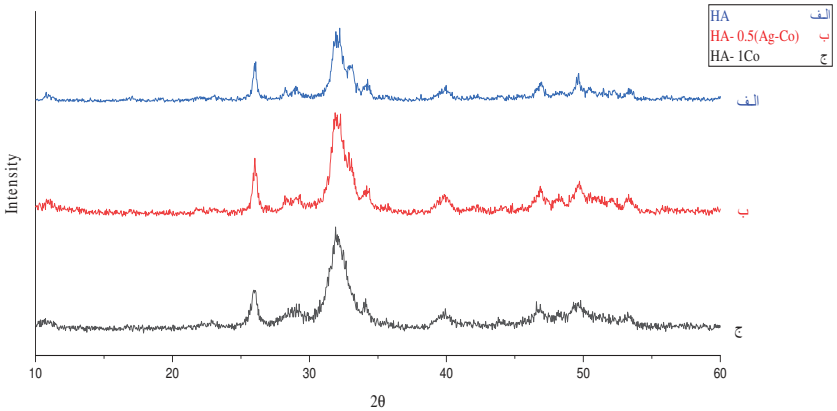
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7]

P63/mبه صورت خالص در سراسر نمونه تشکیل شده و هیچ‌گونه فاز ثانویه‌ای در آن وجود ندارد. هیدروکسی‌آپاتیت دارای سه پیک مشخصه در محدوده‌ی ۳۵-۳۰= 2θ است که به ترتیب در زوایای حدودی ۳۲،۳۱ و ۳۳ مربوط به صفحات بلوری (۲۱۱)، (۱۱۲) و (۳۰۰) می‌باشد. نتیجه الگوی XRD مطابق یافته‌های دو پژوهش‌گر به نام لیو[1] [۲] و ایلماز[2] [۶] می‌باشد.



شکل ۱. الگوی XRD هیدروکسی آپاتیت خالص سنتز شده به روش همرسوبی.

الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به نمونه‌های هیدروکسی‌آپاتیت خالص و هیدروکسی‌آپاتیت دوپ شده با یون‌های Co^{2+} و Ag^{+} در شکل(۲) نشان داده شده است. مطابق شماره کارت استاندارد JCPDs No. 09-0432 پیک‌ها و صفحات بلوری مشخصه در نمونه‌های هیدروکسی‌آپاتیت سنتز شده با یون‌های نقره و کبالت مشابه الگوی پراش اشعه ایکس نمونه خالص HA شکل (۲) بوده و همچنین با ورود دوپان‌های Ag^{+} و Co^{2+} به شبکه بلوری HA هیچ‌گونه پیک جدیدی مشاهده نشده که این امر نشان‌دهنده عدم تغییر ساختار بلوری هیدروکسی‌آپاتیت هگزاگونال است. عدم تشکیل هرگونه فاز ثانویه‌ای نظیر؛ CaO، Ag_3PO_4 و β-TCP در الگوی پراش پرتو ایکس اثبات می‌کند که یون‌های نقره، مس و کبالت به خوبی در شبکه بلوری HA جایگزین یون‌های کلسیم شده‌اند. یافته‌های موردنظر با یافته‌های بکلم[3][۷] با عنوان پوشش‌های هیدروکسی آپاتیت دوپ شده با یون‌های Ag، Zn و Cu انجام گرفته است، مطابقت دارد.



شکل ۲. الگوی XRD هیدروکسی آپاتیت خالص، HA-1Co، HA-0.5(Ag-Co) سنتز شده به روش همرسوبی.

شیفت پیک مربوط به صفحه (۲۱۱) به سمت راست مشخصه نشان‌دهنده رشد بلور در راستای محور c در ساختار بلوری هیدروکسی آپاتیت است. مطابق داده‌های جدول (۱) افزودن دوپان‌های نقره و کبالت به طور همزمان سبب افزایش c/a نسبت به

[1] Liu
[2] Yilmaz
[3] R. Beklem

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7]

نمونه شاهد هیدروکسی آپاتیت خالص شده و این درحالی است که در نمونه دیگر این مقدار ثابت و یا کاهش یافته است. این اثر را می‌توان با تعویض‌های ناشی از افزایش اختلال شبکه در شبکه آپاتیت توضیح داد، که به‌طور گسترده‌ای در تحقیق‌های یان[1] [۸] و بیندال[2] [۹] نشان داده شده‌است.

جدول ۱.پارامترهای شبکه نمونه‌های HA،HA-1Co و HA-0.5(Ag-Co)

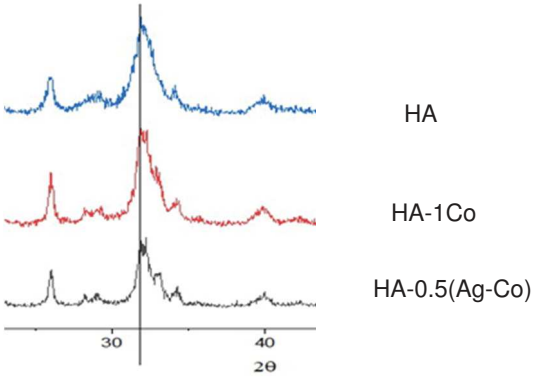
نمونه‌ها	پارامترهای شبکه			حجم سلول واحد V(nm)
	a=b	c	c/a	
HA	۹,۳۸۸۷	۶,۸۶۸۰	۰,۷۳۱۵	۵۲۴,۲۹
HA-1 Co	۹,۳۶۳۹	۶,۸۰۷۵	۰,۷۲۶۸	۵۱۶,۸۰
HA-0.5(Ag-Co)	۹,۳۵۱۷	۶,۸۵۲۰	۰,۷۳۲۷	۵۱۸,۹۵

حجم سلول واحد از طریق فرمول۱ محاسبه می‌شود. باتوجه به اختلاف معنی‌دار شعاع یونی هردوگونه $r(Ca^{2+})=1.00A^{º}$ و $r(Co^{2+}, Cu^{2+})=0.73A^{º}$ انتظار می‌رود که با افزودن یون نقره و کبالت به ساختار هیدروکسی‌آپاتیت حجم سلول واحد و همچنین ابعاد پارامتر شبکه کاهش یابد.

فرمول ۱

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2}(a^2.c)$$

همانطور که در شکل(۳) مشاهده می‌شود، اندکی اختلاف در موقعیت صفحه بلوری (۲۱۱) موجود در نمونه‌های خالص HA با نمونه‌های دوپ شده در محدوده ۳۵-۳۰ =2θ وجود دارد که این شیفت پیک نشات گرفته از اینست که یون‌های نقره، مس و کبالت به خوبی در سایت‌های یون کلسیم جانشین شده‌اند.

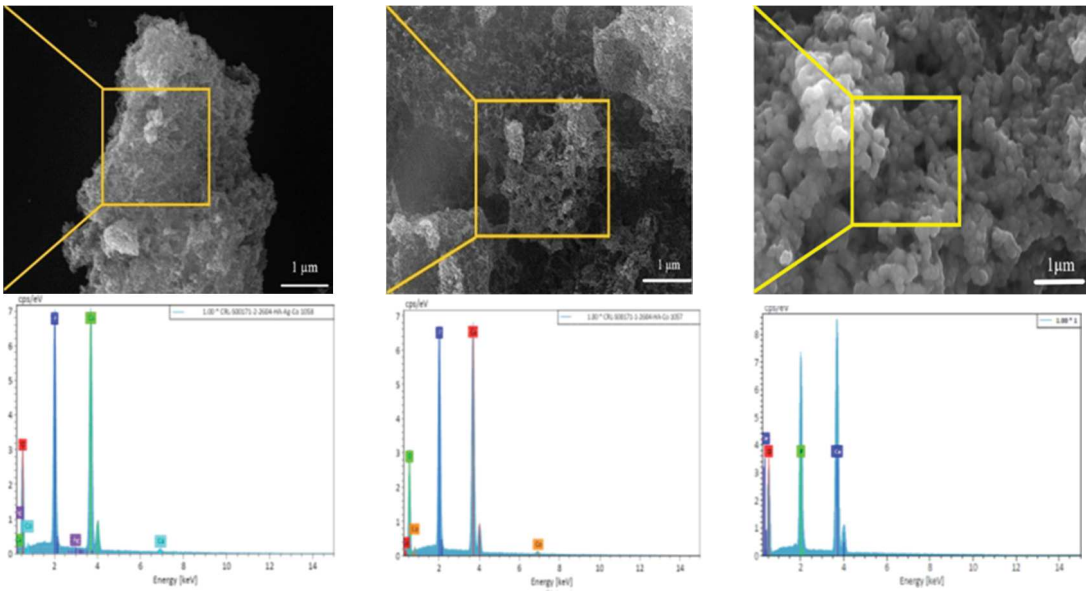


شکل ۳ . شیفت پیک صفحه (۲۱۱) در نمونه‌های سنتز شده.

همان‌طور که تصاویر شکل(۴) نشان می‌دهد، موروفولوژی ذرات کروی بوده و همچنین این ذرات شامل تعداد زیادی کلاسترهای نانوپارتیکل می‌باشد که می‌توان این کلاسترها را به تجمع نانوذرات در تخلخل‌های میکرونی در اگریگیت‌های تشکیل شده در طول سنتز نمونه نسبت داد. با مشاهده تصاویر FESEM اثبات می‌شود که افزودن عناصر فلزی نقره و مس و کبالت به نمونه هیدروکسی آپاتیت، اثر محسوسی بر ریخت‌شناسی کروی شکل ذرات هیدروکسی آپاتیت نداشته است.

[1] Yaun
[2] Bindal

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7]



شکل ۴. تصاویر EDS, FESEM نمونه‌های الف(۱ و۲)HA،ب(۱و۲) HA-1Co، ج(۱و۲)HA-0.5(Ag-Co)

از مقایسه تصویر FESEM نمونه هیدروکسی‌آپاتیت خالص با سایر نمونه‌های دوپ شده، این‌گونه دریافت می‌شود که اندازه نانوذرات HA خالص نسبت به سایر نمونه‌های سنتز شده بزرگ‌تر است و با افزودن فلز نقره به هیدروکسی‌آپاتیت اندکی کاهش سایز در نانوذرات HA مشاهده می‌شود.

آگلومره شدن ذرات هیدروکسی‌آپاتیت به سبب وجود نیروی قوی واندروالس میان ذرات با سیار کوچک می‌باشد و به این دلیل است که هرچقدر ذرات ریزتر شوند، در نتیجه آن مساحت سطح بزرگتر می شود. بنابراین، یک نیروی قوی‌تر بین نزدیک‌ترین همسایگان خود را در سطح نشان می دهد. در نتیجه، ذرات تمایل بیشتری به تشکیل آگلومراسیون دارند [۱۰].

به منظور تعیین اثر ضدباکتریایی نمونه‌های سنتز شده از روش انتشار دیسک استفاده می‌شود. تست آنتی‌باکتریال نمونه‌های HA، HA-1Co ، نمونه ترکیبی HA-0.5(Ag-Co) علیه باکتری Escherchia coli (ATCC 25922 , *PTCC* 1399) بررسی شد.

مطابق اشکال (۵) نمونه هیدروکسی آپاتیت خالص هیچ‌گونه فعالیت ضدباکتریایی در برابر E. Coli نداشته است، درحالی که نمونه هیدروکسی آپاتیت دوپ شده نقره و کبالت HA-1Co و HA- 0.5(Ag-Co) به ترتیب در ۱ و ۳ میلی‌متر هاله عدم رشد باکتری دیده می‌شود. درنهایت می‌توان گفت که بیشترین مقدار هاله عدم رشد باکتری گرام منفی برای نمونه ترکیبی کبالت–نقره ارزیابی می‌شود.



شکل ۵. میزان فعالیت های ضدباکتریایی نمونه های سنتز شده در برابر باکتری گرام منفی.

۴– نتیجه‌گیری

نمونه‌های هیدروکسی‌آپاتیت خالص و نمونه های دوپ شده HA-1Co و HA-0.5(Ag-Co) با روش همرسوبی به خوبی سنتز شدند. نتایج حاصل از تفرق اشعه ایکس نشان می‌دهد که یون‌های کبالت و نقره به خوبی در سایت‌های کلسیم جانشین شده و سبب

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7]

جابجایی پیک اصلی صفحه (۲۱۱) به سمت راست شده‌اند، همچنین اندکی تغییر در پارامترهای شبکه نیز مشاهده می شود. با توجه به آزمون FESEM مشاهده می شود که با افزودن یون‌های کبالت و نقره ریخت شناسی کروی شکل HA تغییری نکرده و تنها کاهش سایز در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. درنهایت با دوپ همزمان عناصر نقره و کبالت به مطلوب ترین نتیجه آنتی باکتریال ترکیب هیدروکسی‌آپاتیت می‌رسیم.

مراجع

[1] B. Komur, E. R. Ozturk, N. Ekren, A. T. Inan, O. Gunduz, and E. Andronescu, “Characterization of Cu / Ag / Eu / Hydroxyapatite Composites Produced by Wet Chemical Precipitation,” vol. 131, no. 3, pp. 392–396, 2017, doi: 10.12693/APhysPolA.131.392.

[2] X. Liu, Y. Mou, S. Wu, and H. C. Man, “Applied Surface Science Synthesis of silver-incorporated hydroxyapatite nanocomposites for antimicrobial implant coatings,” Appl. Surf. Sci., vol. 273, pp. 748–757, 2013, doi: 10.1016/j.apsusc.2013.02.130.

[3] O. Gokcekaya, K. Ueda, T. Narushima, and C. Ergun, “Synthesis and characterization of Ag-containing calcium phosphates with various Ca/P ratios,” Mater. Sci. Eng. C, vol. 53, pp. 111–119, 2015, doi: 10.1016/j.msec.2015.04.025.

[۴] م. حدیدی, م. رفیعی نیا, ا. صائب نوری, “ سنتز پو شش های نانو کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت/مس و هیدروکسی آپاتیت/اکسیدمس به روش الکتروفرتیک و بررسی مقاومت به خوردگی پوشش های ایجاد شده درمحلول شبیه سازی شده بدن,” ۱۳۹۵.

[۵] ف. طلعتی ع. ا. طاهری, “بررسی عدم قطعیت در گرمایش القایی به وسیله میکرو/نانوذرات مغناطیسی در هایپرترمیا,” ۱۳۹۷.

[6] A. Yelten-Yilmaz and S. Yilmaz, “Wet chemical precipitation synthesis of hydroxyapatite (HA) powders,” Ceram. Int., vol. 44, no. 8, pp. 9703–9710, 2018, doi: 10.1016/j.ceramint.2018.02.201.

[7] R. B. Bostancioglu, M. Gurbuz, A. Gul, A. Dogan, A. S. Koparal, and A. T. Koparal, “Colloids and Surfaces B : Biointerfaces Adhesion profile and differentiation capacity of human adipose tissue derived mesenchymal stem cells grown on metal ion (Zn , Ag and Cu) doped hydroxyapatite nano-coated surfaces,” vol. 155, pp. 415–428, 2017.

[8] Q. Yuan et al., “Bioactive silver doped hydroxyapatite composite coatings on metal substrates : Synthesis and characterization,” vol. 218, no. July, pp. 130–139, 2018.

[9] S. Türk, I. Altınsoy, G. Ç. Efe, M. Ipek, M. Özacar, and C. Bindal, “Biomimetic synthesis of Ag, Zn or Co doped HA and coating of Ag, Zn or Co doped HA/fMWCNT composite on functionalized Ti,” Mater. Sci. Eng. C, vol. 99, no. February, pp. 986–998, 2019, doi: 10.1016/j.msec.2019.02.025.

[10] M. N. M. Syazwan and B. I. Y. Marliana, “ScienceDirect Physico-chemical properties of Co-Sr doped carbonated hydroxyapatite powders,” vol. 17, pp. 959–965, 2019.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7]

The effect of Ag and Co dopants on Structural and Antibacterial Properties in Hydroxyapatite

F. Mirzaei*, J. Javadpour, H. Rezaie

School of Metallurgy and Materials Engineering school, Iran University of Science and Technology

* fatemehmirzaei720@yahoo.com

Abstract: This research was conducted to develop antibacterial properties in HA composite by doping Ag-Co simultaneously. Chemical compounds $Ca10\text{-}x\ Ag_x/Co_y\ (PO4)_6\ (OH)_2$ with values (x, y= 0, 0.5, 1) were synthesized by co-precipitation method which is an economical and simple way.

XRD, FESEM and EDS analysis were used to investigate structural and microstructural characteristics. The result of XRD analysis revealed pure HA phase with no minor other phase and dopants ions displaced to Ca sites well. Spherical morphology was appeared in all samples by FESEM test however the size of particles decreased by inserting dopants. To determine antibacterial properties, zone inhabitation test have utilized. The samples were prepared against E.coli bacteria, which are the most infections agent. Finally, this antibacterial characteristic observed the most effect against bacteria in Ag- Co doped HA sample.

Keywords: Hydroxyapatite, Silver, Cobalt, Antibacterial.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.8.7]